

## STRATEGIE DI PROGETTAZIONE ADATTIVA PER IL RETROFIT DI EDIFICI IN RISPOSTA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

### ADAPTIVE DESIGN STRATEGIES FOR BUILDINGS' RETROFIT IN RESPONSE TO CLIMATE CHANGE

Giulio Davino, Eduardo Bassolino

#### ABSTRACT

L'aumento delle temperature urbane legate ai fenomeni di cambiamento climatico in atto, quale conseguenza dell'incremento delle concentrazioni di gas climalteranti nell'ambiente, le carenze prestazionali dell'edilizia in Italia e in particolare di quella edificata tra gli anni '70 e '90 del secolo scorso, l'avanzamento tecnologico delle soluzioni tecniche e della ricerca nel campo delle tecnologie digitali legate all'architettura, hanno stimolato lo sviluppo di una metodologia basata sull'uso di strumenti IT di computational design e data exchange per la simulazione energetica degli edifici e la definizione di azioni di retrofit energetico e tecnologico ad-hoc finalizzate all'adattamento e alla mitigazione secondo scenari climatici attuali e di proiezione. Il presente contributo si focalizza sulla sperimentazione di un approccio di tipo simulativo, basato sull'utilizzo di software di tipo parametrico al fine di definire azioni di retrofit energetiche e tecnologiche attraverso un approccio metodologico replicabile per interventi di rigenerazione edilizia e urbana finalizzati alla mitigazione e all'adattamento climatico.

The urban temperature raising related to climate change on-going phenomenons as a consequence of greenhouse gas concentration's increasing, the performance flaws of Italian construction, particularly of the one built between '70s and '90s, the technological progress of technical solutions and research in the field of architecture-related digital technology, have stimulated the development of a methodology based on computational design and data exchange IT tools for buildings' energy simulation and the definition of interventions of energy and technology retrofit aimed towards adaption and mitigation according to climatic scenarios. This contribution is focused on the experimentation of a simulative approach, based on the use of parametric software for outlining interventions of energy and technology retrofit for buildings, through a methodology replicable for urban and building regeneration actions for mitigation and climate adaption.

#### KEYWORDS

cambiamenti climatici, progettazione computazionale, progettazione ambientale, risoluzione evolutiva, approccio adattivo

climate change, computational design, environmental design, evolutionary solving, adaptive approach

**Giulio Davino**, Architect, is a Computational Designer at Risklayer GmbH (Germany). His research fields are the Parametric Computational Design and the Climate Adaptive Design. Mob. +39 348/93.73.695 | E-mail: davinogiulio@gmail.com

**Eduardo Bassolino**, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture of 'Federico II' University of Naples (Italy). His research activities are mainly in the fields of Climate Adaptive Design, Environmental Design and on IT Tools Use for Architecture and Urban Planning. Mob. +39 389/68.37.289 | E-mail: eduardo.bassolino@unina.it

Il cambiamento climatico è la più importante sfida della storia recente, le cui implicazioni investono la sfera delle politiche economiche e sociali a livello globale e in cui l'architettura<sup>1</sup>, inquadrata nel più ampio settore delle costruzioni, può giocare un ruolo fondamentale nell'auspicata inversione della tendenza al cambiamento. L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sostiene che tali fenomeni siano causati dall'attività umana. Tra gli effetti e le cause dei cambiamenti climatici, quali l'aumento del PH degli oceani salito del 25%, la concentrazione di gas serra nell'atmosfera e l'aumentata frequenza di ondate di calore, il più rilevante è il riscaldamento globale, che ha portato all'aumento di 1 °C delle temperature rispetto ai livelli preindustriali<sup>2</sup> (IPCC, 2018). Per definire l'evoluzione del clima futuro alla data del 2100, l'IPCC (2015) ha delineato quattro macro-scenari in funzione della emissione di gas serra definiti RCP (Representative Concentration Pathways), dal più ottimistico RCP 2.6, che prevede un aumento delle temperature medie globali sotto i 1,5-2 °C, al più catastrofico RCP 8.5, con un aumento di quasi 5 °C.

In risposta agli obiettivi concertati nella Conferenza delle Parti COP 24 del 2018 – in cui è stato definito quale target globale la riduzione delle emissioni di gas climalteranti al fine di contenere l'aumento delle temperature medie globali al di sotto di 1,5 °C – il settore delle costruzioni dovrà contribuire in maniera significativa alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> mediante interventi di riqualificazione urbana clima-adattiva. In particolare, in Italia la risposta a tali fenomeni può venire da quell'edilizia di tipo residenziale di scarsa qualità edificata negli anni '70 e i primi anni '90 del secolo scorso, in cui sono prevalse istanze legate all'emergenza, all'economicità e di conseguenza alla rapidità di costruzione<sup>3</sup>, già oggi inadeguata a garantire ottimali condizioni di comfort. In tali casi, le soluzioni tecniche e costruttive adottate risultano inefficienti in termini di prestazioni energetiche, e l'unica strada percorribile risulta essere quella della riqualificazione edilizia attraverso azioni di retrofit energetico e tecnologico.

L'evoluzione e lo sviluppo di queste pratiche hanno permesso di eseguire l'analisi delle performance energetiche dell'edificio già durante la fase della progettazione. La simulazione del consumo di energia e delle condizioni termo-igrometriche permettono di indirizzare gli interventi verso il raggiungimento delle migliori condizioni di comfort per gli occupanti. Per condurre tali analisi sono necessari diversi dati caratteristici del contesto, quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità del vento, l'irraggiamento solare, ecc., ma a causa dei cambiamenti climatici, i dati ambientali di contesto non possono essere considerati invariabili durante l'arco di vita degli edifici. Il presente contributo si focalizza sulla sperimentazione di un approccio di tipo simulativo, basato sull'utilizzo di software di tipo parametrico al fine di definire azioni di retrofit energetiche e tecnologiche, attraverso un approccio metodologico replicabile per interventi di rigenerazione edilizia e urbana finalizzati alla mitigazione e all'adattamento climatico.

**Il contesto urbano** | Oggetto della sperimentazione è un edificio che ricade all'interno della periferia orientale di Napoli, nel quartiere di Ponticelli, e che fa parte del Programma Straordinario di Edilizia Residenziale (PSER) introdotto per soddisfare la domanda di abitazione degli sfollati del terremoto in Irpina del 1980; l'area di Ponticelli fu infatti una delle più coinvolte dal Programma con la costruzione di diversi comparti edilizi. Il progetto aveva lo scopo di demarginalizzare il quartiere con edifici ritenuti all'avanguardia sia dal punto di vista spaziale che tecnologico. Le carenze presenti nel Piano, congiunte alla scarsa qualità dei processi di realizzazione, hanno reso vano tale obiettivo (Bianchi, 1986), tanto che oggi il Ponticelli resta un quartiere periferico, marginale e disconnesso. L'area urbana in cui è localizzato l'edificio oggetto della sperimentazione è completamente priva di attrattive pubbliche e commerciali, e denuncia l'assenza di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Gli edifici risultano oggi carenti sia sul piano distributivo-funzionale sia in relazione alle soluzioni tecniche adottate, esprimendo la necessità di un adeguamento prestazionale in termini di benessere per i residenti e di contenimento energetico; i sistemi di prefabbricazione pesante impiegati sono l'eredità di una cultura e di una tecnologia considerata già superata all'epoca dell'insediamento, come dimostrano la scarsa durabilità e la condizione di avanzato degrado degli elementi che compongono i sistemi costruttivi. Dal punto di vista dell'aggregazione tipologica, una tra le più frequenti all'interno del quartiere di Ponticelli, è quella della 'corte aperta' (Corsi and Frano, 1991), composta da edifici di massimo quattro piani con uno o due edifici a torre in testata (Fig. 1). Quanto detto, insieme a un contesto ambientale privo di qualità e di infrastrutture verdi, contribuisce al verificarsi del fenomeno dell'aumento delle temperature urbane (Urban Heat Island). Il manufatto edilizio scelto è rappresentativo delle criticità esposte, diffuse anche all'interno del territorio nazionale.

**Metodologia di progettazione adattiva parametrica per il retrofit di edifici** | Il presente contributo mira a definire, attraverso una meto-

dologia incentrata sulla progettazione parametrica, azioni di retrofit energetico e tecnologico di un edificio campione, tenendo in considerazione la risposta ai futuri effetti prodotti dai cambiamenti climatici. Il workflow digitale si svolge nell'ambiente parametrico di Grasshopper<sup>4</sup>, plug-in del software di modellazione 3D (Rhino<sup>5</sup>), che permette di gestire ingenti quantità di dati e input necessari allo sviluppo di un algoritmo capace di analizzare simultaneamente i dati relativi alle caratteristiche geometriche e tecnico-costruttive dell'edificio, quelli relativi al clima e al microclima, oltre ai fattori di ombreggiamento in funzione del contesto urbano (Fig. 2). Gli strumenti utilizzati per gestire questi dati sono due add-on: Ladybug, per l'importazione dei file climatici<sup>6</sup>, e Honeybee<sup>7</sup>, per la gestione di processi di energy design e per la connessione del flusso di dati con il motore di simulazione energetica EnergyPlus.<sup>8</sup>

Un approccio di tipo parametrico-algoritmico può garantire sia l'utilizzo di strumenti utili alla raccolta dati sia la misurazione dell'efficacia degli interventi proposti, agevolando l'interpretazione del risultato grazie alla correlazione tra le condizioni di partenza e la definizione degli interventi di retrofit. Inoltre, il vantaggio di tale approccio sta nella sua totale adattabilità e replicabilità in condizioni e contesti differenti. Ogni elemento del processo (dati climatici, materiali, forma dell'edificio, ecc.) può essere aggiornato o modificato con diverse o più accurate informazioni, senza compromettere il processo in sé. Considerando che intervenire in risposta ai cambiamenti climatici risulta un problema di tipo multi-criteriale, è richiesta un'elevata flessibilità nella definizione di soluzioni tecniche adeguate. In questo ambiente software è possibile verificare le alternative tecniche proposte senza dover uscire dal processo, in modo da comprendere i vantaggi e gli svantaggi di ogni soluzione. Essendo questo un processo altamente sperimentale, non tutti i dati o le possibili definizioni per rappresentare la realtà possono essere presi in considerazione. I fattori esclusi dal processo metodologico sono stati scelti fin dall'inizio, a favore di un algoritmo fluido.

Gli interventi che rientrano all'interno di questo processo riguardano esclusivamente l'involucro dell'edificio, escludendone trasfor-



**Fig. 1** | Urban setting of the building under study and survey of the environmental and performance characteristics of the context through thermography.

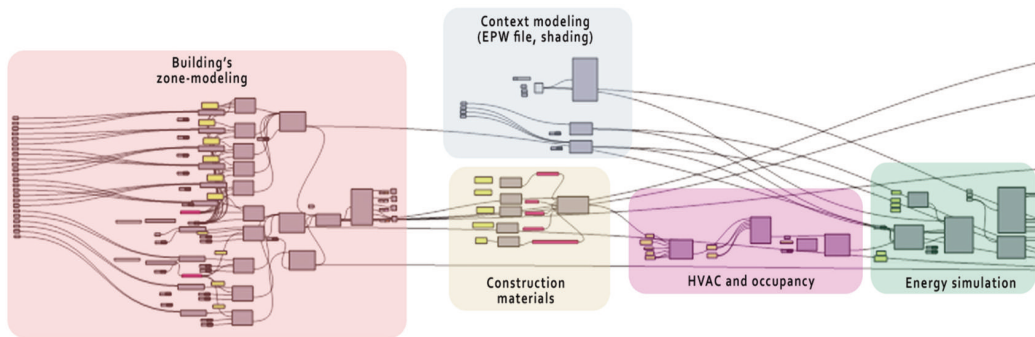


Fig. 2 | Definition of the algorithm for simulating the performance characteristics of the building.

mazioni architettoniche e morfologiche come addizione/sottrazione di finestre, addizioni volumetriche, modificazione del layout funzionale-spaziale e della destinazione d'uso dei locali. Per la stessa ragione e per la semplificazione delle operazioni di calcolo, è stata esclusa la definizione nel dettaglio di nuovi e più performanti impianti di generazione di calore come parte degli interventi. Infine, sono stati esclusi i sistemi per la produzione di energie rinnovabili che potrebbero incidere notevolmente sul bilancio energetico ma che complicherebbero l'elaborazione dei dati. Altre soluzioni tecniche, quali il riciclo delle acque piovane o l'impiego di tetti giardino, potrebbero non essere simulate dal software. Il processo algoritmico è stato sviluppato secondo le fasi che seguono.

A) Importazione di dati climatici: i dati climatici specifici del contesto di analisi sono importati in formato EPW mediante Ladybug; l'add-on preleva da un database online il file EPW per le diverse località geografiche.

B) Modellazione del contesto: la modellazione del contesto urbano, che avviene mediante il software Rhinoceros, è definita con volumi semplici anche al fine di ridurre la complessità del calcolo di EnergyPlus.

C) Computazione ombre portate: i solidi del contesto sono impostati nell'add-on Honeybee come Context Surfaces; durante la simulazione, EnergyPlus tiene conto delle ombre portate per calcolare le temperature superficiali e indoor dell'edificio, e che influiscono sui consumi energetici e sul comfort; al fine di una maggiore accuratezza di calcolo, vengono inserite le superfici dei balconi e gli sporti dell'edificio.

D) Modellazione in zone termiche: l'edificio è modellato suddividendolo in 25 zone termiche, denominate HBZones, aree con caratteristiche omogenee, che corrispondono alle unità abitative, ai corpi scala, ai locali del sottotetto e ai locali al piano terra; le HBZones sono l'unità fondamentale del processo.

E) Superfici trasparenti: le superfici trasparenti sono inserite in seguito alla creazione delle zone termiche mediante il componente Add Glazing Object; Honeybee permette la creazione ad-hoc di finestre distribuite sulle facce esterne delle HBZones, con la possibilità di poterle controllare la grandezza, il passo, e altri parametri.

F) Materiali: ciascun materiale dell'edificio è inserito in una specifica libreria all'interno di Honeybee, come EPMaterial, attribuendogli specifiche caratteristiche quali spessore, calore specifico, densità, conducibilità termica e nome (ID).

G) Stratigrafie: l'add-on Honeybee permette di assegnare alle superfici di ogni HBZone una combinazione di diversi EPMaterial, chiamate EPConstruction; è possibile assegnare una singola EPConstruction alle superfici che condividono le stesse caratteristiche (ad esempio, tutte le superfici verticali esterne) o trattare separatamente ogni zona e le relative superfici.

H) HVAC e Schedule: gli interventi riguardano esclusivamente l'involucro e trascurano gli impianti, individuati per il riscaldamento autonomo in caldaia bitermica alimentata a gas e radiatori in acciaio, e per il raffrescamento in fan coil; la Schedule, ovvero l'occupazione degli utenti all'interno delle unità abitative, viene tarata per una famiglia di 4 persone (un lavoratore, due studenti e una casalinga), con differenti gradi di occupazione a seconda dei profili d'utenza e alla stagionalità.

I) Simulazione: tutte le caratteristiche delle HBZones elencate finora concorrono alla simulazione in EnergyPlus attraverso Honeybee; gli output delle simulazioni consentono di comprendere gli impatti dell'aumento delle temperature dovute al cambiamento climatico durante la vita dell'edificio e di verificare la rispondenza degli interventi di retrofit alle condizioni climatiche future, specificando il periodo di analisi della simulazione che può essere considerato annuale, mensile o giornaliero.<sup>9</sup>

**Confronto dei risultati** | Se il processo avesse la sua completezza nelle fasi sopraelencate, la sua utilità sarebbe limitata alla conoscenza della sola risposta dell'edificio alle condizioni climatiche fornita dai dati climatici per la città di Napoli nell'anno 2018. Dato quale obiettivo l'adattamento ai cambiamenti climatici, i dati devono essere confrontati con quelli di una condizione futura, in cui gli effetti del riscaldamento globale saranno ancora più esasperati di quanto non lo siano adesso. L'immissione di un file climatico modificato – ovvero soggetto a operazioni di morphing secondo i differenti scenari di proiezione climatica<sup>10</sup> – risulta rappresentativo di una possibile e futura trasformazione ambientale<sup>11</sup> (Troup and Fannon, 2016). In questo caso, il processo permette di proiettare in un probabile futuro un edificio realizzato negli anni '80 del ventesimo secolo, e di definirne i suoi livelli prestazionali in termini di consumi energetici e di comfort indoor.

Si è scelto quindi di eseguire le simulazioni dello stato attuale dell'edificio secondo lo scenario RCP 8.5<sup>12</sup> del trentennio 2080s<sup>13</sup>, che ri-

sulta la condizione limite con la quale stressare l'edificio campione con e senza l'applicazione degli interventi di retrofit definiti secondo le tecnologie e le esigenze odierne. Mettendo a confronto l'EPW originale e quello proiettato, si può avere un'intuitiva percezione della differenza fra le condizioni climatiche al 2018 e nel trentennio 2080s. L'innalzamento della temperatura media annuale di 3 °C comporterà gravissime ripercussioni sulla salute della popolazione e degli ecosistemi urbani, rendendo centrali le esigenze di garantire comfort all'interno degli edifici e di contenere i consumi di energia.

A valle di questi ragionamenti si è scelto di mettere a confronto gli output delle simulazioni che misurano il consumo energetico per il condizionamento e il benessere percepito dall'utente all'interno delle unità abitative dell'edificio oggetto delle simulazioni, ipotizzando i dati di rilevamento futuri di seguito riportati.

A) Operative Temperature<sup>14</sup> (°C): prende in considerazione la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante dalle superfici e la velocità dell'aria; al 2080s, la temperatura delle superfici esterne dell'edificio aumenta di circa 2-3 °C, con valori più alti in copertura, e all'interno delle unità abitative valori compresi tra 0,5 e 1 °C (Fig. 3).

B) Heating (KWh/m<sup>2</sup>): dati gli impianti costituiti da una caldaia a gas e da radiatori tradizionali e in considerazione del fatto che il riscaldamento globale renderà gli inverni leggermente più miti, i risultati nel trentennio 2080s mostrano un risparmio del 58% rispetto al 2018 (Fig. 4).

C) Cooling (KWh/m<sup>2</sup>): dati gli impianti del tipo a fan coil, i risultati mostrano che al 2080s l'edificio campione consumerà quasi tre volte l'energia spesa nel 2018, +240% (Fig. 5).

D) Predicted Mean Vote (PMV<sup>15</sup>): la condizione climatica invernale al 2080s, seppur mitigata dal riscaldamento globale, restituisce valori intorno a -3 per gli appartamenti esposti a nord, mentre durante il periodo estivo si prevede un aumento di circa 1 punto nei valori di PMV per tutte le unità abitative; l'aumento delle temperature sarà fortemente percepito all'interno dell'edificio (Fig. 6).

Il confronto fra gli output delle simulazioni effettuate permette di definire differenti tipologie di soluzioni tecniche quali misure di retrofit energetico e tecnologico – adatte all'edificio considerato e al suo contesto ambientale e microclimatico – suddivise secondo la classificazione tecnologica del sistema edilizio<sup>16</sup>. Ogni soluzione tecnica prevista è stata elaborata a seguito di test e di ottimizzazioni, in risposta alle specifiche esigenze dettate dai risultati delle simulazioni e all'interno di una più vasta gamma di soluzioni ipotizzate (Fig. 7-9).

#### Definizione parametrica e algoritmica delle soluzioni tecniche per il retrofit

La combinazione ottimale delle soluzioni tecniche è stata definita attraverso l'impiego del solutore evolutivo Octopus<sup>17</sup>, add-on di Grasshopper, che applica i principi dell'evoluzione genetica alla risoluzione di problemi complessi. Le variabili del problema sono considerate come Geni combinati per ottenere degli Individui, cioè delle soluzioni. Ogni generazione di soluzioni viene elaborata dal software come più adatta del-



la precedente, includendo la possibilità di recupero di vecchi Geni o di loro mutazioni. I parametri utilizzati per determinare la rispondenza di una soluzione sono definiti Fitness. Octopus considera quali migliori soluzioni quelle che ottimizzano tali parametri (Fig. 10).

I Geni che Octopus combina sono le soluzioni tecniche definite. Ogni soluzione consiste nella combinazione di un elemento di chiusura verticale, di chiusura orizzontale e di chiusura trasparente. Le combinazioni possibili sono 16, ma non è esclusa la possibilità di implementare una più ampia gamma di soluzioni. Le Fitness scelte quali parametri preferenziali del calcolo evolutivo corrispondono ai valori medi di Cooling e PMV, ottenibili adoperando le differenti combinazioni di soluzioni tecniche. Tali variabili sono preferite in quanto i consumi del raffrescamento risultano maggiori rispetto al riscaldamento invernale, mentre il PMV fa riferimento alla sensazione di comfort percepita dagli utenti.

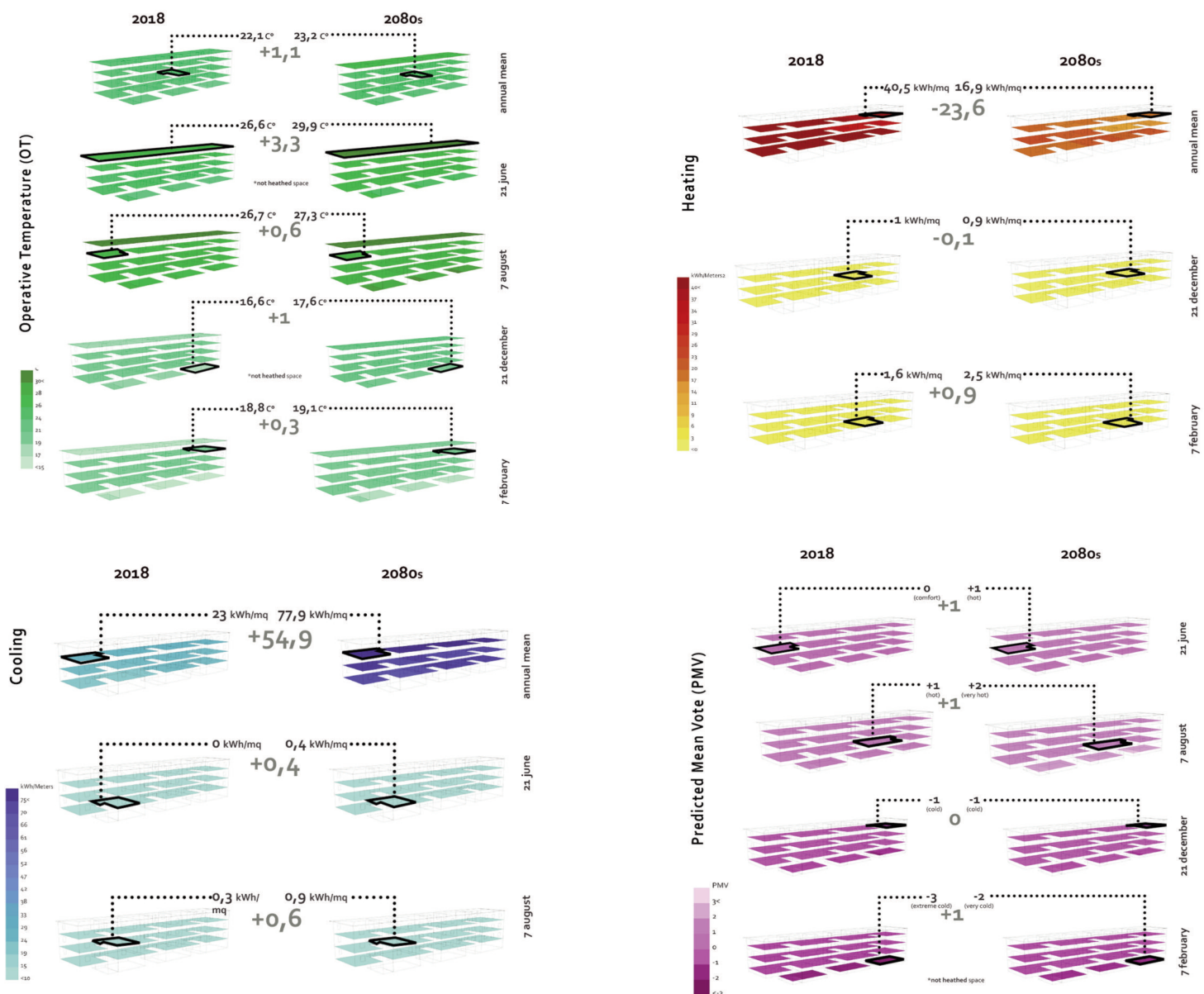
Il calcolo evolutivo di Octopus rende possibili valutazioni quantitative multi-criteriali altrimenti complesse. Come ogni step del proces-

so, anche il calcolo evolutivo può essere implementato in diversi modi. La possibilità di aggiungere altri Geni, ad esempio soluzioni tecniche alternative e nuove Fitness, può ampliare l'orizzonte del calcolo e la validità delle soluzioni finali. Il progettista può agire su diversi fattori che influenzano il calcolo in relazione alle specifiche esigenze, come il numero massimo di generazioni o di individui per generazione, oppure definire un intervallo di tempo limite. A causa delle performance dell'hardware utilizzato, Octopus è stato impostato per ridurre la complessità del calcolo, limitando il processo di analisi unicamente al 7 agosto, giorno identificato quale mediamente più caldo del 2018. Altri limiti riguardano il numero di soluzioni tecniche, l'impostazione di due soli valori di Fitness e il limite a 30 generazioni.

Risulta importante sottolineare che il solutore evolutivo non prende decisioni. Un processo digitale di ottimizzazione serve a informare delle scelte il progettista, operando un'analisi quantitativa dei risultati e lasciando al decisore la valutazione sull'aspetto qualitativo.

Ulteriori fattori che potrebbero essere presi in considerazione sono le emissioni di gas serra dell'edificio, i tempi e le modalità delle operazioni di cantiere e il costo parametrico della soluzione. Quest'ultimo è stato scelto quale ulteriore variabile per la definizione dell'intervento di retrofit. Alle soluzioni considerate più adeguate dal solutore evolutivo è stato assegnato un costo parametrico<sup>18</sup>, comprensivo della quota relativa agli interventi di manutenzione (Figg. 11-13). Le tre soluzioni risultate maggiormente adeguate e derivate da tre diverse generazioni sono state confrontate secondo diversi aspetti: prestazioni al 2018, prestazioni al 2080s e costo dell'intervento (Fig. 14). L'alternativa per il retrofit tecnologico ed energetico che risulta essere la migliore appartiene alla Generazione 29, dimostratasi più efficiente nel lungo periodo, capace di garantire buone prestazioni termiche alla condizione attuale e con un costo d'intervento che risulta medio.

**Conclusioni** | Il processo presentato risulta for-

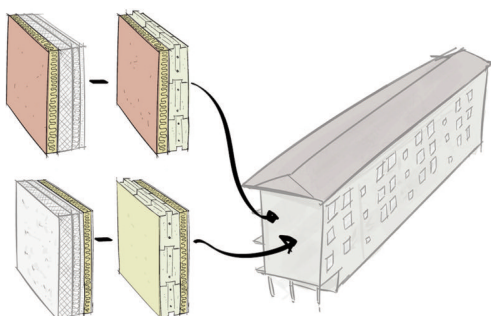


**Fig. 3-6** | Operative Temperature, comparison between simulations; Energy consumption for heating, comparison between simulations; Energy consumption for cooling, comparison between simulations; Predicted Mean Vote (PMV), comparison between the simulations.

temente implementabile, anche grazie allo sviluppo di nuovi strumenti di simulazione e all'incremento di tool che consentono l'interoperabilità tra i differenti software. Tra gli sviluppi futuri che questa metodologia può delineare vi sono: la definizione di Schedule giornaliere delle unità abitative, per una maggiore varietà di condizioni sociali (ad esempio, una famiglia di 6 persone con 2 lavoratori diurni, 1 lavoratore notturno, 2 studenti e 1 neonato); la connessione con strumenti BIM, per l'implementazione all'interno di dinamiche di progettazione coordinata (ad esempio, cronoprogrammi per la fase di cantiere, modellazione di impianti, strutture, ecc.); il data exchange e la verifica delle stratigrafie con strumenti IT che seguono la normativa nazionale (ad esempio PAN 7.0, sviluppato da ANIT); la definizione di dati climatici derivanti da simulazioni ambientali dello spazio aperto tramite l'add-on DragonFly<sup>19</sup>, che permette di rendere più attendibili le operazioni di simulazione energetica mediante un approccio di tipo site specific.

Il modello di simulazione/analisi elaborato, seppure con i limiti dichiarati, può costituire uno strumento utile nella gestione dei processi di simulazione prestazionale-energetica degli edifici; infatti, rispetto gli strumenti presenti oggi sul mercato, esso si caratterizza per una gestione olistica dei comportamenti dell'ambiente costruito, delle interazioni ambientali e degli scambi termici tra edifici e spazi aperti, mettendo in campo le differenti componenti che concorrono alla determinazione delle prestazioni di benessere all'interno dello spazio urbano. Inoltre, il modello di analisi/simulazione presentato si connota per l'ampia gamma di possibilità d'integrazione e di modifica continua, oltre che per la facile replicabilità processuale, tutti obiettivi primari e guida per la sua messa a punto soprattutto grazie ai recenti strumenti IT, ormai indispensabili nella gestione di operazioni di riqualificazione e rigenerazione urbana clima-adattiva che rappresentano la sfida centrale per le politiche tecniche, economiche e sociale dei prossimi anni.

The climate change is the most important challenge of recent history, whose implications af-



**Fig. 7 |** Technical solutions – Vertical closures. Solutions with internal insulation and solutions with external insulation have been provided; for each type of intervention, a low and a hard solution was provided, the latter providing the replacement of the existing infill, specifically, the prefabricated reinforced concrete panels, with cellular concrete blocks.

**Fig. 8 |** Technical solutions – Horizontal closures. The two considered options provide an external isolation and a cool-roof system to lower surface temperatures and insulate from the inside, both using wood fibre.

**Fig. 9 |** Technical solutions – Transparent closures. The two alternatives differ in both material and type: the first consists of an aluminium thermal break double glazing window, the second in a wooden window with low-emissivity double glazing; both solutions allow energy savings at different prices and with different results.

fect socio-economic policies globally and in which architecture<sup>1</sup>, framed in the wider construction sector, can play a fundamental role in the wished turnaround. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) claims that these phenomena are caused by human activities. Among effects and causes of climate change, like the raising of 25% of ocean's PH, the greenhouse gas concentration in the atmosphere and the raising regularity of heatwaves, the most relevant is global warming, which led to the 1° C increase in temperature compared to preindustrial levels<sup>2</sup> (IPCC, 2018). In order to define evolution of future climate at year 2100, the IPCC (2015) outlined four macro-scenarios depending on the greenhouse gas emission called RCP (Representative Concentration Pathways), from the most optimistic RCP 2.6, which expect an increase of mean global temperature under 1.5-2 °C, to the most catastrophic RCP 8.5, with a warming of almost 5 °C.

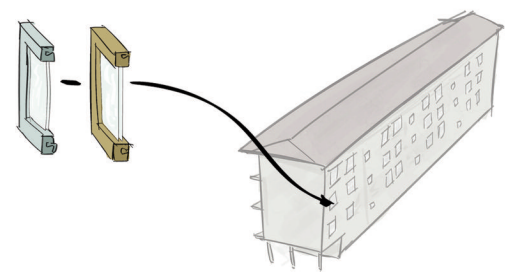
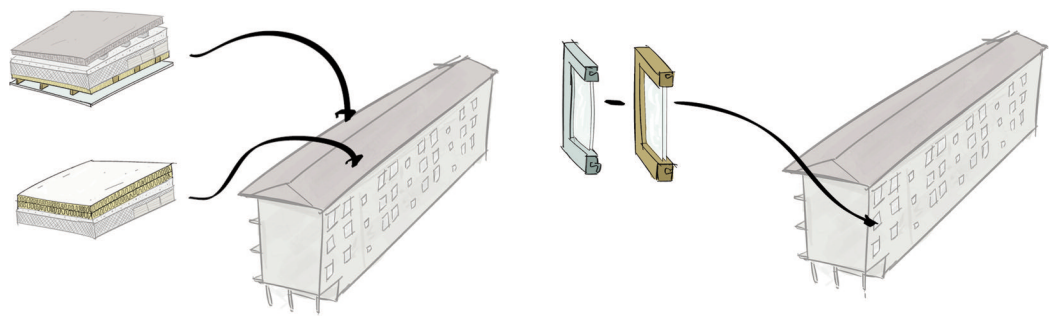
In response to the goals established in the COP 24 of 2018 – in which the reduction of greenhouse gas has been stated as a global target to contain global warming under 1.5 °C – the construction sector will contribute significantly to CO<sub>2</sub> emission reduction through climate-adaptive urban renewal actions. In particular, in Italy, the response to these phenomena can start from the low-quality housing construction built between the '70s and the first '90 of the last century, in which requests related to emergency, cheapness, and therefore to construction celerity prevailed<sup>3</sup>, already now inadequate in offering proper comfort conditions. In these cases, the adopted technical and building solutions are insufficient for energy performance, and the only way is building renewal through actions of technology and energy retrofit.

Evolution and development of this practice made possible the analysis of the building's energy performance during the design phase. The simulation of energy consumption and thermo-hygrometric conditions allow to address interventions towards the improvement of inhabitants' wellness. For these analyses, a lot of contest-related data are requested, such as air temperature, relative humidity, wind speed, solar irradiation etcetera, but, due to climate change, contest climate data can't be

considered unvaried during the whole building's lifecycle. This contribution focuses on a simulative approach, based on the use of parametric software to outline energy and technology retrofit actions of buildings, through a methodology replicable for urban and building regeneration actions for mitigation and climate adaption.

**Urban context |** The experimentation's subject is a building located in the eastern suburbs of Naples, in the area of Ponticelli, and belongs to the Extraordinary Program for Social Housing (PSER – Programma Straordinario di Edilizia Residenziale), which was introduced to give new housing possibilities to the displaced people afflicted by the terrible Irpina earthquake in 1980; Ponticelli was among the most involved areas, with the construction of a lot of new building blocks. The program was conceived to un-marginalizing Ponticelli, with buildings believed to be vanguard in both architectural spaces and in the technology employed. The flaws in the plan, alongside the low quality of construction process, prevented this goal to come true (Bianchi, 1986), and in fact, Ponticelli is still a peripheric area, disconnected and marginal. The neighbourhood in which subject building is located lacks totally of attractions, both commercial or public, and knows a complete absence of ordinary and extraordinary maintenance.

The buildings are nowadays deficient on both distributive-functional level and technical one, expressing the need of a performance adjustment related to wellness and energy consumption control; in fact, the heavy prefabrication building systems are the legacy of a culture and technology considered already outdated during their construction, as proved by the scarce durability and the advanced decay state of elements which compose the constructive system. Concerning aggregation typology, one of the most frequent in the Ponticelli area is the 'open courtyard' (Corsi and Frano, 1991), composed by a maximum of a four-storeys building with one or two tower buildings (Fig. 1). This aggregation, together with an environmental context without quality and green, contributes to the urban temperature increasing (a phenomenon known as Urban





Heat Island). The chosen subject building is representative of the exposed criticalities, and some others spread all over the national territory.

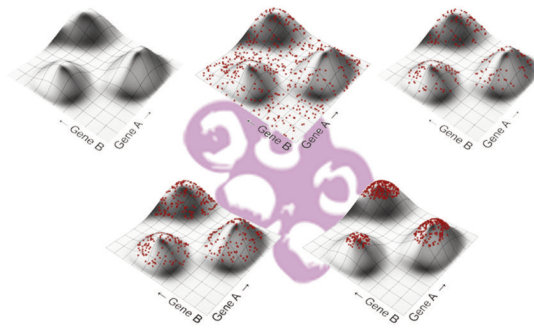
### Adaptive parametric design methodology for building retrofit

This article's goal is to define, through a methodology based on parametric design, energy and technology retrofit interventions for an example building, taking into account the response to future effects of climate change. The digital workflow takes place in the parametric environment of Grasshopper<sup>4</sup>, plug-in of a 3D modeling software (Rhino-ceros<sup>5</sup>), in which is possible to manage the huge data and input stream necessary to the develop of an algorithm that can analyze simultaneously data related to geometric and constructive features of the building, the one related to climate and micro-climate, and the shading factors operating in the urban context (Fig. 2). The tools used to manage this data are two add-ons: Ladybug, for climatic data import<sup>6</sup>, and Honeybee<sup>7</sup>, for the running of the energy design process and the connection of the data flow to the energy simulation engine EnergyPlus.<sup>8</sup>

A parametric-algorithmic approach can guarantee the use of tools that can both gather data and measure the effectiveness of proposed interventions, easing interpretation of the result through a deep connection between start conditions and definition of retrofit actions. Furthermore, this approach is completely flexible and replicable in different contexts and conditions. Each element of the process (climatic data, materials, building shape, etc.) can be quickly updated with different or more accurate information, without compromising the process itself. Being response to climate change a multicriteria issue, high-level flexibility of project alternatives is required. In this software environment, is possible to check the solutions provided without going out the process itself, so that the designer can know the pros and cons of each solution. Being this a highly-experimental process, not all data or possible definitions to represent reality have been taken into account. The exclusions from the methodological process have been chosen from the beginning, in favour of a fluid algorithm.

The interventions included in the process are related only to the building envelope, keeping out the architecture and morphology transformations of the buildings, such as windows addition/subtraction, volume enlargement, modification of the spatial and functional layout, and intended use changes. For the same reason and the calculation's simplification, detailed modelling of new and better plants for heating and cooling has been excluded among possible interventions. Also, the systems for the production of renewable energy, that could affect relevantly the energy balance, have been excluded because they could complicate data elaboration. Some strategies, like rainwater's recycling, or technological solutions, like a green roof, could not be read by the software. The algorithm process has been developed in the following steps.

A) Climatic data import: context-specific climatic data are imported in EPW format through La-



**Fig. 10** | The evolutionary solver Octopus brings together the Genes, generating a large number of solutions with increasing efficiency: the graph shows how Octopus graphically represents the solutions found, each of which is a point in a space whose coordinates correspond to the fitness functions.

dybug; the add-on directly downloads the EPW file from an online database.

B) Context modeling: the urban context is modelled in Rhinoceros using simple volumes for reducing EnergyPlus calculation's complexity.

C) Computing shading: the context volumes are set in HoneyBee add-on as Context Surfaces; during simulation, EnergyPlus will take into account of projected shadows for adjusting surface and indoor temperature of the building, affecting comfort and energy consumption; for a greater accuracy, balconies and cornices are included in this calculation.

D) Zone modelling: the building has been divided into 25 thermal zones, called HBZones, grouped by homogeneous climatic features, which represent flats, stairs, roof, attic and ground floor spaces; HBZones are the fundamental unity of the process.

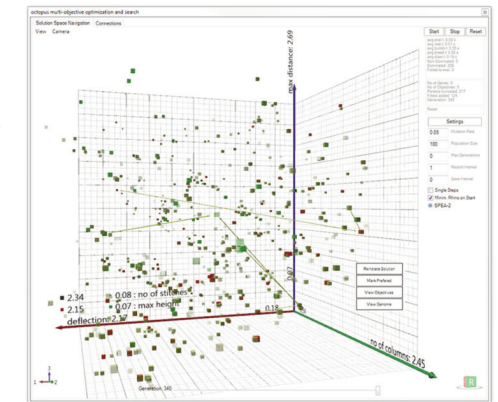
E) Transparent surfaces: windows are created after the zone definition with the Add Glazing Object component; Honeybee allows the design of windows on the HBZones external surfaces, enabling the control of parameters such as distribution, distance, etc.

F) Materials: Every material used in the building is saved as EPMaterial into a specific HoneyBee library, with its features, such as name, thickness, specific heat, density and conductivity.

G) Courses: the add-on Honeybee can assign to the HBZones surfaces the combinations of several EPMaterials, called EPConstruction. It is possible to assign a single EPConstruction to some surfaces that share some features (for example, all vertical external surfaces, all windows, etc.) or customizing zone's surfaces on their own.

H) HVAC and schedule: interventions will be only on the envelope, considering the existing plant: gas-powered steel heater and fan coil for cooling. The schedule describing the occupancy of the flat takes into account a 4 people family (one worker, two students, one unemployed) for each flat and consider people's absence during both summer and winter holidays.

I) Simulation: all HBZones features added in the previous steps contribute to EnergyPlus simulation through Honeybee interface; outputs will be useful to understand the temperature raising's consequences due to climate change during the building life and to check



the correspondence of retrofit actions to future climate, specifying the simulation's analysis period, that can be annual, monthly or daily.<sup>9</sup>

**Results comparison** | Would the process stop here, after EnergyPlus simulation, its utility would be only the knowledge of the building's response to climate conditions expressed by EPW file for Naples city in 2018. To study climate change adaption, these data have to be compared to future ones, when global warming effects will be worse, more evident than now. The import of a modified climatic file – i.e. subject to morphing operation according to the several scenarios of climate projection<sup>10</sup> – is representative of a possible and future climatic condition<sup>11</sup> (Troup and Fannon, 2016). In this case, the process allows to projection in a probable future a building from the 1980s and defining its performance levels regarding energy consumptions and indoor comfort.

The choice made is running simulations of present-day building's conditions following the RCP 8.5 scenario<sup>12</sup> of the thirty-years 2080s<sup>13</sup>, the limit-condition for stressing subject building with and without retrofit actions that reflect modern technology and standards. Comparing the original EPW with the morphed one, it is intuitively clear the difference between the climatic conditions of 2018 and 2080s. Annual mean temperature raising of 3 °C will have terrible repercussions on population and urban ecosystem's health, making comfort and energy-saving necessities vital for the buildings.

After this premise, the simulations' outputs that measure energy consumption for heating and cooling and perceived comfort of the subject building's flat have been compared, supposing the following future data.

A) Operative Temperature<sup>14</sup> (°C): takes into account air temperature, temperature radiating from surfaces and wind speed; in the 2080s, the temperature of all surfaces will rise of 2-3 °C, with higher values for the roof, while inside the flat the rising will be between 0.5 and 1 °C (Fig. 3).

B) Heating (KWh/m<sup>2</sup>): given that the plants consist in gas-powered steel heater and that global warming will make winters slightly warmer, in the 2080s there will be a saving of 58% compared to 2018 (Fig. 4).

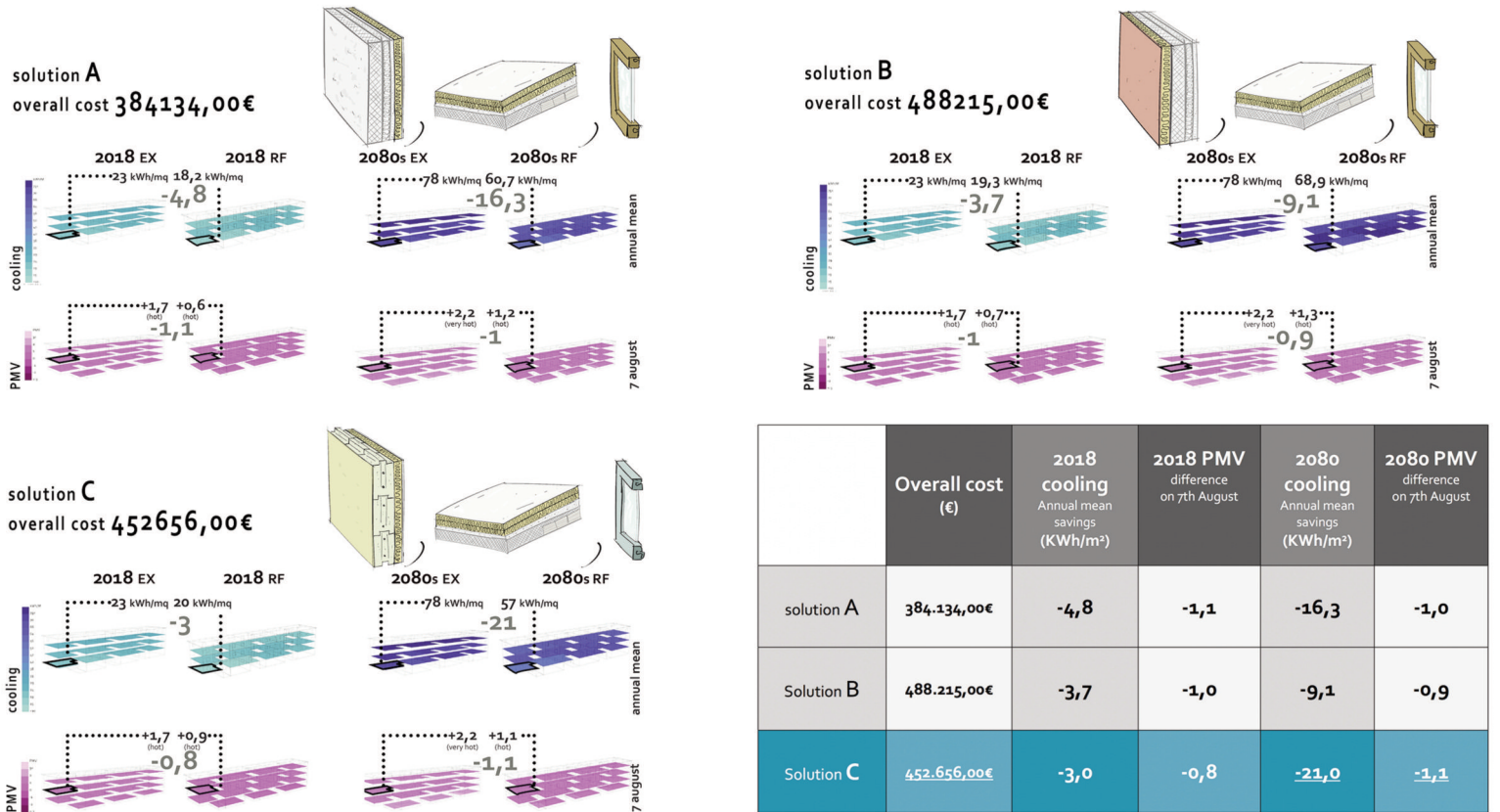


Fig. 11-13 | Solution A, from Generation 14 of 29; Solution B, from Generation 21 of 29; Solution C, from Generation 29 of 29.

Fig. 14 | Comparison between the three best solutions: in blue is highlighted the solution with the best ratio between cost and effectiveness in the 2080s. Some technical solutions have not been selected in any of the three best solutions.

C) Cooling (KWh/m<sup>2</sup>): with the fan coil plants seen above, the outputs show that in the 2080s the subject building will consume almost three times the energy spent in 2018, +240% (Fig. 5).

D) Predicted Mean Vote (PMV<sup>15</sup>): winter cold, although mitigated by global warming, is perceived very much at the 3th floor, arriving at -3 value in northern flats, while during summer period is predicted an increase of at least +1 for almost all flats; the temperature raising will be highly perceived indoor (Fig. 6).

Simulations' output comparison allows the outlining of several typologies of technical solutions for energy and technology retrofit – tailored to the subject building and its environmental and microclimatic context – split according to the technological classification of building system<sup>16</sup>. Each technical solution predicted was introduced after test and optimization, in response to specific needs derived by the simulation output and as a part of a wider range of solutions (Fig. 7-9).

**Parametric and algorithm definition of the technical solution for the retrofit**

The optimal combination of solutions were identified with the component called Octopus<sup>17</sup>, a Grasshopper add-on, that applies genetic evolution principles to complex problem-solving. Problems' variables are considered as Genes, combined to get Individuals, i.e. solutions. Each generation of solutions is elaborated by the software as more fit than the previous, including partial past genes retrieve and their possible mutations. Parameters used to deter-

mine if a solution is suitable are called fitness. Octopus considers better solutions among ones that optimize those parameters (Fig. 10).

The Genes that Octopus will combine are the outlined technological solutions. Each solution will consist of a combination of a vertical closure, horizontal closure, and transparent closure. The possible combinations are 16, but a wider range of solutions is possible. The fitnesses chosen as evolutionary calculation's preferential parameters are the mean values of Cooling and PMV, obtained through the different combinations. These values are the most relevant because cooling consumptions are much higher than heating and because PMV expresses the comfort feeling perceived by occupants.

The evolutionary calculation of Octopus makes quantitative multicriteria evaluations otherwise very complex. As every process' step, evolutionary solving too can be implemented in several ways. It is possible to add new Genes, for example, more technological interventions, and new Fitness, to widen the calculation's horizon and get more valuable solutions. The designer can act on several factors that affect the calculation for specific needs, such as a maximum value for the number of generations or for the individuals per generation or setting a time limit for the elaboration. Given the performance of the hardware used for the experimentation, Octopus was set to reduce calculation complexity, limiting the analysis process to 7th August alone, the hottest mean day of 2018. Other limits were related to the amount of technical solution, the setting of only two fitness and the automatic stop at generation 30.

It is important to highlight that evolutionary solver does not make choices. A digital optimization process informs the designer's choices, elaborating a quantitative analysis of results, leaving to the designer the evaluation of quality. Other possible factors that could be taken into account are the greenhouse gas emission, time and specifics of the construction site, and solution's parametric cost. This last factor was chosen as an additional variable for retrofit action. To the solutions considered the fittest by the evolutionary solver was assigned a parametric cost<sup>18</sup>, inclusive of a maintenance-related share (Fig. 11-13). The three most fit solutions from three different generations were compared in several levels: 2018 performance, 2080s performance and interventions cost (Fig. 14). The best energy and technology retrofit alternative belongs to Generation 29, for its long-term high effectiveness and its good present performances for a medium intervention cost.

**Conclusions** | This process is highly implementable, thanks to the wide range of new tools for simulation and interoperability between different software. Among future development potentially outlined by this research there are: setting of daily flats's Schedule representative of different social conditions (for example, a 6 people family consisting in 2 day workers, 1 night worker, 2 students, 1 baby); the connection with BIM tools for coordinated design dynamics (construction timetable, modeling of plants, structure etc.); the data exchange and courses checking with IT tools fol-



lowing national regulation (for example PAN 7.0, developed by ANIT); the integration into the climatic data of environmental simulation of outdoor space made through the DragonFly add-on<sup>19</sup>, which allows more accurate energy simulation with a site-specific approach.

The developed model of simulation/analysis, although with the stated limitations, can be a useful tool in the managing of energy-performance simulation processes for buildings; in fact, it stands out from the current tools for its

holistic management of built environment behavior, of environmental interactions and thermal exchanges between indoor and outdoor, putting together the different elements composing the wellness performance in the urban space. Furthermore, this analysis/simulation model is characterized by the wide range of integrations and possible updates, as well as for the easy process replicability, all primary goals for its outlining mostly thanks to the recent IT tools, already necessary in the management

for the actions of climate-adaptive urban regeneration and renewal, that represent the main challenge for technical, social and economic policies of the next years.

## Notes

1) The construction sector contributes to CO<sub>2</sub> emissions increasing for about 20% of greenhouse gas global emissions, taking into account both direct and indirect emissions (IPCC, 2015).

2) The IPCC stated that temperature increase of 1 °C more than preindustrial levels is in the probable range between 0.8 and 1.2 °C and that global temperature will rise of 1.5 °C in the period 2030-2052.

3) During the first '80s, there was a significant expansion of suburbs, which construction technology was derived and imported by heavy industrial processes, such as the post-earthquake reconstruction in Naples (Muratore et alii, 1988).

4) Grasshopper is a visual programming language working inside the software Rhinoceros; this plug-in allows the adoption of a parametric-algorithmic approach when working on 3D objects and data flow.

5) Software CAD with 3D modelling environment developed by McNeel.

6) The climatic files, usually in EnergyPlus Weather data format (EPW), gather hourly data on climate (air temperature, relative humidity, wind speed, etc.) of the principal world city.

7) Ladybug and Honeybee are two open source plug-in for the design of environment-sensitive architecture.

8) EnergyPlus is an energy simulation tool for energy consumption's modelling of buildings.

9) Factors such as zone numbers, analysis period and amount of data per zone, affect the simulation's complexity.

10) The Sustainable Energy Research Group of Southampton University developed the CCWorldWeatherGen tool for morphing the EPW file, projecting them towards the RCP 8.5-AR5-IPCC scenario.

11) The phenomenon called Southward Shift, an ostensible shift of temperatures towards the south, is predicted to happen; because of it, cities' latitude will ideally get closer to the equator (EEA, 2009).

12) This scenario shows what is going to happen if CO<sub>2</sub> emission will not be reduced: a temperature raising of almost 5 °C in 2100 (IPCC, 2015).

13) It describes the climate projection period, from 2070 to 2099.

14) Temperature perceived by occupants.

15) Thermal sensation index; the PMV is based on the human thermal balance on a thermal sensation scale that goes from -3 to +3, related to environmental and subjective variables (Fangers, 1972; UNI, 1997; UNI, 2006).

16) Vertical closure, horizontal closure, transparent closure (UNI, 1981).

17) Octopus' evaluation of solutions is based on the mathematical concept of Pareto optimum.

18) The parametric costs are derived from the Prezzario per la Regione Campania 2014 (CCIAA di Napoli and ACEN / Commissione RIT, 2014) and then actualized.

19) Add-on for creation of EPW files with the integration of environmental data (vegetation, urban surfaces material, etc) for studying microclimate effects.

## References

Ambrosini, L., Bassolino, E. and Scarpati, F. (2018), "Thermal-Perception-Driven Adaptive Design for Well-being in Outdoor Public Spaces: Case Studies in Naples", in Aletta, F. and Xiao, J. (eds), *Handbook of Research on Perception-Driven Approaches to Urban Assessment and Design*, IGI Global, Hershey, New York, pp. 207-239. [Online] Available at: [www.igi-global.com/chapter/thermal-perception-driven-adaptive-design-for-wellbeing-in-outdoor-public-spaces/198163](http://www.igi-global.com/chapter/thermal-perception-driven-adaptive-design-for-wellbeing-in-outdoor-public-spaces/198163) [Accessed 31 October 2019].

Ascione, P. and Bellomo, M. (2012), *Retrofit per la residenza – Tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio in Campania*, Clean Edizioni, Napoli.

Bianchi, R. (1986), *Le tecniche esecutive nell'edilizia residenziale degli anni '80 – Dal tradizionale evoluto al cosiddetto industrializzato*, Franco Angeli, Milano.

CCIAA di Napoli and ACEN / Commissione RIT (2014), *Tipologie edilizie prezzario il prezzario per tipologie edilizie di Napoli e Provincia*, ACEN. [Online] Available at: [docplayer.it/15799306-Tipologie-edilizie-prezzario-il-prezzario-per-tipologie-edilizie-di-napoli-e-provincia.html](http://docplayer.it/15799306-Tipologie-edilizie-prezzario-il-prezzario-per-tipologie-edilizie-di-napoli-e-provincia.html) [Accessed 31 October 2019].

Civiero, P. (2017), *Tecnologie per la riqualificazione – Soluzioni e strategie per la trasformazione intelligente del comparto abitativo esistente*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Corsi, E. and Frano, C. (1991), *Dal Terremoto al futuro – La ricostruzione a Napoli – Il titolo VIII della Legge 219/81*, Electa, Napoli.

EEA (2009), *Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns – Tackling the environmental challenges driven by European and global change – EEA Report no. 5/2009*, European Environment Agency, Copenhagen. [Online] Available at: [eprints.uwe.ac.uk/13151/1/Quality\\_of\\_life\\_in\\_cities%5B1%5D.pdf](http://eprints.uwe.ac.uk/13151/1/Quality_of_life_in_cities%5B1%5D.pdf) [Accessed 31 October 2019].

Fanger, P. O. (1972), *Thermal Comfort – Analysis and Application in Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), *Global Warming of 1.5 °C – Summary for Policymakers*, IPCC, Switzerland. [Online] Available at: [report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf) [Accessed 31 October 2019].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2015), *Climate Change 2014 – Synthesis Report*, IPCC, Geneva. [Online] Available at: [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf) [Accessed 31 October 2019].

Losasso, M. (2016), "Technological and environmental aid for the knowledge of urban districts", in D'Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds), *Environmental design for climate adaptation – I. Innovative Models for the production of knowledge*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 92-111. [Online] Available at: [www.sitda.net/downloads/biblioteca/Environmental%20Design%20for%20Climate%20Change%20adaptation.%201.%20Innovative%20models%20for%20the%20production%20of%20](http://www.sitda.net/downloads/biblioteca/Environmental%20Design%20for%20Climate%20Change%20adaptation.%201.%20Innovative%20models%20for%20the%20production%20of%20)

0knowledge.pdf [Accessed 31 October 2019].

Muratore, G., Capuano, A., Garofalo, F. and Pellegriani, E. (1988), *Guida all'architettura moderna: Italia – Gli ultimi trent'anni*, Nicola Zanichelli Editore, Bologna.

Peng, C. and Elwan S. (2014), "An outdoor-indoor coupled simulation framework for Climate Change-conscious Urban Neighbourhood Design", in *Simulation*, vol. 90, issue 8, pp. 874-891. [Online] Available at: [doi.org/10.1177/0037549714526293](https://doi.org/10.1177/0037549714526293) [Accessed 31 October 2019].

Tedeschi, A. (2014), *Algorithms-aided design – Parametric strategies using Grasshopper®*, La Pensée Publisher, Napoli.

Troup, L. and Fannon, D. (2016), "Morphing climate data to simulate building energy consumption", in *Proceedings of SimBuild 2016 – Building Performance Modelling Conference, Salt Lake City, August 8-12 2016*, ASHRAE and IBPSA-USA. [Online] Available at: [ibpsa-usa.org/index.php/ibpsa/article/view/390/376](http://ibpsa-usa.org/index.php/ibpsa/article/view/390/376) [Accessed 31 October 2019].

Tucci, F. (2018), *Costruire e Abitare Green – Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling – Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea Edizioni, Firenze.

UNI (2006), *UNI EN ISO 7730:2006 – Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*, UNI Ente Italiano di Normazione.

UNI (1997), *UNI-EN-ISO 7730:1997 – Ambienti termici moderati – Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico*, UNI Ente Italiano di Normazione.

UNI (1981), *UNI 8290-1:1981 + A122:1983 – Edilizia residenziale – Sistema tecnologico – Classificazione e terminologia*, UNI Ente Italiano di Normazione.