

# ACTIVE HOUSE PROTOCOL APPLICATION IN MEDITERRANEAN CLIMATE

## An energy-efficient kindergarden in Coppito

### Abstract

The E.U. aims to achieve climate neutrality by 2050. This article aims to fill the gap in the selection of solutions to improve living conditions in territorial assets (SDG n.11) to achieve the expected energy performance (SDG n.7) and disseminate the adoption of new approaches and measures for sustainable design (SDG n.13). These objectives were met through the application of a reverse engineering process to the Ape Tau kindergarden in L'Aquila, Coppito area, after the 2009 earthquake. The building's design solutions were investigated according to quantitative levels suggested by the holistic approach of the Active House protocol, which provides the methodology to verify the building's performance according to comfort, energy and environmental criteria. The results highlight the high performance of the building constructed with multilayer dry technology and the method's effectiveness based on process-oriented analysis to user, environment and territory. The article proposes an innovative paradigm for building requalification replicable in numerous contexts and different climatic conditions.

**Keywords:** *Sustainable development, Multi-layer dry construction, Performance assessment, Multi-criteria optimization, Ape Tau*

### Introduction

Intending to achieve the sustainability goals fixed within the 2030 Agenda of the United Nations and implemented by the European Union [1], it is necessary to address the building intervention strategies since the Architecture Engineering and Construction (AEC) sector is responsible for about 40% of the planet's total energy consumption [2]. A consistent body of scientific literature has investigated mostly envelope efficiency [3] and the plant system [4]. Improving the energy performance of all new buildings and existing ones through major renovations [5] and adopting new approaches to sustainable design [6] is the main priority. In this context, specific attention is required for emergency conditions since undertaken strategies may significantly impact the achievement of the sustainability goals, especially in fragile, at-risk and post-disaster scenarios. In fact, in some cases, despite recognizing the necessity to limit land use and additions to it, new areas are inevitably urbanized and quickly transformed. Moreover, despite the desire for participation and inclusion

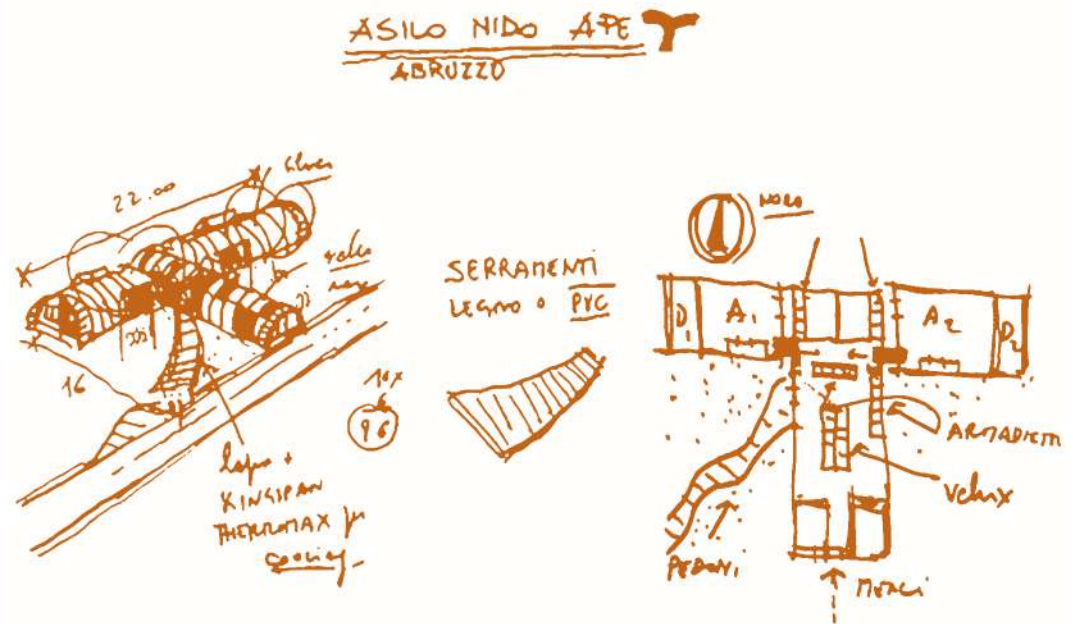


Fig.1 – Concept representation of the Ape Tau kindergarden

in decision-making processes, satisfactory results are rarely achieved [7]. The international scientific community has also expressed interest in these issues. For instance, Platt et al. [8] examined the speed and quality of the built environment recovery as well as the society and economy after the 2015 earthquake in Nepal. Spalinger [9] pointed out the low quality and degradation found in the Earthquake-proof Eco-compatible Housing Complexes built after the 2009 earthquake in L'Aquila (Fig. 2); Contreras et al. [10] remark that these building complexes, entirely built from scratch, consist of 184 buildings in 19 sites around the city and are added to the so-called MAP, temporary living modules, distributed in 54 locations. Moreover, these solutions, completely non-temporary and widely used in post-disaster scenarios in Italy [11], frequently appear to be low-quality design solutions, with little construction value other than being frequently imposed, without being shared or inclusive to the community. These choices, motivated by emergencies and a lack of time [12], cause radical alteration of the territorial assets and determine a significant obstacle in achieving sustainable development goals. In light of the reflections developed, this article intends to contribute to finding durable, high quality and, above all, inclusive construction solutions which are all-inclusive and capable of meeting users' needs, even in emergency

conditions. A reverse engineering process has been conducted to meet this objective, allowing a precise track backwards of all the technological and structural peculiarities of the "Ape Tau" kindergarden built in L'Aquila, Italy, in the Coppito area, after the 2009 earthquake [13]. Once the design solutions have been examined, the building features have been quantitatively verified by following the holistic approach of the



Fig. 2 – Some photographs concerning the conservation status of some buildings of the C.A.S.E. Plan in L'Aquila

Active House (AH) protocol [14], which allows detecting the criticalities and potentials of the building's status quo through a performance radar. Indeed, this AH protocol promotes the design of buildings that enable users to experience the indoor environment healthily and

comfortably [15], considering not only the environmental impact of the building but also its effects on individuals. The validation process has revealed how, even under emergency conditions, it is possible to design high-quality and durable buildings that can regenerate the existing and regenerate the land. Pursuing a similar intervention allows for the implementation of research in achieving sustainability goals n. 7, n. 11, and n. 13-of the 2030 Agenda [16].

### Methodology

The methodology applied in this study refers to the multi-criteria approach of the AH protocol, which was used for the first time in L'Aquila to evaluate the performance of the Ape Tau kindergarten. This methodology enabled the assessment of the building's performance to understand the design choices and contribute to the ecological transition of buildings constructed in emergency contexts. Via a reverse engineering process, the technological-constructive features of the kindergarten [17] were analysed and later evaluated under the established protocol criteria: comfort, energy, and environment. The overall building performance was calculated for each criterion by combining the nine AH evaluation parameters: four for comfort (daylight, thermal comfort, air quality and acoustics), three for energy (energy demand and supply, primary energy performance), two for the environment (sustainable construction, freshwater consumption). A quantitative evaluation of the three benchmarks was performed by calculating the scores for each of the nine parameters. The scores were determined through the total average, weighted according to the number of hours when the building is in use, the floor space of the single rooms and the number of people using them. The results obtained from the analysis of the building were summarised in a performance radar used to visualise and, if necessary, re-plan the levels of natural light intake, air quality, natural ventilation, thermal comfort and acoustics while at the same time reducing energy requirements and environmental impact according to the design ambitions. This visualisation mode allowed the critical and optimal performance of the kindergarten to be identified simultaneously. To be recognised as an Active House, the kindergarten's radar must achieve an overall score equal to or lower than 2.5, calculated through the total average of all parameters: 1 being the highest level and four the lowest. Hence, to analyse and validate the building's performance using multidisciplinary indicators, the methodology applied can be defined as process-oriented.

### Case study: inclusive, sustainable and high-performance design

The Ape Tau kindergarten (Fig. 3) was designed by the architectural and engineering studio Atelier 2 to reach high sustainability performance and regenerate the surrounding area. The building is located alongside the Murata Gigotti park, a place previously used to host temporary tents after the seismic events. The project comes from a "constructive" and

positive idea based on the desire to shape a resilient, inclusive, safe, and durable place for vulnerable users, involving local authorities and end-users. A participatory design process [18] was therefore initiated, involving local administration, research organisations, professionals, local businesses, and the community. Thanks to this participatory and integrated design approach, the construction of the kindergarten has promoted the regeneration of the area while achieving some of the main goals outlined in the 2030 Agenda [16], thus regulating an innovative, economically sustainable and child-sized solution. Overall, the building features integrated system and technological solutions, high seismic, acoustic, thermal and fire protection performances that comply with the specific requirements of a school building (Fig. 4). The project layout consists of a high-tech shelter leading to the entrance of the building and three-barrel shaped volumes: a larger central one for common areas and two smaller ones for classrooms and rest areas. The building envelope is made entirely of multilayer dry technologies [15] and industrialized elements, which assured high-quality control, short construction times and minimum site waste. The structure is made of laminated timber for the central volume and hot-rolled steel for the smaller ones (Fig. 5). The external shell is made of metal-faced curved sandwich panels, with a thickness of 70 mm and insulated with polyurethane (Fig. 6). With the most significant volume pointing northwest-southeast, the building presents roof windows that enhance lighting comfort and allow natural ventilation strategies. In addition, the building's location in the Mediterranean climate has required the adoption of inertial strategies to avoid overheating in summer: the internal layers of the envelope are super-insulating reflective systems and rock wool insulated false ceiling, while the external layer is a ventilated rain screen above the cladding in metal-faced sandwich panels. The building shape also minimises dispersion thanks to an optimised area/volume ratio. During the design phase, the materials selection and their use mode accounted for both the environmental impact of the building and the requirements imposed by the building's intended use. Most of the materials used have an environmental certification, such as EPD and PEFC and FSC for wood sourcing. The multi-layer dry construction allowed the performance to be designed according to the building's needs during the operational phase. The necessity to achieve high acoustic and hygienic requirements has been met through the combination of acoustic insulation and perforated non-allergenic soundproofing sheets, which reduced reverberation phenomena. Additionally, the multilayer dry-installed systems facilitate component disassembling, allowing recycling where possible. From the building services aspects, the designed system is considerably advanced. Users can manage the heating and mechanical ventilation system to regulate the internal temperature. The ventilation system and the use of certified

materials allow the preservation of indoor air quality for the benefit of fragile users. Turning now to the energy supply strategies, the designers have mainly used renewable sources. The building is supplied with solar thermal panels installed on the inclined entrance shelter to produce electricity and hot water. The kindergarten also uses energy from three geothermal sources to power the underfloor heating system with a heat pump. The features described kept primary energy needs to a minimum level, resulting in 17 kWh/m<sup>2</sup> per year.



Fig.3 – External view of the Ape Tau kindergarten case study



Fig.4 – Schematic design of the Ape Tau kindergarten



Fig.5 – Construction of the building's structure

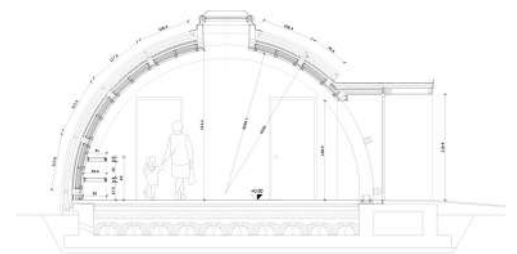


Fig.6 – Cross section of the wooden structure

### Results

In this section, the results obtained from the quantitative analyses conducted following the methodology proposed by the protocol are reported. The building's performances are represented in the AH radar (Fig. 7), highlighting graphically the high-performance levels achieved. The overall score is equal to 1.8. Examining the scores achieved for each

parameter (Tab. 1), the correspondence between the design strategies adopted, previously described, and the quantitative result becomes evident. In order to clarify the calculated building performance, hereafter, the results scored for each of the three AH criteria, comfort, energy and environment, are detailed.



Fig.7 – Ape Tau Active House radar

**Comfort**

The comfort levels (Fig. 8) were calculated through the weighted average of four parameters: daylight factor, operating temperature (maximum and minimum), indoor air quality and acoustics. As can be seen in Table 1, the reference values given by the guidelines to calculate the score are reported.



Fig.8 – Ape Tau partial Active House radar: comfort parameters

The score for natural light considers in the calculation the most frequently used rooms in the building and excludes service spaces. The software program used to analyse the daylight inside the building was Velux Daylight Visualizer 3.0, which enabled us to calculate the Fplane% (fraction of the room) value for each point of the rooms; the score obtained is 1.0. The operative temperature and air quality calculations were developed through the use of the dynamic simulation software IDA-ICE. The analysis was performed considering a series of boundary conditions including the number of users in each room and the number of hours of room use. As a result, the score evaluation for the indoor temperature is 1.8. The air quality evaluation depends on the value of parts per million (ppm) above the CO<sub>2</sub> concentration of the outside air and was found to be 2.2. The analysis accounted for the air exchange obtained through natural ventilation considering only the contribution of wind and not the air flows given by temperature

Criteria	Parameter	Tool	Boundary conditions	Score	
Comfort	Daylight factor	Velux Daylight Visualizer 3	1. Fplane,% > 70 % occupied space	1.0	
			2. Fplane,% > 60 % occupied space		
	Thermal environment	IDA-ICE	3. Fplane,% > 50 % occupied space		1. Ti,o < 25.5°C
			4. Fplane,% > 40 % occupied space		2. Ti,o < 26°C
			Maximum operative temperature per room	3. Ti,o < 27°C	
			4. Ti,o < 28°C		
Indoor air quality	IDA-ICE	Minimum operative temperature per room	1. Ti,o > 21°C	2.2	
		1. < 400 ppm above outdoor CO2 concentration	2. Ti,o > 20°C		
Energy	Acoustic quality	ECHO ANIT	2. Ti,o > 19°C	2.2	
			4. Ti,o > 18°C		
	Energy demand	Edil Clima	3. < 800 ppm above outdoor CO2 concentration	1.7	
			4. < 1100 ppm above outdoor CO2 concentration		
	Supply energy	Edil Clima	1. < 25 dB or noise level at or below background noise level	2.9	
			2. < 30 dB		
3. < 35 dB					
4. < 40 dB					
Primary energy performance	Edil Clima	Outside noise	1. < 25 dB	1.1	
		Acoustic privacy	2. < 30 dB		
Environment	Sustainable construction	AH-LCA tool + EPDs	3. < 35 dB	1.8	
			4. < 40 dB		
	Fresh water consumption	AH tool	1. > 50%	1.2	
			2. > 30%		
			3. > 10%		
			4. > 5%		
Total	AH tool	Recyclable or reusable virgin content	*80% of the building weight should be accounted	1.8	
		Responsible sourced wood	1. > 75 % wood used is certified (FSC, PEFC)		
Total	AH tool	Declared origin	2. > 50 % wood used is certified (FSC, PEFC)	1.8	
		Environmental loads	3. > 25% wood used is certified (FSC, PEFC)		
Total	AH tool	Global warming potential (GWP); Ozone depletion potential (ODP); Photochemical ozone creation potential (POCP); Acidification potential (AP); Eutrophication potential (EP)	4. > 0 % wood used is certified (FSC, PEFC)	1.2	
		Toilet water use and Tap water use	1. > 75 % new material has a certified EPD		
Total	AH tool	2. > 50 % new material has a certified EPD	2. < 6 litre per flush	1.2	
		3. > 25 % new material has a certified EPD	3. < 9 litre per flush		
Total	AH tool	4. > 0 % new material has a certified EPD	4. < 12 litre per flush	1.2	
		1. < 3 litre per minute	1. < 3 litre per minute		
Total	AH tool	2. < 5 litre per minute	2. < 5 litre per minute	1.2	
		3. < 7 litre per minute	3. < 7 litre per minute		
Total	AH tool	4. < 9 litre per minute	4. < 9 litre per minute	1.2	
		4. < 9 litre per minute	4. < 9 litre per minute		

Tab.1 – Results: Scores calculated for each Active House parameter assessed for the case study.

differences. Finally, further calculations were performed for the acoustic performance - a new parameter of the third edition of AH protocol - considering the main characteristics of the fixtures and the envelope. In this case, the final acoustic quality score achieved is 2.2.

### Energy

The result obtained for the energy performance of the building (Fig. 9), was calculated by averaging three parameters: energy demand, energy supply and primary energy performance. The energy demand calculations are based on the heating and electricity demand and has been estimated equal to 54 kWh/m<sup>2</sup>. Given the accurate design of the building and the systems, the score obtained is 1.7. The renewable energy contribution is reported as a percentage equal to 46.4%; this result corresponds to an AH score for the energy supply of the kindergarten equal to 2.8. According to the AH guidelines, the annual primary energy performance achieved a score of 1.0 and was calculated by the difference between the total energy need (25.1 kWh/m<sup>2</sup>) and the amount of renewable energy, multiplied by the national primary energy factor. The energy performance of the building achieves high levels of both energy demand and primary energy performance.

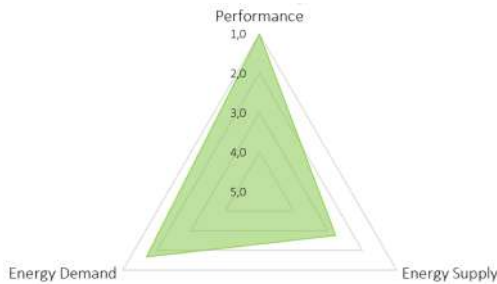


Fig.9 – Ape Tau partial Active House radar: energy parameters

### Environment

The environmental performance is given by the weighted average of two parameters: sustainable construction and freshwater consumption. The sustainability assessment of the construction (Fig. 10) is based on the analysis of environmental loads and the life cycle analysis of the building, quantifying its emissions to air, soil and water. To clarify which materials have a significant impact on

sustainability, Tab. 2 is showing the results calculated for each building element. This set of analyses highlighted that the most influential impact category is Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), which implies that the construction will affect ozone concentration in the troposphere. The last parameter evaluated to complete the performance assessment is the content of recyclable materials. The results strengthen the sustainability of the Ape Tau project, showing that 88% of the building is made up of recyclable materials. The careful choice of materials during the design phase resulted in an average sustainable construction score of 1.0. The last parameter for assessing the overall environmental performance is the freshwater consumption, which quantifies the water savings guaranteed in the building by comparing it with the national average. The final score is the average of the points assigned to each of the sanitary appliances in the kindergarten according to its "water use" value and for the case study equals to 1.2. The complete radar of the Ape Tau kindergarten and the performance achieved and summarised confirm the effectiveness of using integrated, sustainable and participatory design strategies that guarantee the comfort of the occupants without negatively impacting the environment.

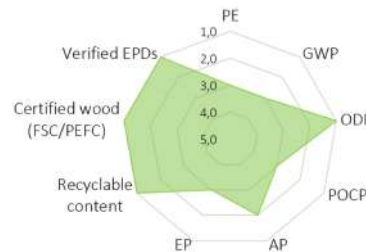


Fig.10 – Ape Tau partial Active House radar: environmental parameters

### Conclusion

The methodology proposed through the analysis of the Ape Tau kindergarten can be considered valid and replicable according to the results observed. Indeed, the application of the holistic approach of the Active House protocol to an existing building, on the one hand, highlights the benefits of using multi-criteria analysis to estimate the performance of the existing state. On the other, it constitutes a

Construction	Environmental impact per m <sup>2</sup> per year						
	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	ODP [kg R11-eq.]	AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	EP [kg PO <sub>4</sub> -eq.]	POCP [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.]	PE (non-ren.) [MJ]	PE (ren.) [MJ]
01 Outside walls	0,0	5,0E-09	0,000	0,000	0,000	1	0
02 Internal walls	0,3	3,2E-08	0,001	0,001	0,001	5	1
03 Windows & doors	0,1	5,8E-08	0,001	0,000	0,000	3	0
04 Slabs	2,7	7,4E-08	0,006	0,001	0,001	29	1
05 Roofs	3,7	9,2E-08	0,012	0,003	0,003	66	3
06 Foundations	1,5	4,1E-08	0,003	0,000	0,000	8	0
07 Installations	0,9	1,7E-07	0,002	0,000	0,000	17	0
Constructions	9,3	4,7E-07	0,024	0,006	0,005	129	5
Operation	7,6	1,2E-06	0,013	0,001	0,001	119	43
Total	16,8	1,7E-06	0,037	0,007	0,006	248	48

Tab.2 – Average scores for the sustainable construction of the Ape Tau kindergarten according to the Active House specifications.



Fig.11 – The Ape Tau kindergarten of Coppito

practice aware of the building sustainability instances applicable in the emergency redesign [19]. The synthetic performance radar encourages design optioneering assessments, which practically facilitates decision-making, is process-oriented, and is based on a holistic approach that accounts for the user, the environment and the territory [17]. In addition, the use of the multi-layer dry construction system also allowed for the flexible use of sustainable materials adapted to meet the needs of the users (Fig. 11). The proposed methodology, through the application of the AH protocol, overcomes the limits of the certification tool and represents an innovative paradigm for the renovation of existing buildings, supporting design choices oriented to achieve user comfort and low environmental impacts as well as to enhance the building heritage and the territory as a unique resource [12] for the community. Given its holistic approach, the protocol is an easily exportable and replicable model in numerous contexts. It helps validate choices, not only in the design phase but also in the operational phase, by evaluating different solutions through the so-called design optioneering.

### REFERENCES

- [1] European Commission. (2019) The European Green Deal. *European Commission*, 53, 24. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [2] Di Foggia, G. (2018) Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goals. *Heliyon*, Elsevier Ltd. 4, e00953. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953>
- [3] Annibaldi, V., Cucchiella, F., De Berardinis, P., Rotilio, M. and Stornelli, V. (2019) Environmental and economic benefits of optimal insulation thickness: A life-cycle cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd. 116, 109441. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109441>
- [4] Aste, N., Manfren, M. and Marenzi, G. (2017) Building Automation and Control Systems and performance optimization: A framework for analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd. 75, 313–30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.072>
- [5] Aste, N., Adhikari, R.S., Buzzetti, M., Del Pero, C., Huerto-Cardenas, H.E., Leonforte, F. et al. (2022) nZEB: bridging the gap between design forecast and actual performance data. *Energy and Built Environment*, Elsevier B.V. 3, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.10.001>
- [6] Cucchiella, F. and Rotilio, M. (2021) Planning and prioritizing of energy retrofits for the cities of the future. *Cities*, Elsevier Ltd. 116, 103272. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103272>

- [7] Di Gregorio, L.T. and Soares, C.A.P. (2017) Post-disaster housing recovery guidelines for development countries based on experiences in the American continent. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Elsevier Ltd. 24, 340–7. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.027>
- [8] Platt, S., Gautam, D. and Rupakhety, R. (2020) Speed and quality of recovery after the Gorkha Earthquake 2015 Nepal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Elsevier Ltd. 50, 101689. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101689>
- [9] Spalinger, A. (2016) *Der Kraftakt von L'Aquila*. Neue Zürcher Zeitung.
- [10] Contreras, D., Forino, G. and Blaschke, T. (2018) Measuring the progress of a recovery process after an earthquake: The case of L'Aquila, Italy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Elsevier Ltd. 28, 450–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.048>
- [11] Clemente, M. and Salvati, L. (2017) "Interrupted" landscapes: Post-earthquake reconstruction in between urban renewal and social identity of local communities. *Sustainability (Switzerland)*, 9. <https://doi.org/10.3390/su9112015>
- [12] Francese, D. (2020) Sustainable construction, social health and sustainable development goals. *Sustainable Mediterranean Construction*, 2020, 5–18.
- [13] Imperadori, M. (2010) *La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco*. Il Sole 24 Ore, editor. I Libri di Arketipo.
- [14] Active House Alliance. (2020) *The Active House Specification 3.0 Edition* from <https://www.activehouse.info/submit-your-project/upload-your-project/#specifications>.
- [15] Marco Imperadori, Imperadori, M., Brambilla, A., Brunone, F., Feifer, L., Salvalai, G. et al. (2019) *Active house. Progettazione e innovazione con tecnologie di costruzione stratificata a secco*. Maggioli Editore.
- [16] United Nations. (2015) *Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- [17] Brambilla, A., Salvalai, G., Tonelli, C. and Imperadori, M. (2017) Comfort analysis applied to the international standard "Active House": The case of RhOME, the winning prototype of Solar Decathlon 2014. *Journal of Building Engineering*, Elsevier Ltd. 12, 210–8. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.05.017>
- [18] Condotta, M. (2011) A Semiotic Framework to Support Sustainable Design Inside Mediterranean Cities. *Sustainable Mediterranean Construction*, 16, 39–54.
- [19] Frischknecht, R., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Aumann, A., Birgisdottir, H., Ruse, E.G. et al. (2019) Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions—71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 2272–80. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01690-y>

## NOTES

Fig.1, Fig.3, Fig.4, Fig.5, and Fig.6 are by Marco Imperadori, full professor at the Politecnico di Milano and of the Atelier2 studio. The others are by the Authors.

## APPLICAZIONE DEL PROTOCOLLO ACTIVE HOUSE IN CLIMA MEDITERRANEO

### Un asilo ad alta efficienza energetica a Coppito

#### Sommario

La U.E. intende raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Questo articolo mira a colmare il divario nella scelta di soluzioni migliorative delle condizioni di vita negli assetti territoriali (SDG n.11) per il

raggiungimento delle prestazioni energetiche attese (SDG n.7) e diffondere l'adozione di nuovi approcci e misure per la progettazione sostenibile (SDG n.13). Tali obiettivi sono stati conseguiti mediante l'applicazione di un processo di reverse engineering all'asilo Ape Tau, L'Aquila, località Coppito, dopo il sisma del 2009. Le soluzioni progettuali impiegate nell'edificio sono state analizzate secondo livelli quantitativi suggeriti dall'approccio olistico del protocollo Active House, che fornisce la metodologia per verificare le prestazioni dell'edificio secondo criteri di comfort, energia e ambiente. I risultati evidenziano elevate prestazioni dell'edificio costruito con tecnologia stratificata a secco e l'efficacia del metodo basato su analisi process-oriented a utente, ambiente e territorio. L'articolo propone un paradigma innovativo per la riqualificazione degli edifici, replicabile in numerosi contesti e differenti condizioni climatiche.

**Parole-chiave:** Sviluppo sostenibile, Costruzione a secco, Valutazione delle prestazioni, Ottimizzazione multi-criteriale, Ape Tau.

## Introduzione

Nell'ottica di voler conseguire gli obiettivi di sostenibilità fissati dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite ed implementati dall'Unione Europea [1], è necessario riflettere sulle strategie di intervento edilizio in quanto il settore Architecture Engineering and Construction (AEC) è responsabile di circa il 40% del consumo totale di energia sul Pianeta [2]. Gli ambiti di ricerca maggiormente studiati dalla comunità scientifica sono quelli inerenti all'efficiamento dell'involucro [3] e del sistema impiantistico [4]. La priorità è il miglioramento delle prestazioni energetiche di tutti i nuovi edifici e di quelli esistenti attraverso importanti rinnovamenti [5] e adottando nuovi approcci per la progettazione sostenibile [6]. In tale quadro, un ambito che necessita di attenzione è quello inerente alla condizione emergenziale, poiché le strategie attuate possono determinare un notevole impatto nel conseguimento degli obiettivi di sostenibilità, soprattutto nei contesti fragili e di rischio nonché in scenario post disastro. Infatti, in particolari situazioni, nonostante la consapevolezza della necessità di limitare l'uso del territorio e le aggiunte su di esso, inevitabilmente nuove aree sono urbanizzate e velocemente trasformate. Inoltre, nonostante la volontà di partecipazione ed inclusione nei processi decisionali, raramente si conseguono risultati soddisfacenti [7]. Anche la comunità scientifica internazionale si è interessata a tali temi. Ad esempio Platt et al. [8] hanno analizzato la velocità e la qualità del recupero dell'ambiente costruito, oltreché della società e dell'economia dopo il terremoto del 2015 in Nepal; Spalinger [9] ha evidenziato la bassa qualità ed il degrado presente nei Complessi Anti-Sismici Eco-compatibili realizzati a seguito del terremoto del 2009 in L'Aquila (Fig. 2); Contreras et al. [10] rammentano come tali complessi, realizzati interamente ex-novo, consistono di ben 184 edifici in 19 siti intorno alla città e si aggiungono ai cosiddetti MAP, moduli abitativi provvisori, distribuiti in 54 località. Infine, tali soluzioni, affatto temporanee, impiegate diffusamente negli scenari post disastro verificatisi nel territorio italiano [11], risultano spesso di bassa qualità progettuale, scarso valore costruttivo oltreché frequentemente imposte, senza condivisione né inclusione. È evidente che queste scelte, motivate da condizioni di emergenza e dalla mancanza di tempo [12], portano a stravolgimenti negli assetti territoriali e determinano un consistente peso al fine del conseguimento dei sustainable development goals. Alla luce delle riflessioni elaborate, il presente articolo intende contribuire alla ricerca di soluzioni costruttive che siano durature, di qualità e soprattutto inclusive, in grado di tenere in considerazione le necessità dell'utenza, anche in condizione emergenziale. Per conseguire tale obiettivo, è stato compiuto un processo di reverse engineering, che ha consentito di ricostruire

puntualmente tutte le caratteristiche tecnologico-costruttive dell'asilo "Ape Tau" realizzato in L'Aquila, Italia, località Coppito, nell'immediato post sisma 2009 [13]. Dopo essere state analizzate, le soluzioni progettuali sono state verificate quantitativamente seguendo l'approccio olistico del protocollo Active House (AH) [14], il quale consente di rilevare le criticità e potenzialità dello stato di fatto dell'edificio mediante un radar prestazionale. Infatti, tale protocollo AH promuove la progettazione di edifici che consentono agli utenti di vivere l'ambiente interno in modo sano e confortevole [15], tenendo conto non solo dell'impatto ambientale del manufatto ma anche dei suoi effetti sugli individui. Il processo di validazione attuato ha dimostrato come, anche in condizione emergenziale, sia possibile progettare in qualità e realizzare edifici duraturi in grado di rigenerare l'esistente e risanare il territorio. Un intervento siffatto consente di implementare la ricerca nel conseguimento degli obiettivi di sostenibilità n. 7, n. 11 and n. 13 dell'Agenda 2030 [16].

## Metodologia

La metodologia applicata in questo studio, fa riferimento all'approccio multi-criteriale del protocollo AH impiegato per la prima volta a L'Aquila, per la valutazione delle performances dell'asilo nido Ape Tau. Tale metodologia ha permesso sia di valutare le prestazioni dell'edificio per comprendere meglio l'efficacia delle scelte progettuali, sia di contribuire alla transizione ecologica degli edifici costruiti in contesti d'emergenza. Tramite un processo di reverse engineering, sono state analizzate le caratteristiche tecnologico-costruttive dell'asilo [17] e successivamente valutate secondo i criteri stabiliti dal protocollo: comfort, energia e impatto ambientale. Le prestazioni complessive dell'edificio sono state calcolate per ogni criterio combinando i nove parametri di valutazione AH: quattro per il comfort (luce diurna, comfort termico, qualità dell'aria e acustica), tre per l'energia (domanda e approvvigionamento di energia, prestazioni di energia primaria), due per l'ambiente (costruzione sostenibile, consumo di acqua dolce). Attraverso il calcolo di punteggi per ognuno dei nove parametri è stato possibile valutare quantitativamente i tre criteri di riferimento. I punteggi sono stati ricavati attraverso la media totale, pesata rispetto alle ore in cui l'edificio risulta attivo, alle superfici dei singoli ambienti e al numero di persone che li utilizzano. I risultati ottenuti dall'analisi dell'edificio sono stati sintetizzati in un radar prestazionale con cui visualizzare e, se necessario, ripianificare i livelli di apporto di luce naturale, di qualità dell'aria, di ventilazione naturale, di comfort termico ed acustico; riducendo nello stesso tempo il fabbisogno energetico e l'impatto ambientale in base alle ambizioni progettuali. Questa modalità di visualizzazione ha consentito di evidenziare contemporaneamente le prestazioni critiche e ottimali dell'asilo. Affinché l'edificio sia riconosciuto come un'Active House, il radar dell'asilo deve raggiungere un punteggio complessivo pari a 2,5, calcolato attraverso la media totale tra tutti i parametri: 1 è il livello più alto e 4 il più basso. È quindi nell'ottica di analizzare e validare le prestazioni dell'edificio, impiegando indicatori multidisciplinari, che la metodologia applicata può essere definita process-oriented.

## Caso di studio: il design prestazionale partecipato e sostenibile

L'asilo nido Ape Tau (Fig. 3) è stato progettato dallo studio di ingegneria e architettura Atelier 2 con l'obiettivo di raggiungere elevate performance di sostenibilità e di rigenerare il territorio. L'edificio si inserisce ai margini del parco Murata Gigotti, un luogo precedentemente destinato ad ospitare tendopoli nel periodo successivo al terremoto. Il progetto nasce da un'idea "costruttiva" e positiva, basata sulla volontà di dare vita a un luogo resiliente, inclusivo, sicuro e duraturo, destinato ad utenti fragili, coinvolgendo

attivamente sia gli enti locali sia gli utenti finali. Per tale motivo è stato avviato un processo progettuale partecipato [18] che ha visto la collaborazione tra amministrazione locale, enti di ricerca, professionisti, imprese del luogo e collettività. Grazie a tale approccio progettuale partecipato ed integrato, la costruzione dell'asilo ha promosso la rigenerazione del territorio attraverso il raggiungimento di alcuni dei principali obiettivi indicati dall'Agenda 2030 [16], disciplinando così una soluzione innovativa, economicamente sostenibile ed a scala di bambino. Nel complesso, l'edificio presenta soluzioni impiantistiche e tecnologiche innovative, elevate prestazioni sismiche, acustiche, termiche e di protezione incendio, in linea con le peculiarità di un edificio scolastico (Fig. 4). Il layout del progetto è costituito da una pensilina tecnologica che accompagna all'ingresso dell'edificio e da tre corpi coperti a carena: uno centrale più grande, che ospita i luoghi della collettività, e due più piccoli dedicati ad aule e spazi di riposo. L'involucro è realizzato interamente con tecnologia stratificata a secco [15] e con elementi di tipo industrializzato, che hanno permesso di garantire un elevato controllo di qualità, di ridurre i tempi di costruzione e di minimizzare i rifiuti di cantiere. La struttura è realizzata in legno lamellare per il corpo centrale e con tecnologie in acciaio per i due edifici laterali (Fig. 5). La scocca esterna è costituita da pannelli sandwich metallici curvi, di spessore 70 mm e coibentati in poliuretano (Fig. 6). Orientato con il corpo più grande in direzione nord-ovest sud-est, l'edificio presenta aperture zenitali che contribuiscono al miglioramento delle prestazioni di comfort luminoso e all'ottimizzazione delle strategie di ventilazione naturale. Inoltre, la collocazione in contesto climatico Mediterraneo ha richiesto l'adozione di strategie inerziali per evitare il surriscaldamento estivo: verso l'interno l'involucro è dotato di sistemi super isolanti riflettenti e controsoffitto coibentato in lana di roccia, mentre verso l'esterno è caratterizzato da una intercapedine ventilata tra il rivestimento in lamiera e il pannello sandwich. Anche la forma a carena dell'edificio contribuisce a minimizzare le dispersioni grazie a un rapporto tra superficie e volume ottimizzato. In fase progettuale, la scelta dei materiali e la loro modalità d'impiego hanno tenuto conto sia dell'impatto ambientale dell'edificio, sia dei requisiti imposti dalla destinazione d'uso dell'edificio. La maggior parte dei materiali utilizzati ha una certificazione ambientale, come EPD, e PEFC e FSC per l'approvvigionamento del legno. La stratificazione a secco ha consentito di progettare le prestazioni a seconda delle necessità dell'edificio in fase operativa. Infatti, la necessità di raggiungere elevati requisiti acustici e igienici è stata soddisfatta grazie all'accoppiamento di isolante acustico e lastre fonoassorbenti forate anallergiche, che riducono i fenomeni di riverbero. Inoltre, la stratificazione a secco facilita il disassemblaggio dei componenti, consentendo, ove possibile, il riciclo. Dal punto di vista impiantistico, il sistema progettato è considerabile fortemente d'avanguardia. L'impianto termico ed il sistema di ventilazione meccanica controllata possono essere gestiti dagli utenti per la regolazione della temperatura interna. La progettazione della ventilazione e l'utilizzo di materiali certificati, consentono di preservare la qualità dell'aria interna a favore dell'utenza fragile. Dal punto di vista delle strategie di approvvigionamento energetico, i progettisti hanno prevalentemente utilizzato fonti rinnovabili. L'edificio infatti è dotato di pannelli solari termici posizionati sulla pensilina d'ingresso inclinata, adibiti alla produzione di energia elettrica e acqua calda sanitaria. Inoltre, il sistema si avvale anche dell'energia proveniente da tre sonde geotermiche per alimentare l'impianto di riscaldamento a pavimento tramite una pompa di calore. Queste caratteristiche hanno consentito di minimizzare il fabbisogno di energia primaria, pari a 1.7 kWh/m<sup>2</sup> anno.

## Risultati

In questo paragrafo si riportano i risultati ottenuti dalle analisi quantitative effettuate secondo la metodologia suggerita dal protocollo. Le performance dell'edificio sono rappresentate nel radar AH (Fig. 7), evidenziando anche graficamente gli elevati livelli prestazionali raggiunti. Il punteggio complessivo è infatti pari a 1.8. Osservando i punteggi di ciascun parametro (Tab. 1), è evidente la corrispondenza tra le strategie progettuali adottate, precedentemente descritte, ed il risultato quantitativo. Al fine di chiarire le prestazioni calcolate per l'edificio, di seguito si descrivono i risultati ottenuti per ognuno dei tre criteri di AH: comfort, energia ed ambiente.

### Comfort

I livelli di comfort (Fig. 8) sono stati calcolati attraverso la media pesata di quattro parametri: luce naturale, temperatura operativa (massima e minima), qualità dell'aria all'interno dell'edificio e acustica. I valori di riferimento per il calcolo del punteggio, indicati dal protocollo, sono riportati nella Tab. 1. Per calcolare il punteggio relativo alla luce naturale si è tenuto conto degli ambienti dell'edificio maggiormente utilizzati, escludendo dai calcoli gli spazi di servizio. Con l'applicazione del software di simulazione della luce naturale, Velux Daylight Visualizer 3.0, è stato possibile verificare per ogni punto degli ambienti analizzati il valore  $F_{plane}$  (fraction of the room). Il punteggio finale ottenuto è pari a 1.0. Il calcolo della temperatura operativa e della qualità dell'aria è stato sviluppato utilizzando il software di simulazione dinamica IDA-ICE. Per ricavare i risultati si è tenuto conto di una serie di condizioni al contorno, tra cui il numero di utenti all'interno di ogni stanza e il numero di ore di utilizzo della stessa. Il punteggio relativo alla temperatura interna pari a 1.8. La stima della qualità dell'aria dipende dal valore di parti per milione (ppm) al di sopra della concentrazione di CO<sub>2</sub> dell'aria esterna ed è risultato pari a 2.2. L'analisi ha tenuto conto del ricambio d'aria ottenuto grazie alla ventilazione naturale considerando il solo contributo del vento e non dei flussi d'aria dati dalle differenze di temperatura. Infine, è stato svolto il calcolo della qualità acustica dell'edificio - elemento di novità nella terza edizione del protocollo AH - tenendo conto delle caratteristiche degli infissi e dell'involucro. In questo caso il punteggio finale delle qualità acustica è pari a 2.2.

### Energia

Il risultato ottenuto per la prestazione energetica dell'edificio (Fig. 9) è stato calcolato attraverso la media di tre parametri: la domanda di energia, l'approvvigionamento energetico e la performance di energia primaria. I calcoli della domanda di energia, complessivamente pari a 54 kWh/m<sup>2</sup>, sono basati sul fabbisogno di riscaldamento ed elettricità. Grazie all'attenta progettazione del sistema edificio-impianto il punteggio ottenuto è pari a 1.7. Il contributo delle fonti di energia rinnovabili viene riferito in termini di percentuale ed è pari al 46,4%. A tale valore corrisponde un punteggio per l'approvvigionamento di energia dell'asilo pari a 2.8. La prestazione annuale di energia primaria raggiunge un punteggio pari a 1.0 ed è stata calcolata, secondo le linee guida AH, mediante la differenza tra l'energia totale utilizzata (25,1 kWh/m<sup>2</sup>) e la quantità di energia rinnovabile, moltiplicata per il fattore nazionale di energia primaria. Le prestazioni energetiche dell'edificio raggiungono alti livelli sia per quanto riguarda la domanda di energia sia, come detto, per le prestazioni di energia primaria.

### Ambiente

La prestazione ambientale è valutata attraverso la media pesata di due parametri: la sostenibilità della costruzione e il consumo di acqua dolce. Il calcolo della sostenibilità della costruzione (Fig. 10) si basa sull'analisi dei carichi ambientali e sull'analisi del ciclo di vita dell'edificio, quantificandone le emissioni

nell'aria, nel suolo e nell'acqua. Al fine di chiarire quali sono i materiali che impattano significativamente sulla sostenibilità si riportano i risultati calcolati per gli elementi costruttivi dell'edificio nella Tab. 2. Dai risultati si evince che la categoria d'impatto con maggiore influenza è il Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), ciò implica che l'edificio influenzerà la concentrazione di ozono nella troposfera. A completamento della valutazione della performance, è stato calcolato il contenuto di materiali riciclabili. Nel caso dell'Ape Tau costituiscono l'88% della costruzione. La scelta oculata dei materiali in fase di progettazione ha permesso di ottenere un punteggio medio di costruzione sostenibile pari a 1,0. L'ultimo parametro per la valutazione della performance ambientale è il consumo di acqua dolce, che quantifica il risparmio idrico garantito nell'edificio, confrontandolo con la media nazionale. Il punteggio finale è la media dei punti assegnati a ciascuno degli apparecchi sanitari presenti nell'asilo secondo il suo valore di "utilizzo dell'acqua" e nel caso analizzato è pari a 1.2. Il radar completo dell'asilo Ape Tau e le prestazioni raggiunte e sintetizzate confermano l'efficacia dell'utilizzo di strategie di progettazione integrata, sostenibile e partecipata, che garantiscono il comfort degli occupanti senza impattare negativamente sull'ambiente.

## Conclusioni

Alla luce dei risultati ottenuti, la metodologia proposta attraverso l'analisi dell'asilo nido Ape Tau si può considerare efficace e riproponibile. Infatti, l'applicazione dell'approccio olistico del protocollo Active House ad un edificio esistente da una parte pone in evidenza i benefici dell'impiego dell'analisi multicriteriale per la stima delle performance dello stato di fatto, dall'altra costituisce una pratica attenta alle istanze della sostenibilità edilizia applicabile nell'ambito della riprogettazione d'emergenza [19]. Il radar prestazionale sintetico, di fatto, incentiva le valutazioni di design optioneering, che facilitano il processo decisionale in maniera efficace, process-oriented, fondato su un approccio olistico che tiene conto dell'utente, dell'ambiente e del territorio [17]. Inoltre, la scelta di utilizzare un sistema tecnologico stratificato a secco ha consentito anche l'uso flessibile di materiali sostenibili, adatti a soddisfare le necessità dell'utenza (Fig. 11). La metodologia proposta, attraverso l'applicazione del protocollo AH, supera i limiti dello strumento di certificazione e rappresenta un paradigma innovativo per la riqualificazione di edifici esistenti, supportando scelte progettuali orientate sia al raggiungimento del comfort dell'utente e di bassi impatti ambientali sia alla valorizzazione del patrimonio edilizio e del territorio come risorsa unica [12] per la collettività. Dato il suo approccio olistico, il protocollo risulta un modello facilmente esportabile e replicabile in numerosi contesti, utile per convalidare le scelte, non solo in fase progettuale ma anche in quella operativa valutando le diverse soluzioni attraverso il cosiddetto design optioneering.

### NOTE

Le Fig.1, Fig.3, Fig.4, Fig.5, Fig.6 sono di Marco Imperadori, professore ordinario al Politecnico di Milano e dello studio Atelier2. Le rimanenti immagini sono degli Autori.