

# Indice

|  |         |   |          |
|--|---------|---|----------|
| Premessa _____   | pag. 9  | 4   INVOLUCRO EDILIZIO: MORFOLOGIA _____  | pag. 62  |
| Ringraziamenti _____   | pag. 11 | 4.1 Progetto preliminare: la forma corretta                                     | 67       |
| 1   LA CASA DI IERI, DI OGGI, DI DOMANI _____                      | pag. 12 | 4.2 Progetto definitivo: altri aspetti funzionali                               | 72       |
| 1.1 La casa del XX secolo (anni Cinquanta)                         | 13      | 4.3 Sistema strutturale   | 74       |
| 1.2 La casa del XIX secolo   | 15      | 4.4 Fondazioni e strutture a umido  | 79       |
| 1.3 I nodi vengono al pettine                                      | 18      | 4.5 Struttura in elevazione   | 83       |
| 1.4 La casa del XXI secolo   | 19      | <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 4</i>                                  | 87       |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 1</i>                     | 21      | 5   INVOLUCRO EDILIZIO: COMPONENTI _____  | pag. 88  |
| 2   SOSTENIBILITÀ ECONOMICA _____                                  | pag. 22 | 5.1 Requisiti e caratteristiche   | 89       |
| 2.1 Aumentare il numero di unità immobiliari                       | 25      | 5.2 Muri  | 92       |
| 2.2 Incentivi fiscali  | 26      | 5.3 Solai   | 106      |
| 2.3 Individuare la tecnologia costruttiva                          | 29      | 5.4 Finestre  | 116      |
| 2.4 Ridurre le tempistiche di cantiere                             | 31      | <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 5</i>                                  | 121      |
| 2.5 I vantaggi di un edificio certificato Passive House            | 34      | 6   FISICA DELL'EDIFICIO ( <i>Kristian Fabbri</i> ) _____                       | pag. 122 |
| 2.6 Sostenibilità economica e sostenibilità ambientale             | 36      | 6.1 Introduzione  | 123      |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 2</i>                     | 39      | 6.2 Fisica Tecnica ( <i>Building Physics</i> )                                  | 124      |
| 3   ORGANIZZARE IL PROCESSO EDILIZIO _____                         | pag. 40 | 6.3 Prestazione Energetica dell'Edificio ( <i>Building Energy Performance</i> ) | 134      |
| 3.1 Come funziona una Passive House                                | 42      | 6.4 Comfort <i>indoor</i>   | 140      |
| 3.2 Il team: il gruppo di progettazione e le competenze necessarie | 48      | <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 6</i>                                  | 149      |
| 3.3 PHPP e gli altri <i>software</i> utilizzati per il progetto    | 51      |   |          |
| 3.4 Come ho scelto l'impresa costruttrice                          | 59      |   |          |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 3</i>                     | 61      |   |          |

7 | PROGETTARE I PONTI TERMICI \_\_\_\_\_ pag. 150

|  |     |
|--|-----|
| 7.1 Ponte termico verso il terreno (muro esterno)      | 155 |
| 7.2 Ponte termico verso il terreno (muro interno)      | 158 |
| 7.3 Ponte termico del ballatoio                        | 160 |
| 7.4 Ponte termico in copertura                         | 162 |
| 7.5 Ponte termico d'angolo                             | 164 |
| 7.6 Ponte termico attacco finestra e portafinestra     | 166 |
| 7.7 Ponte termico del perno di ancoraggio "linea vita" | 171 |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 7</i>         | 172 |

8 | PROGETTARE LA TENUTA ALL'ARIA \_\_\_\_\_ pag. 174

|   |     |
|---|-----|
| 8.1 Tenuta all'aria della struttura dell'edificio                           | 179 |
| 8.2 Tenuta all'aria degli infissi   | 181 |
| 8.3 Tenuta all'aria degli impianti  | 182 |
| 8.4 La prova del <i>blower door test</i> nella <i>Fiorita Passive House</i> | 185 |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 8</i>                              | 189 |

9 | PROGETTARE LE "INTERFERENZE" CON GLI IMPIANTI TECNICI \_\_\_\_\_ pag. 190

|   |     |
|---|-----|
| 9.1 Ventilazione meccanica controllata nella <i>Fiorita Passive House</i> | 192 |
| 9.2 Accorgimenti per il progetto e la posa degli impianti tecnici         | 194 |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 9</i>                            | 201 |

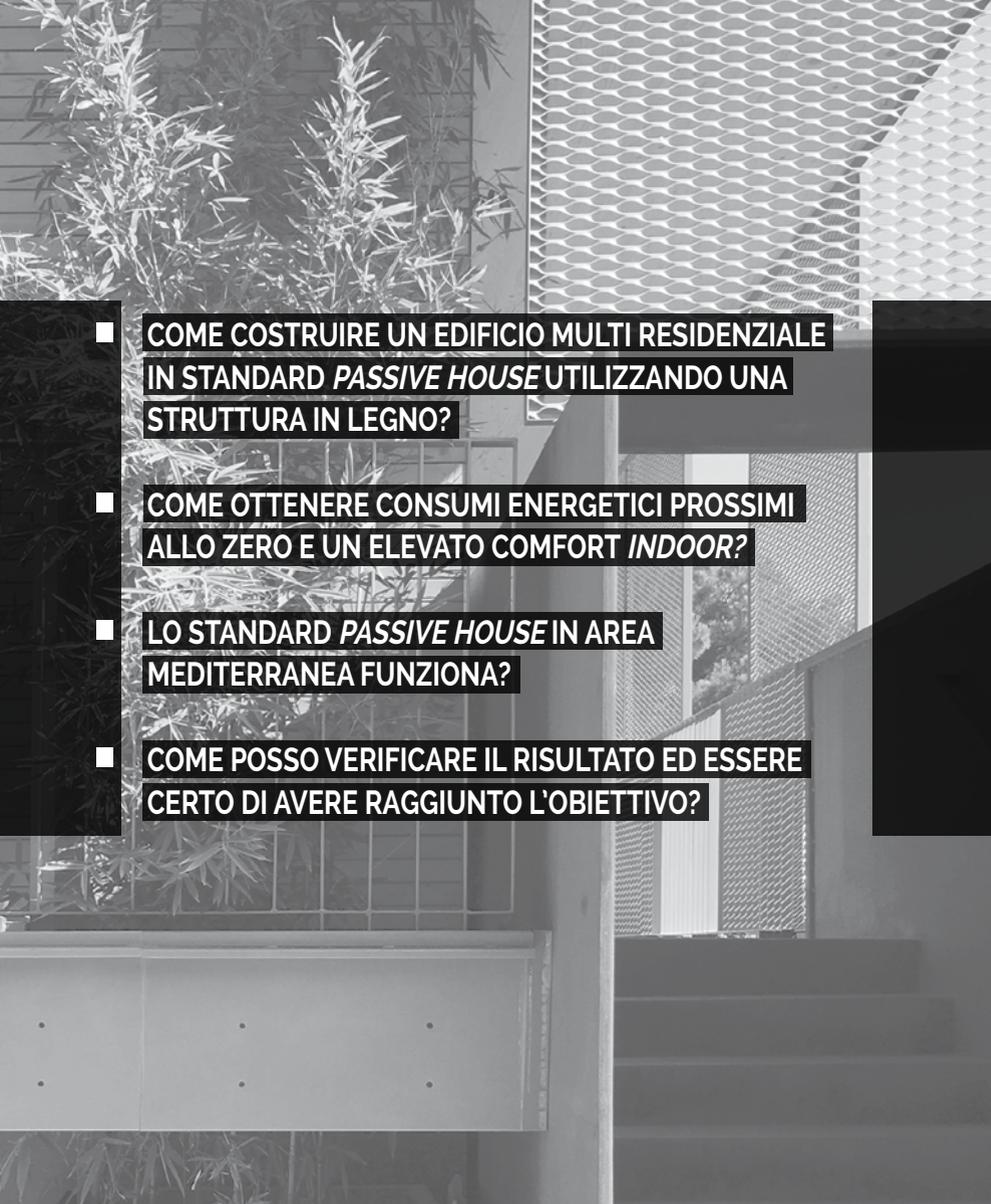
10 | CAMPAGNA DI MONITORAGGIO (*Kristian Fabbri*) \_\_\_\_\_ pag. 202

|   |     |
|---|-----|
| 10.1 Misurare per conoscere                     | 203 |
| 10.2 Risultati della Campagna di Monitoraggio   | 209 |
| 10.3 Conclusione                                | 223 |
| <i>Riferimenti bibliografici al capitolo 10</i> | 223 |

11 | ELABORATI DI PROGETTO \_\_\_\_\_ pag. 224

Postfazione (*Rossella Roversi*) \_\_\_\_\_ pag. 247

*Passive Houses a confronto: distribuzione geografica, tipologie edilizie, tecnologie costruttive, ambiti di innovazione*

- 
- **COME COSTRUIRE UN EDIFICIO MULTI RESIDENZIALE IN STANDARD *PASSIVE HOUSE* UTILIZZANDO UNA STRUTTURA IN LEGNO?**
  - **COME OTTENERE CONSUMI ENERGETICI PROSSIMI ALLO ZERO E UN ELEVATO COMFORT *INDOOR*?**
  - **LO STANDARD *PASSIVE HOUSE* IN AREA MEDITERRANEA FUNZIONA?**
  - **COME POSSO VERIFICARE IL RISULTATO ED ESSERE CERTO DI AVERE RAGGIUNTO L'OBIETTIVO?**

*Il libro cerca di dare risposta a queste domande attraverso il racconto, in prima persona, di una ricerca: la costruzione della Fiorita Passive House, la prima multi-residenza in legno certificata Passive House in area mediterranea. Il progettista diventa narratore e, attraverso uno stile semplice e intuitivo, riporta i problemi – e le soluzioni – che si possono incontrare nel processo edilizio per la costruzione di edifici Nearly Zero Energy Building (NZEB) in area mediterranea.*

*Nella letteratura consultata per la progettazione non vi sono libri che spieghino, passo a passo, come progettare una Passive House dalla forma dell'edificio al dettaglio costruttivo, come soluzioni efficienti dal punto di vista energetico lo siano altrettanto sotto altri aspetti quali la durabilità o la sostenibilità economica, quali problemi possono presentarsi durante l'esecuzione, quali attenzioni al clima mediterraneo, come comporre il gruppo di progettazione, individuare le maestranze, controllare i costi, ecc. I problemi sono molti e di diversa natura, soprattutto quando si opera in area mediterranea, dove la costruzione di case passive è ancora una singolare eccezione, che diventa sperimentazione quando si tratta di edifici multi residenziali.*

*Data la scarsità di fonti (bibliografiche e di "casi studio") dovuta a una limitata sperimentazione sul campo, e un obiettivo importante da raggiungere, la costruzione della Fiorita Passive House si configura come un progetto di ricerca. L'idea dell'autore è quella di scriverne un libro che racconti l'intero processo edilizio della costruzione dell'edificio, dove ogni*

*soluzione tecnologica proposta è stata di fatto realizzata e ogni prestazione energetica monitorata e misurata, allo scopo di verificare il risultato. La Fiorita Passive House non è solo un edificio ad alte prestazioni energetiche e di comfort, ma cerca di adottare ogni strategia necessaria alla progettazione sostenibile: utilizzando legno proveniente da foreste certificate, isolanti in fibra minerale o biologica, recuperando l'acqua piovana e quella di condensa, azzerando le emissioni in atmosfera.*

*Il libro tratta di un racconto di viaggio: una "spedizione scientifica" del gruppo di progettazione che ha portato alla realizzazione di una Passive House multiresidenziale, attraverso la scoperta – per tutti gli attori coinvolti, progettisti, imprese, maestranze – di nuovi territori, cercando di codificare un modo di affrontare il progetto di architettura diverso da quello tradizionale. La spedizione è "scientifica" perché in questo libro la sostenibilità non viene raccontata secondo un approccio "bioclimatico" basato esclusivamente su frecce colorate e astri solari imbronciati o sorridenti, ma utilizzando la Fisica Tecnica: dove i fenomeni fisici sono misurati attraverso la modellazione con un algoritmo di calcolo in grado di restituire la prestazione energetica reale, successivamente verificata attraverso il monitoraggio dell'edificio costruito. Si vuole far trasparire al lettore quanto questo viaggio sia appassionante e quanto belli possano essere i nuovi territori da esplorare, come l'obiettivo sia raggiungibile e quali le strategie mettere in campo.*

## ALCUNI CHIARIMENTI

- 1** *L'edificio è stato progettato utilizzando lo standard internazionale **Passivhaus**, Passivhaus Institut, Darmstadt, Germania. Il termine tedesco Passivhaus viene tradotto in italiano come "Casa Passiva", tuttavia, in questo libro si è voluto utilizzare la terminologia inglese "Passive House" maggiormente diffusa nel contesto internazionale.*
- 2** *Lo standard Passive House riguarda esclusivamente efficienza energetica e comfort. Il progetto **Fiorita Passive House** introduce, rispetto lo standard, ulteriori verifiche che riguardano il regime estivo, come l'ombreggiamento e il calcolo dello sfasamento termico. Inoltre, per mirare alla sostenibilità ambientale in senso più ampio, utilizza tecnologie a secco, struttura in legno, isolanti di origine minerale o biologica, recupero dell'acqua piovana e della condensa.*
- 3** *La **Fiorita Passive House** è stata progettata e costruita utilizzando il Software PHPP versione 7 del 2014 (data di avvio della progettazione), il quale indicava: fabbisogno termico per riscaldamento 12 kWh/m<sup>2</sup>a (heating demand), carico termico (heating load) 7 W/m<sup>2</sup>, carico frigorifero (cooling load) 6 W/m<sup>2</sup>. Date queste prestazioni nell'edificio abbiamo utilizzato, ai fini della climatizzazione, il solo impianto di Ventilazione Meccanica Controllata con scambiatore di calore e batteria di post trattamento. Per la Certificazione Passive House, avvenuta il 13/01/2017, è stato utilizzato il Software PHPP versione 9.6a del 2016, che aggiorna il metodo di calcolo, soprattutto in regime estivo, e riporta un fabbisogno termico per riscaldamento di 11,5 kWh/m<sup>2</sup>a, carico termico pari a 8 W/m<sup>2</sup>, carico frigorifero pari a 10 W/m<sup>2</sup>.*
- 4** *Al termine della costruzione, durante gli 8 mesi trascorsi dalla fine della costruzione e arrivo degli occupanti, il monitoraggio in sito (descritto nel Capitolo 10) mostra che il fabbricato consente di garantire le temperature di 25°C d'estate e 21°C d'inverno, con consumi minimi, e umidità relativa attorno al 50%, con assenza di fenomeni di "aria secca".*
- 5** *Da una ricerca effettuata al momento della scrittura di questo libro (2017) presso il Passive House Database ([www.passivhausprojekte.de](http://www.passivhausprojekte.de)), un archivio che raccoglie le Passive House presenti in tutto il mondo, la **Fiorita Passive House** risulta la prima multiresidenza in legno certificata Passive House in area mediterranea.*

# 3.

Stefano Piraccini

## Organizzare il processo edilizio

Abbiamo visto, nel Capitolo 2, che la costruzione di una *Passive House*, con struttura portante in CLT (*cross laminated timber*), è economicamente sostenibile e può soddisfare le richieste del mio committente: il passo successivo, la sfida più importante, è iniziare a progettare.

L'impresa è tutt'altro che facile, per affrontarla è necessario conoscere – nel dettaglio – come funziona una *Passive House* e mettere sul tavolo tutti gli strumenti necessari per iniziare il progetto con il piede giusto.

Sull'onda dell'entusiasmo al nuovo edificio è stato assegnato un nome, prendendo riferimento da "Fiorita" il nome del quartiere dove è collocato, pertanto abbiamo deciso di chiamarlo *Fiorita Passive House*.

Come nei romanzi marineschi mi sentivo come un giovane capitano di vascello, al quale l'armatore (la famiglia Zoffoli), aveva affidato una delicata missione: guidare una importante spedizione verso acque poco note.

Il mio ruolo imponeva di arruolare l'equipaggio, procurarsi sestante, astrolabio e tutti gli altri strumenti di navigazione, studiare attentamente le carte nautiche e, anche, prepararsi all'incontro di qualche mostro marino (la burocrazia, i calcoli energetici, i dettagli tecnici).

La rotta prevedeva:

- lo studio dello "Standard *Passive House*", il protocollo di progettazione, individuando tutti i requisiti necessari per ottenere la certificazione internazionale;
- la scelta dei collaboratori necessari (l'equipaggio) con le relative competenze per affrontare i vari aspetti della progettazione;

- la valutazione degli strumenti e dei *software* di *Building Energy Performance Simulation* da adottare per seguire quanto previsto dal protocollo e nella progettazione e verifica dei dettagli tecnici;
- la scelta della giusta impresa costruttrice (i "maestri d'ascia").

Raggiungere i requisiti dello standard *Passive House* è un obiettivo ambizioso per il quale è necessario investire molto tempo ed energie nella fase di progettazione, con lo scopo di verificare la compatibilità di ogni scelta progettuale con le caratteristiche termofisiche ed energetiche previste dal protocollo.

Il progetto deve essere disegnato dettagliatamente: sia per quanto riguarda le scelte costruttive (struttura portante, tamponamenti, divisori, etc.), sia per quanto riguarda quelle impiantistiche (*Technical Systems: HVAC, Heating Ventilation & Air-Conditioning; DHW, Domestic Hot Water, Wiring, Lighting, Lift, etc. including pipelines, ducts, etc.*), individuando gli effetti di ciascuna scelta rispetto alle prestazioni energetiche dell'edificio, alla verifica delle trasmittanze e dei ponti termici, e alla tenuta all'aria dell'edificio.

Per gestire al meglio questa complessità è necessario acquisire fin da principio tutta la consapevolezza necessaria per poter vincere la sfida.

Come scrive Herman Melville, in *Moby Dick*:

«Già siamo lanciati coraggiosamente sui mari. Presto ci perderemo nei loro spazi immensi, senza coste o riparo. Prima che succeda questo, prima che lo scafo barbuto del Pequod rotoli fianco a fianco coi corpacci ricoperti di crostacei delle

balene, sarà bene parlare anzitutto di qualcosa che è quasi indispensabile per capire e apprezzare pienamente ciò che in particolare si dirà dei leviatani, [...]» [MELVILLE 1851, Cap. XXXII, p.81].

### 3.1 Come funziona una *Passive House*

Lo standard *Passive House* è un protocollo di progettazione riconosciuto a livello internazionale per la realizzazione di edifici dal consumo energetico prossimo allo zero con elevati livelli di comfort *indoor*. Può essere applicato indipendentemente dalla tipologia edilizia, funzionale o dal sistema costruttivo. Nasce nel 1988 da un progetto di ricerca del Dr. Wolfgang Feist e del Prof. Bo Adamson, (<http://passivehouse.com>). Nel 1991 il Dr. Wolfgang Feist costruisce nel quartiere di Kranichstein a Darmstadt, Germania, la prima *Passive House* dimostrando che era possibile costruire edifici dal consumo energetico prossimo allo zero. L'edificio è costantemente monitorato e ha un fabbisogno energetico per il riscaldamento di 9 kWh/m<sup>2</sup>a che si è mantenuto costante fino ad oggi, a 25 anni di distanza dalla sua costruzione.

Negli atti della *20th International Passive House Conference* di Darmstadt, pubblicati dal *Passive House Institut* il 27 aprile 2016, il Dr. Wolfgang Feist, dice:

*«The inhabitants of the first Passive House building in the Darmstadt city dis-*

*trict of Kranichstein first moved in 1991. 25 years of user experiences are available, as well as measurement reports and specific values relating to the durability of the separate systems. Statistical evaluation has shown a stable heating consumption of less than 9 kWh/(m<sup>2</sup>y) on average – this is less than a tenth of the consumption in conventional residential buildings in Germany. A further airtightness test, thermographic imaging for detecting thermal bridges and sampling the insulation were part of the follow-up investigations. The outcome was clear: “Even today, everything functions exactly as it did the first day. The passive systems are simply less susceptible to faults”» [WOLFGANG FEIST, Direttore del *Passive House Institute*, “20th International Passive House Conference 2016”, in *Passive House Conference demonstrates sustainable solutions for new constructions and retrofits*, 27 aprile 2016, p. 1].*

Per realizzare una *Passive House* è necessario progettare l'edificio utilizzando il *software PHPP (Passive House Planning Package)*. Una volta acquisite le conoscenze necessarie il progettista può realizzare una *Passive House* in maniera indipendente, senza ricorrere a consulenze o rapporti con il *Passive House Institute*. Tuttavia, nel caso si desideri richiedere la certificazione, e ottenere così la targhetta di *Passive House* certificata, è necessario rivolgersi al *Passive House Institute* (<http://passivehouse.com>) che ha sede a Darmstadt in Germania, diretto dallo stesso Dr. Wolfgang Feist, oppure da uno degli affiliati IPHA (*International Passive House Association*, [www.passivehouse-international.org](http://www.passivehouse-international.org)). Ad oggi in Italia si registra un solo istituto affiliato IPHA, lo ZEPHIR (*Zero Energy and Passivhaus Institute for Research*, [www.zephir.ph](http://www.zephir.ph)), diretto dal Dr. Phys. Francesco Nesi, al quale

ci siamo rivolti per richiedere la certificazione. La certificazione è del tutto volontaria: noi l'abbiamo richiesta per dimostrare la qualità del nostro lavoro alla famiglia Zoffoli e ai futuri inquilini dell'edificio.

Lo standard *Passive House* prevede requisiti prestazionali che riguardano gli aspetti tecnici e termofisici dell'edificio, al fine di raggiungere una prestazione energetica complessiva che garantisce consumi energetici prossimi allo zero ed elevati livelli di comfort *indoor*. In particolare:

- **Fabbisogno termico annuo per riscaldamento e raffrescamento**  $\leq 15$  kWh/m<sup>2</sup>a;
- **Carico termico**  $\leq 10$ W/m<sup>2</sup>;
- **Energia primaria**  $\leq 120$  kWh/m<sup>2</sup>a (riscaldamento, raffrescamento, ACS, corrente elettrica, deumidificazione, corrente elettrica ausiliaria);
- **Tenuta all'aria**  $n_{50} \leq 0,6$ /h.

Nel 2015 sono stati introdotte le categorie *Passive House Classic*, *Plus* o *Premium* che possono essere raggiunte in relazione al fabbisogno di Energia Primaria Rinnovabile (EPR) e alla quantità di energia rinnovabile generata. Le soluzioni progettuali e tecnico-costruttive che consentono di raggiungere i valori di cui sopra sono:

1. involucro – murature esterne, solaio a terra e copertura – molto isolato utilizzando ampi strati di coibente fino a raggiungere parametri di tra-

smittanza termica (grandezza che esprime la capacità isolante termica)  $U \leq 0,15$ W/m<sup>2</sup>K;

2. riduzione dei ponti termici, cercando di isolare senza interruzioni l'involucro dell'edificio compresi fondazioni, aggetti, terrazzi, cornicioni, ecc.;
3. finestre con trasmittanza  $U_w \leq 0,8$  m<sup>2</sup>K e fattore solare del vetro (*g*) (indica il rapporto tra l'energia termica globale trasmessa dalla lastra di vetro e quella incidente su di essa) con valori inferiori a 0.50– 0.55;
4. sfruttamento delle risorse energetiche passive come la corretta esposizione al sole, per sfruttare al massimo il calore prodotto dalla radiazione solare che durante i mesi invernali attraversa le finestre, evitando il surriscaldamento durante quelli estivi e i guadagni termici prodotti dal calore corporeo degli abitanti (circa 100 Wh per abitante), lo stesso per il calore emesso dagli elettrodomestici (ad esempio: circa 1.2–2.5 kWh/a per una lavastoviglie);
5. tenuta all'aria dell'edificio per evitare le perdite di energia dovute alle infiltrazioni di aria. Il risultato viene testato tramite *blower door test*. Un involucro edilizio a tenuta all'aria impedisce che l'aria umida interna possa uscire passando attraverso le fessure dove potrebbe creare condense interstiziali e favorire la formazione di muffe con conseguenti danni alle strutture;
6. utilizzo della ventilazione meccanica controllata con scambiatore di calore e batteria di post-trattamento, che consente l'espulsione dell'aria esausta dai locali trasferendone il calore all'aria immessa prelevata dall'esterno.

I dati progettuali relativi ai punti precedenti, sia dimensionali che fisico-tec-

nici, vengono calcolati utilizzando il progetto esecutivo dell'edificio, per poi essere inseriti nel PHPP (*Passive House Planning Package*), un foglio di calcolo in formato Excel che crea una simulazione fisico-tecnica del progetto, attraverso input dimensionali, impiantistici e termofisici.

Il calcolo del fabbisogno energetico secondo il PHPP è svolto in relazione ai dati climatici locali. I dati climatici devono essere riconosciuti validi dal *Passive House Institut* (<http://www.passiv.de>), il quale si serve di società di elaborazione di dati climatici come *Meteonorm* (<http://www.meteonorm.com>). Possono essere richiesti direttamente al *Passive House Institut* o a istituti affiliati. I dati climatici sono geolocalizzati rispetto al sito in cui si trova la costruzione, sono ricavati dai rilievi dalle stazioni meteorologiche locali per un periodo di 10 anni e riguardano: temperatura dell'aria, temperatura del cielo stellato, umidità e radiazione solare. Lo standard *Passive House* può essere utilizzato in qualsiasi contesto climatico. I requisiti di ogni componente dell'edificio variano in base alle condizioni climatiche locali. In climi molto caldi si presterà attenzione alle strategie per il raffrescamento passivo come l'ombreggiamento e un involucro con elevati valori di sfasamento termico.

Nei climi rigidi è fondamentale massimizzare gli apporti solari e un involucro con trasmittanza elevata. Nelle fasce intermedie, dove si registrano inverni freddi ed estati calde, la questione si complica, perché è necessario considerare con la medesima attenzione entrambe le condizioni.

Una volta inseriti nel PHPP i dati climatici, i parametri dimensionali e fisico-

tecnici del sistema edificio-impianto, è possibile verificare se il bilancio energetico dell'edificio rispetta, e in quale misura, i parametri dello standard, o se diventa necessario effettuare modifiche al progetto per rientrare nei parametri richiesti. In questo contesto il PHPP è un vero e proprio strumento di progettazione.

Sul mercato delle costruzioni sono presenti prodotti edili certificati come "componenti idonei per edifici passivi". I prodotti certificati possono essere di norma finestre, porte, impianti di ventilazioni e sistemi costruttivi. Utilizzare un prodotto certificato semplifica la progettazione perché vengono forniti direttamente i dati termofisici dal produttore, in caso contrario è necessario simulare tali parametri mediante modellazione *software*.

Se da una parte utilizzare un prodotto certificato può semplificare il lavoro del progettista/consulente, dall'altra il costo di questi componenti è, in genere, superiore alla media dei prodotti presenti sul mercato italiano (verificato personalmente); poiché il mercato del componente certificato è ancora giovane e la concorrenza è poca, il costo del prodotto certificato aumenta, pertanto è necessario valutare la convenienza di questa scelta di volta in volta. Ad esempio nel progetto del nuovo edificio di via Ariosto, per contenere i costi abbiamo utilizzato un infisso non certificato, pertanto è stato necessario calcolare tramite *software* parametri come l' $U_f$  (*windows frame transmittance*) e lo  $\Psi$  di posa ( $\Psi$  è il coefficiente di trasmissione lineica, cioè il valore del ponte termico che si verifica tra l'infisso e l'involucro edilizio). D'altra parte abbiamo dovuto installare un impianto di ventilazione certi-

ficato perché in caso contrario avremmo dovuto ridurre la sua efficienza. Per realizzare una *Passive House* è necessario integrare ai vari aspetti della progettazione, anche soluzioni tecnico-costruttive e valutazioni termofisiche necessarie per raggiungere i requisiti prestazionali richiesti: per farlo è necessario ottenere le competenze adeguate. Di norma questi aspetti vengono curati da un consulente che ha frequentato il corso da “progettista certificato *Passive House*”: un apposito corso della durata di 88 ore organizzato da strutture affiliate IPHA. Si acquisisce il titolo di “Progettista certificato *Passive House*” in due modi: superando l’esame finale o portando a certificazione un edificio. L’iscrizione al corso non è obbligatoria: se si conosce la materia è possibile seguire il protocollo di progettazione autonomamente e richiedere la certificazione dell’edificio che si è progettato. Il ruolo del progettista certificato *Passive House* è quello di estrapolare dal progetto architettonico i dati per poi inserirli nel PHPP, calcolare i ponti termici, verificare i guadagni prodotti dell’energia solare e verificare la rispondenza del progetto durante l’esecuzione dei lavori.

In base alla mia esperienza è necessario che il consulente lavori a stretto contatto con il progettista architettonico in modo da verificare, passo dopo passo, ogni dettaglio del progetto in relazione a tutti i requisiti di qualità: estetica, economica, funzionale. È necessario discutere più volte le scelte tecnologiche adottate fino alla definizione di quella capace di soddisfare tutti i requisiti. Al termine dei lavori, nel caso si voglia richiedere la certificazione *Passive House*, sarà lo stesso consulente a trasmettere tutto il materiale all’istituto di



FIG.1 | TARGA CHE IDENTIFICA LA CERTIFICAZIONE *PASSIVE HOUSE* DELL'EDIFICIO FIORITA *PASSIVE HOUSE*

riferimento necessario per ottenere la certificazione (PHPP, progetti esecutivi, relazioni, report del *blower door test*, dettagli e calcoli dei ponti termici, foto di cantiere con scala metrica di riferimento). In questo caso il lavoro del consulente sarà verificato da parte di un certificatore *Passive House* che in caso positivo rilascerà l’attestato di certificazione *Passive House* riconosciuto a livello internazionale e una targa da apporre sull’edificio.

### 3.3 PHPP e gli altri *software* utilizzati per il progetto

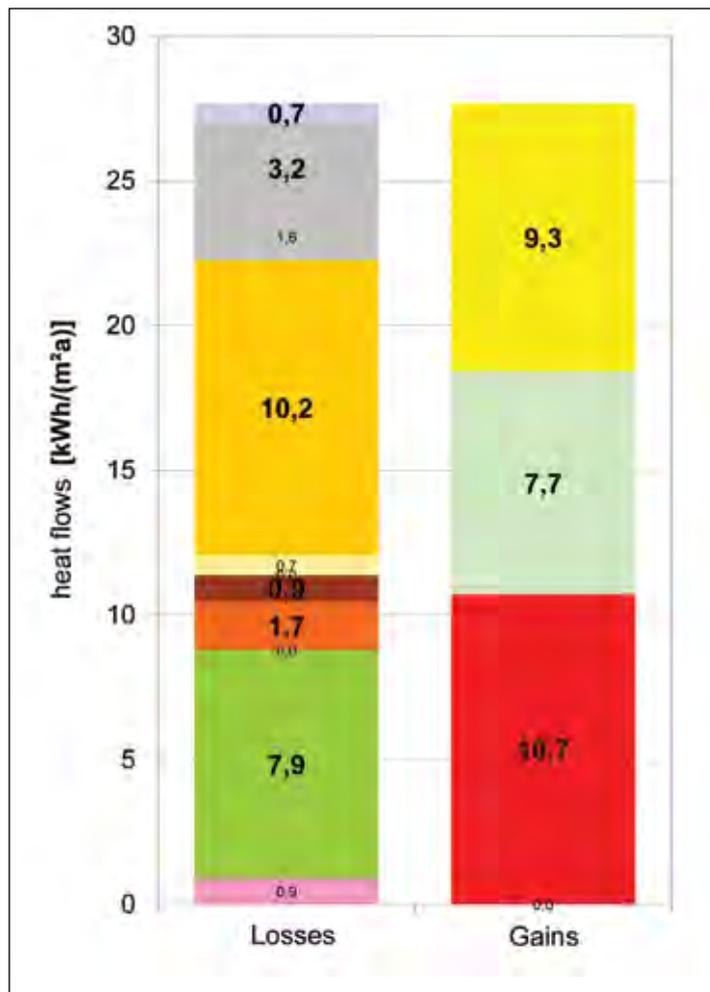
Per progettare una *Passive House* occorre dotarsi di due strumenti: il PHPP e un *software* per il calcolo dei ponti termici (*thermal bridges*). In aggiunta ai primi due è consigliabile utilizzare un *software* per la simulazione degli ombreggiamenti su modello tridimensionale. In commercio sono disponibili diversi *software* adatti allo scopo, alcuni dei quali dialogano direttamente con il PHPP. Noi abbiamo utilizzato *Autodesk Ecotec®* per la simulazione dell'ombreggiamento e *Dartwin Mold Simulator®* per il calcolo dei ponti termici dei nodi strutturali e degli infissi.

Il *software* per la simulazione degli ombreggiamenti è un ottimo strumento per la progettazione preliminare dell'edificio. È possibile impostare i valori climatici del sito di riferimento ottenendo una simulazione reale dell'irraggiamento solare durante tutto l'anno. Attraverso un modello tridimensionale dell'intorno è possibile controllare l'effetto degli ombreggiamenti dovuti alla presenza di alberi o edifici: così da individuare la posizione ottimale per collocare e orientare l'edificio. Inoltre, è utile per progettare aggetti, sistemi di oscuramento e collocare le finestre nelle posizioni di massimo guadagno degli apporti solari.

I *software* per il calcolo dei ponti termici sono utilizzati nella progettazione esecutiva e consistono nella modellazione del nodo strutturale che si desidera analizzare. È necessario inserire il dettaglio costruttivo assegnando a ogni strato funzionale il valore  $\lambda$  di riferimento ( $\lambda$  conduttività

termica in W/mK) e le temperature esterne che agiscono sul nodo. Tramite questa modellazione il *software* genera il valore del ponte termico  $\Psi$  ( $\Psi$  è il coefficiente di trasmissione lineica, espresso in W/mK valore che caratterizza il ponte termico) che di norma è opportuno mantenere prossimo allo zero. Se nelle prime simulazione i valori non fossero soddisfacenti, è possibile utilizzare il *software* per adeguare tipologia e spessore delle componenti isolanti del nodo in modo da ottimizzare i risultati. I valori di ogni ponte termico sono dati richiesti dal PHPP: una delle variabili che si somma alla voce "*thermal exchange*" del bilancio energetico dell'edificio. Se il bilancio energetico non rispetta i requisiti di certificazione, una delle strategie possibili è riprogettare i ponti termici per ottenere valori inferiori. Il PHPP, il principale strumento di progettazione per le *Passive Houses*, è un foglio di calcolo, costituito da più fogli, eseguibile con Microsoft Excel e *software* compatibili che consente di effettuare una modellazione fisico-tecnica in regime semidinamico dell'intero edificio, così da individuare il raggiungimento dei requisiti per lo standard *Passive House*.

Il PHPP è stato introdotto nel mercato a partire dal 1998 e da allora viene costantemente aggiornato. A partire dai fogli principali relativi al calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento con metodo annuale e mensile, per la distribuzione e la fornitura di calore e la domanda di energia elettrica e primaria, il PHPP è stato progressivamente ampliato con fogli che controllano diversi aspetti quali: caratteristiche delle finestre, ombreggiamento, carico termico per il riscaldamento, analisi del regime



estivo, deumidificazione, ulteriori specifiche al calcolo della ventilazione per tipologia di edificio, produzione di fonti rinnovabili, ecc. I fogli vengono compilati inserendo una moltitudine di dati relativi al contesto climatico del sito e al sistema edificio/impianto. Possono essere compilati in modo flessibile seguendo i vari *step* della progettazione ritornando sui propri passi ogni volta che se ne presenta l'esigenza. Un sistema di grafici e di segnali di allerta individua i punti deboli del progetto, valutando di volta in volta dove è più efficace intervenire.

FIG.4 | GRAFICO DEL BILANCIO ENERGETICO PER IL RISCALDAMENTO ANNUO (PHPP 7.1) DELLA FIORITA PASSIVE HOUSE

Colonna dei guadagni:

- fabbisogno annuo per il riscaldamento (colore rosso);
- apporti interni (colore verde chiaro);
- guadagni solari passivi (colore giallo intenso).

Colonna delle dispersioni:

- ponti termici negativi (colore viola);
- muri verso l'aria esterna (colore verde scuro);
- copertura (colore arancio);
- solaio (colore marrone);
- muri verso spazi non riscaldati (colore giallo chiaro);
- finestre (colore senape);
- porte (colore grigio, valore minore);
- ventilazione (colore grigio valore maggiore);
- apporti gratuiti non utilizzati (colore azzurro).

| Specific building demands with reference of the treated floor area |   | Treated floor area         | Requirements               | Fulfilled? |
|--|---|----------------------------|----------------------------|------------|
| Space heating  |   | 317,4 m <sup>2</sup>       |                            |            |
|  | Heating demand  | 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | yes        |
|  | Heating load  | 7 W/m <sup>2</sup>         | 10 W/m <sup>2</sup>        | yes        |
| Space cooling  | Overall specifi. space cooling demand   | 4 kWh/(m <sup>2</sup> a)   | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | yes        |
|  | Cooling load  | 6 W/m <sup>2</sup>         | -                          | -          |
|  | Frequency of overheating (> 25°C)   | %                          | -                          | -          |
| Primary energy   | Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances | 93 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | 120 kWh/(m <sup>2</sup> a) | yes        |
|  | DHW, space heating ad auxiliary electricity   | 53 kWh/(m <sup>2</sup> a)  | -                          | -          |
|  | Specific primary energy reduction through solar electricity                                     | 108 kWh/(m <sup>2</sup> a) | -                          | -          |
| Airtightness   | Pressurization test result n50  | 0,4 1/h                    | 0,6 1/h                    | yes        |

Passivhaus? yes

FIG.7 | ESTRATTO DEL FOGLIO VERIFICA (PHPP 7.1) CHE ILLUSTRRA IL RAGGIUNGIMENTO DELLO STANDARD *PASSIVE HOUSE* DELLA *FIORITA PASSIVE HOUSE*

| Specific building characteristics with reference to the treated floor area |  | Treated floor area m <sup>2</sup> | Criteria | Alternative criteria | Fulfilled? <sup>2</sup> |
|--|--|-----------------------------------|----------|----------------------|-------------------------|
| Space heating  | Heating demand kWh/(m <sup>2</sup> a)  | 11,5                              | 15       | -                    | yes                     |
|  | Heating load W/m <sup>2</sup>  | 8                                 | -        | 10                   |                         |
| Space cooling  | Cooling & dehum. demand kWh/(m <sup>2</sup> a)                                     | 10                                | 15       | 15                   | yes                     |
|  | Cooling load W/m <sup>2</sup>  | 10                                | -        | 11                   | -                       |
|  | Frequency of overheating (> 25 °C) %   | -                                 | -        | -                    | yes                     |
|  | Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %                               | 0                                 | 10       | -                    | yes                     |
| Airtightness   | Pressurization test result n50 1/h   | 0,4                               | 0,6      | -                    | yes                     |
| Non-renewable Primary Energy (PE)  | PE demand kWh/(m <sup>2</sup> a)   | 149                               | -        | -                    | -                       |
| Primary Energy Renewable (PER)   | PER demand kWh/(m <sup>2</sup> a)  | 74                                | 60       | 74                   | yes                     |
|  | Generation of renewable energy (in relation to pro-jected building footprint area) | 125                               | -        | 42                   |                         |

<sup>2</sup> Empty field; Data missing; - No requirements

FIG.8 | ESTRATTO DEL FOGLIO VERIFICA (PHPP 9.6A), UTILIZZATO PER LA CERTIFICAZIONE DELL'EDIFICIO DALL'ISTITUTO *ZEPHIR*

I valori indicati presentano differenze rispetto a quelli da noi ottenuti in fase di progetto utilizzando il PHPP 7.1 (vedi figura precedente). Tali differenze, sebbene non sostanziali ai fini del raggiungimento dello standard *Passive House*, sono dovute all'utilizzo, da parte dell'istituto di certificazione, della versione PHPP 9.6a messa in commercio dopo la costruzione dell'edificio che modifica, rispetto la precedente versione, alcune metodologie di calcolo, ottimizzando l'analisi in regime estivo.

FIG.30 | FINESTRA INTEGRATA ALLA PORTA D'INGRESSO



FIG.31 | L'ISOLAMENTO TERMICO RICOPRE IL TELAIO DELL'INFISSO PER LIMITARNE LE DISPERSIONI



FIG.32 | FINESTRA INSERITA NEL PANNELLO DI CLT SENZA UTILIZZARE IL FALSO TELAIO *SUBFRAME*



FIG.33 | PORTA FINESTRA INTEGRATA ALLA PORTA D'INGRESSO

FIG.34 | ASSONOMETRIA E SEZIONE DI UN FINESTRA:

- 1) imbotte in alluminio verniciato
- 2) nastro butilico espandente
- 3) cornice in legno
- 4) telaio in PVC
- 5) cartongesso
- 6) aria
- 7) lana di roccia
- 8) CLT
- 9) fibra di legno
- 10) fibra di vetro
- 11) membrana di tenuta la vento
- 12) aria
- 13) tavole di larice

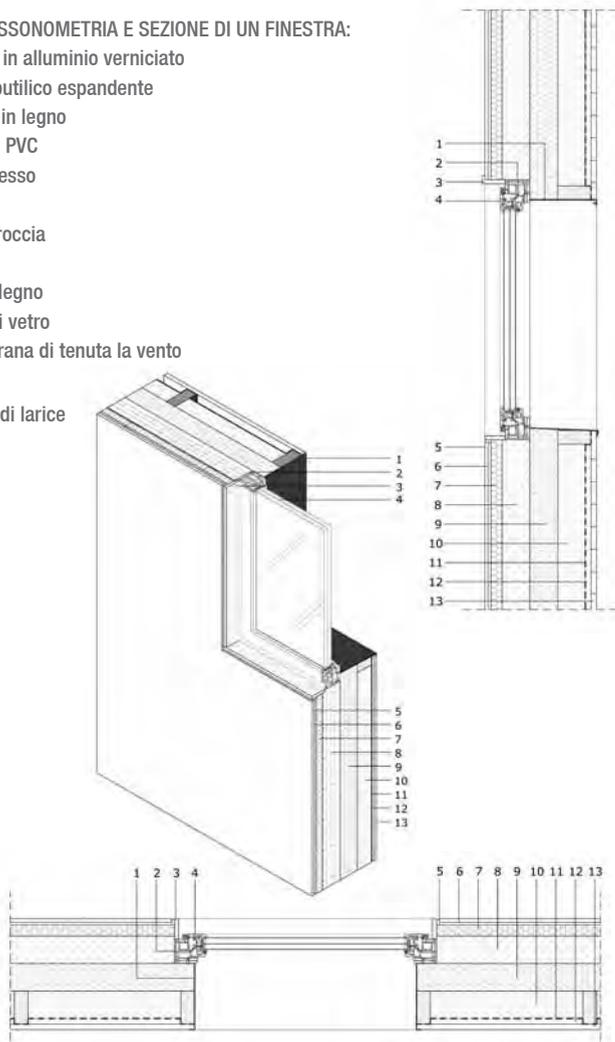
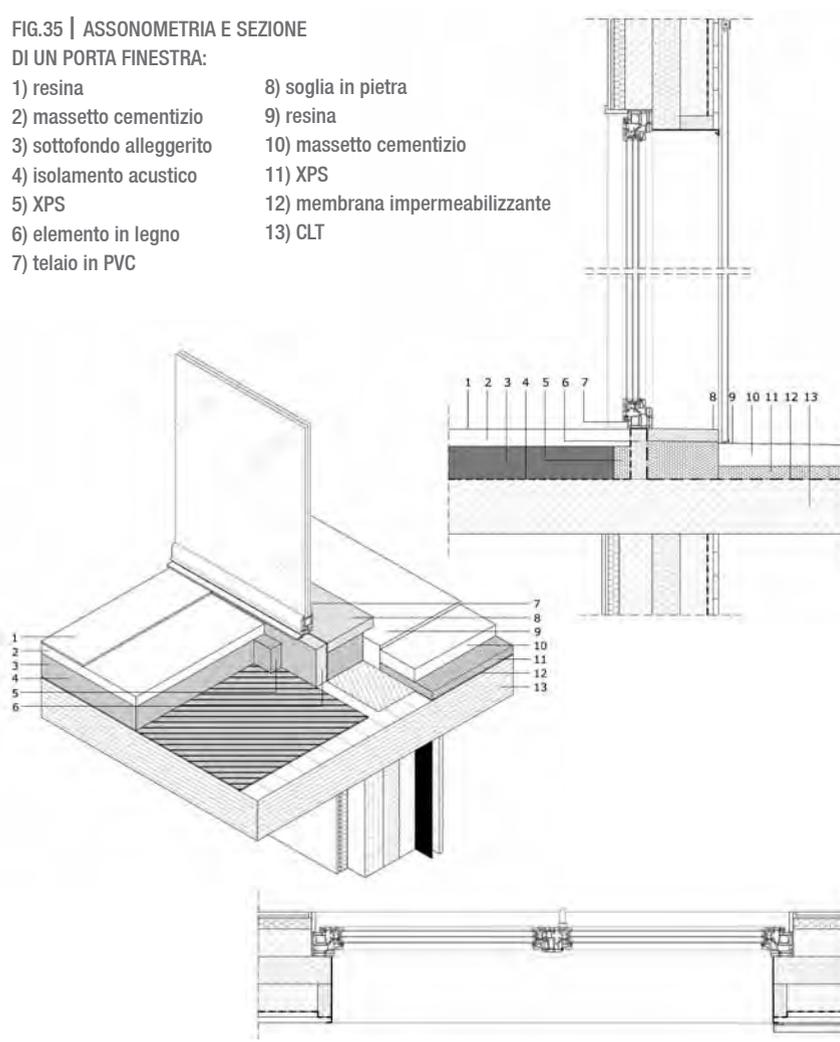


FIG.35 | ASSONOMETRIA E SEZIONE DI UN PORTA FINESTRA:

- |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1) resina                 | 8) soglia in pietra             |
| 2) massetto cementizio    | 9) resina                       |
| 3) sottofondo alleggerito | 10) massetto cementizio         |
| 4) isolamento acustico    | 11) XPS                         |
| 5) XPS                    | 12) membrana impermeabilizzante |
| 6) elemento in legno      | 13) CLT                         |
| 7) telaio in PVC          |                                 |



FIGG.20-21 | SEZIONE E ASSONOMETRIA

DEL NODO:

- 1) manto di copertura in bitume
- 2) massetto cementizio
- 3) PVC
- 4) elemento in legno di abete
- 5) XPS
- 6) guaina bituminosa
- 7) CLT
- 8) cartongesso
- 9) aria
- 10) lana di roccia
- 11) CLT
- 12) fibra di legno
- 13) fibra di vetro
- 14) barriera al vento
- 15) aria
- 16) tavole di larice

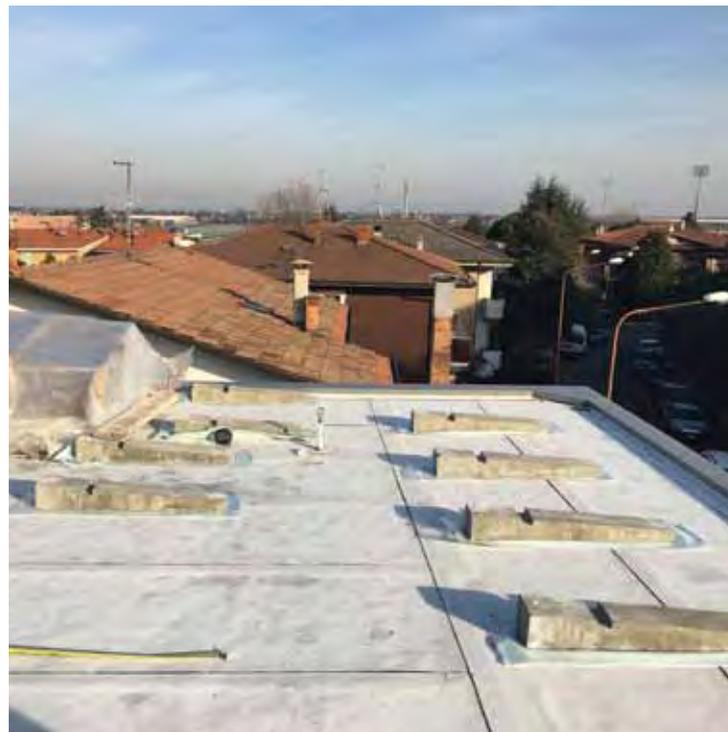
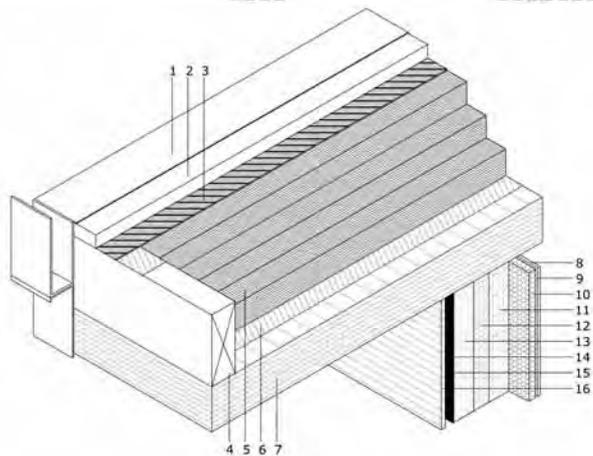
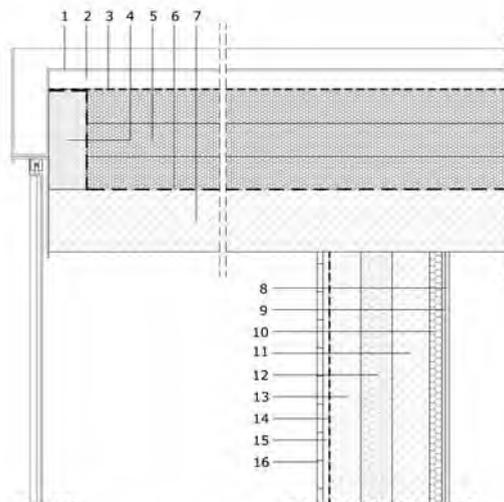


FIG.22 | LAVORAZIONI DELLA COPERTURA TERMINATA

In evidenza le zavorre in cemento per la posa dei pannelli fotovoltaici

FIGG.26-27 | SEZIONE E ASSONOMETRIA  
DEL NODO:

- 1) tavole di legno di larice
- 2) aria
- 3) barriera al vento
- 4) fibra di vetro
- 5) fibra di legno
- 6) CLT
- 7) fibra di roccia
- 8) aria
- 9) cartongesso

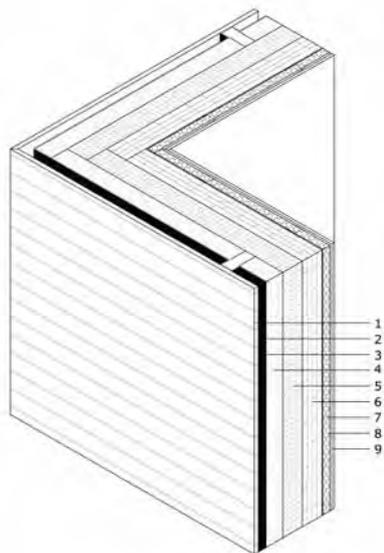
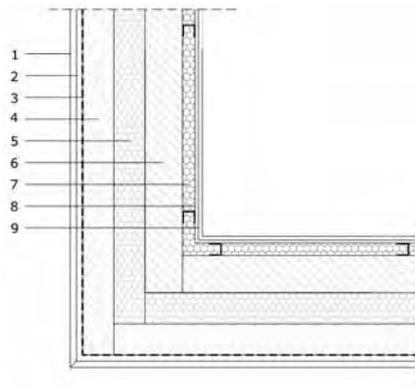


FIG.28 | SOLUZIONE D'ANGOLO CON RIVESTIMENTO IN TAVOLE DI LARICE

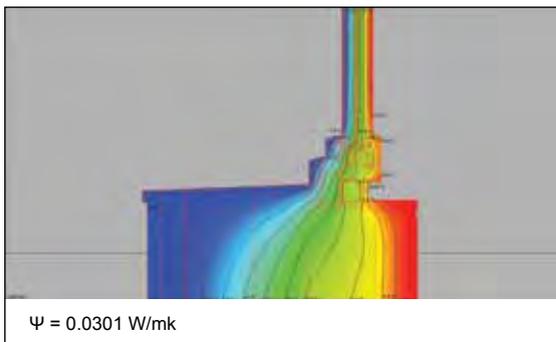


FIG.29 | MODELLAZIONE DEL PONTE TERMICO AGLI ELEMENTI FINITI: GRAFICO DELLE ISOTERME

Il nodo riguarda l'attacco inferiore della finestra inserita nel muro rivestito in legno. Le temperature superficiali interne risultano comprese tra 16.03-17.09°C, non si verifica formazione di condensa

## 7.6 Ponte termico attacco finestra e portafinestra

Il ponte termico della finestra è dovuto alle differenti geometrie e proprietà termofisiche del telaio della finestra rispetto a quello del muro perimetrale. Il calcolo di questo ponte termico è necessario per determinare il parametro  $\Psi_{\text{attacco}}$ . Tale parametro può variare su ogni lato dell'infisso in relazione alla tipologia di muro o di installazione. Nel nostro caso il parametro resta costante sui lati sinistro, destro, superiore, mentre varia sul lato inferiore dove è presenta una banchina in lamiera di alluminio verniciato. Le finestre, come le portefinestre, sono costituite da:

FIGG.30-31 | SEZIONE E ASSONOMETRIA DELL'ANCORAGGIO INFERIORE DELLA FINESTRA:

- 1) lamiera di alluminio
- 2) infisso in PVC
- 3) cornice in legno
- 4) nastro butilico espandente
- 5) cartongesso
- 6) aria
- 7) lana di roccia
- 8) CLT
- 9) fibra di legno
- 10) fibra di vetro
- 11) barriera al vento
- 12) aria
- 13) tavole di legno di larice

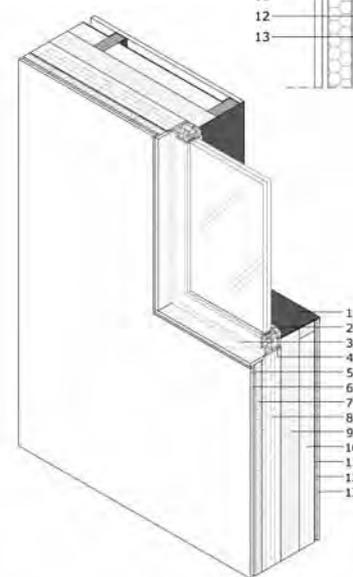
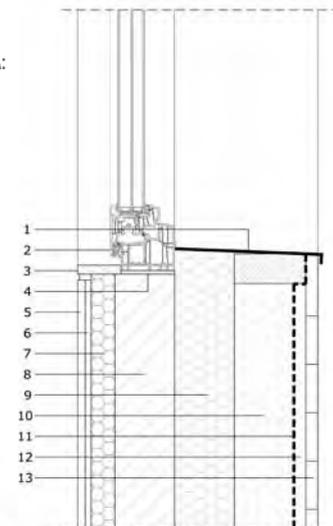




FIG.35 | INSTALLAZIONE DELLA FINESTRA DIRETTAMENTE NEL PANNELLO IN CLT SENZA L'IMPIEGO DEL FALSO TELAIO



FIG.36 | INSTALLAZIONE DELL'IMBOTTE IN LAMIERA DI ALLUMINIO VERNICIATA



FIG.37 | ATTACCO INFERIORE DELLA PORTAFINESTRA SU DI UN ELEMENTO IN LEGNO DI LARICE PROTETTO DA UNA MEMBRANA IMPERMEABILIZZANTE



FIG.38 | ATTACCO INFERIORE DELLA PORTAFINESTRA VISTO DAL LATO INTERNO, DOVE È STATO INSERITO UN PANNELLO DI XPS DI ALTEZZA 12CM PARI ALLO SPESSORE DEL SOTTOFONDO



FIG.39 | ATTACCO INFERIORE DELLA PORTAFINESTRA DOVE È STATO INSTALLATO L'ISOLANTE IN XPS PER LA PROTEZIONE DEL PONTE TERMICO DELLA SOGLIA IN PIETRA

FIG.40 | ATTACCO INFERIORE DELLA PORTAFINESTRA DOPO IL GETTO DEL MASSETTO CEMENTIZIO SUL BALLATOIO

FIG.41 | ATTACCO INFERIORE DELLA PORTAFINESTRA DOPO LA POSA DELLA SOGLIA IN PIETRA

## 8.1 Tenuta all'aria della struttura dell'edificio

In base alla mia esperienza, i punti deboli che riguardano la tenuta all'aria di una struttura in CLT (*cross laminated timber*) sono: i giunti tra i pannelli, i giunti con le fondazioni, le piastre di ancoraggio e ogni elemento che intersechi il CLT.

Nei giunti tra i pannelli, in corrispondenza del loro spessore, abbiamo applicato due strisce di nastro butilico (*Butyl Band* prodotto da Rothoblaas®) composto da collante butilico nero con interposta una rete in filamento di polipropilene che limita la sovraestensione del prodotto. Il nastro, una volta soggetto alla pressione dei due pannelli fissati con ancoraggi meccanici, sigilla i giunti verticali garantendo isolamento termico, acustico, tenuta all'acqua e all'aria. Il requisito è ulteriormente migliorato dall'applicazione di un nastro a tenuta all'aria (*Flecto* prodotto da Klober®) sia sul lato interno, sia su quello esterno del pannello. Il nastro è composto da collante acrilico dotato di rinforzo filamentoso privo di cloro, solventi, formaldeide o emollienti. Si tratta di un prodotto flessibile che può essere utilizzato in ogni situazione dove è necessario sigillare le disconnessioni che possono generare infiltrazioni di aria (struttura, infissi, impianti, ecc.)

Lo stesso nastro è stato applicato per proteggere ogni disconnessione della struttura, siano giunti, piastre metalliche, o altri elementi capaci di generare interferenze.

Prima della posa dei pannelli in CLT orizzontali, che costituiscono la struttura dei solai, viene applicato un giunto fonoisolante (*Track* prodotto da Rothoblaas®) sulla sommità dei pannelli verticali. Si tratta di un prodotto in EPDM (*Ethylene-Propylene Diene Monomer*) che limita la trasmissione delle vibrazioni tra legno e legno date dal calpestio e favorisce, nel contempo, la tenuta all'aria. Lo stesso prodotto viene applicato sia al di sotto dei pannelli verticali che poggiano sui cordoli di fondazione, sia alla base dei pannelli verticali che costituiscono i diversi piani dell'edificio. Per migliorare la tenuta all'aria del giunto in EPDM, ogniqualvolta si interrompe, la ripresa viene saturata con del silicone, così da garantirne la continuità.

Nei giunti dei pannelli orizzontali, quelli che costituiscono il solaio, viene applicato un foro in corrispondenza della loro intersezione con i pannelli verticali, proprio nel momento in cui i pannelli orizzontali aggettano costituendo la struttura dei ballatoi. Nel foro viene applicata un'iniezione di silicone per interrompere il flusso di aria che potrebbe collegare l'esterno con l'interno dell'edificio. A maggior protezione, il giunto viene ulteriormente protetto dall'applicazione del nastro a tenuta. Il nastro a tenuta viene applicato anche per ricoprire le piastre di ancoraggio ove sono presenti fori passanti.



FIG.3 | SIGILLATURA DEI GIUNTI SUL LATO INTERNO CON NASTRO A TENUTA ALL'ARIA

FIG.4 | SIGILLATURA DEI GIUNTI SUL LATO ESTERNO CON NASTRO A TENUTA ALL'ARIA E SIGILLATURA SILICONICA SULLA PIASTRA DI ANCORAGGIO

FIG.5 | APPLICAZIONE DEL GIUNTO FONDO ISOLANTE E SUTURA CON SILICONE PER GARANTIRE LA CONTINUITÀ DELL'ELEMENTO E MIGLIORARE LE PRESTAZIONI DI TENUTA ALL'ARIA



FIG.6 | NASTRATURA IN PRESENZA DI PIASTRA DI ANCORAGGIO CON FORI PASSANTI E TRAVE IN LEGNO AGGETTANTE

FIG.7 | NASTRATURA IN PRESENZA DELL'ARCHITRAVE DELLE FINESTRE

FIG.8 | INIEZIONE DI SILICONE IN PRESENZA DEI GIUNTI DEI PANNELLI ORIZZONTALI DEI SOLAI, EFFETTUATA PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEL NASTRO A TENUTA ALL'ARIA

## 8.2 Tenuta all'aria degli infissi

Prima di scegliere gli infissi da utilizzare in una *Passive House* è bene verificare che abbiano una classe di permeabilità all'aria adeguata. La EN 12207 definisce cinque classi, dalla 0 alla 4: la migliore è la classe 4, che identifica un serramento con un'ottima tenuta all'aria. Nel mercato dei prodotti da costruzione, solitamente, solo due tipologie di serramenti riescono a raggiungere la classe 4: i serramenti ad anta e i serramenti traslanti scorrevoli, mentre risultano in classe inferiore i serramenti del tipo alzante scorrevole. Per il progetto della *Fiorita Passive House* abbiamo utilizzato serramenti ad anta in PVC (*Top90* prodotta da Finstral), tutti appartenenti alla classe 4.

Gli infissi sono composti da tre elementi:

- telaio mobile, il telaio apribile della finestra dove è collocato il vetro;
- telaio fisso, la parte fissa della finestra dove sono collocate le cerniere;
- falso telaio, chiamato anche cassonetto o controtelaio, necessario per collegare il telaio fisso al muro dell'edificio.

Nella *Fiorita Passive House* abbiamo evitato l'impiego del falso telaio, applicando il telaio fisso direttamente sul pannello in CLT. Sui pannelli in CLT sono stati eseguiti, con la precisione millimetrica degli strumenti di taglio a controllo numerico, tutti i fori di porte di ingresso, finestre



FIG.9 | NASTRATURA DEL SISTEMA DI INFISSI CON ACCOPPIATA FINESTRA E PORTA DI INGRESSO



FIG.10 | POSA DELL'INFISSO CON NASTRO BUTILICO ESPANDENTE



FIG.11 | APPLICAZIONE DEL NASTRO A TENUTA

e portefinestre. Con questa soluzione abbiamo ottenuto due vantaggi: un risparmio economico e un elemento in meno da proteggere per la tenuta all'aria.

Per consentire una posa a tenuta è stato applicato un nastro butilico (*Butyl sealing*) espandente sul perimetro di ogni serramento, sia al contatto con il pannello in CLT, sia al contatto con altri serramenti. Quest'ultima soluzione è stata utilizzata nei sistemi composti da portefinestre e porta di ingresso. Il nastro butilico espandente viene pressato durante l'ancoraggio del serramento contribuendo a una efficace tenuta all'aria.

A integrazione del nastro butilico, è stato applicato un nastro a tenuta lungo il bordo esterno ed interno del serramento, così da garantire il raggiungimento del requisito e la sua durata nel tempo. Infatti, i fissaggi meccanici dei serramenti potrebbero col tempo allentarsi limitando l'efficacia del nastro espandente. In questo contesto il nastro a tenuta posto ai lati interno ed esterno del serramento è capace di assorbire le dilatazioni garantendo in continuità il requisito della tenuta all'aria.

Tuttavia, è consigliabile effettuare una revisione dei sistemi di fissaggio meccanico a distanza di un anno dal montaggio dei serramenti, per verificare se eventuali fenomeni di deformazione della struttura in legno non abbiano allentato le connessioni.

### 8.3 Tenuta all'aria degli impianti

Nella *Fiorita Passive House* abbiamo 7 tipologie impiantistiche:

- impianto elettrico;
- impianto fotovoltaico;
- impianto di distribuzione dell'acqua calda sanitaria;
- impianto di recupero delle acque piovane;
- impianto di scarico delle acque reflue di lavabi, lavatrici, lavastoviglie, WC;
- impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) con scambiatore di calore e batteria di post trattamento (*mechanical ventilation heat recovery – MVHR*);
- impianto di recupero della condensa prodotta dalle macchine di ventilazione.

Ogniqualvolta che uno qualsiasi di questi impianti attraversa l'involucro, si possono verificare problemi di tenuta all'aria. Gli strumenti per evitarli sono principalmente: pressacavo (*airtight sealing caps*), nastri a tenuta, colle siliconiche e schiume poliuretaniche.

I pressacavo vengono utilizzati prevalentemente per impedire le infiltrazioni d'aria nell'impianto elettrico, ogniqualvolta attraversa l'involucro. Sul mercato sono presenti numerose tipologie, composte per lo più da cerotti

adesivi che ospitano al centro una guaina in EPDM (*Ethylene-Propylene Diene Monomer*) sulla quale è collocato un piccolo foro attraverso il quale viene inserito a pressione in cavo elettrico. In questo modo la guaina sigilla il cavo al passaggio dell'aria. Tali prodotti, progettati *ad hoc* per edifici a tenuta all'aria hanno costi considerevoli. Per economizzare, nella *Fiorita Passive House* abbiamo utilizzato pressacavo a tenuta stagna per l'acqua. Sono tappi in acciaio inox che presentano un foro rivestito in gomma all'interno del quale viene introdotto il cavo elettrico. Ruotando la testa del tappo il diametro del foro si restringe sigillando il passaggio dell'acqua e, di conseguenza, anche quello dell'aria.

I tubi di distribuzione dell'acqua sanitaria vengono protetti da colle siliconiche iniettate all'interno del foro che viene praticato per permettere al tubo di oltrepassare l'involucro edilizio. A maggior sicurezza, viene applicato nastro a tenuta sul lato esterno e schiuma poliuretanicca su quello interno.

I tubi di uscita della VMC (*MVHR*) hanno un diametro di grandi dimensioni. I bordi dei tubi vengono protetti con nastro a tenuta sia sul lato esterno, sia su quello esterno del pannello in CLT. Nella *Fiorita Passive House*, la nastratura di ogni impianto è stata ripetuta nell'intersezione con il telo di tenuta al vento posto sul retro del rivestimento in legno, per garantire una migliore efficacia del sistema.

Gli scarichi delle acque reflue, solitamente, fuoriescono dall'involucro attraverso il terreno, in questo contesto la tenuta all'aria è da subito effica-



FIG.12 | INIEZIONE DI COLLE SILICONICHE NEL FORO DI ATTRAVERSAMENTO DI UN TUBO DELL'ACQUA (LATO ESTERNO)



FIG.13 | INIEZIONE DI SCHIUME POLIURETANICHE NEI FORI DI ATTRAVERSAMENTO DI TUBI DELL'ACQUA (LATO INTERNO)

ce. Tuttavia, ogniqualvolta che un tubo di scarico attraversi l'involucro la procedura per garantire la tenuta passa sempre dall'impiego di nastri a tenuta e schiume poliuretanicche.

Nella *Fiorita Passive House*, essendo un edificio composto da diversi appartamenti, è stato necessario garantire buoni livelli di tenuta all'aria anche tra appartamenti contigui. In questo contesto non si verificano perdite di energia, ma si evita la possibilità di infiltrazioni di odori e ponti acustici; per risolvere il problema, i punti di passaggio degli impianti tra i diversi appartamenti, sono stati protetti con l'iniezione di schiume poliuretanicche.



FIG.14 | NASTRO A TENUTA APPLICATO SUI CANALI DI USCITA DELLA VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (LATO INTERNO)



FIG.15 | NASTRI A TENUTA E SCHIUME POLIURETANICHE APPLICATE SUI DIVERSE TIPOLOGIE DI IMPIANTI (LATO INTERNO)



FIG.16 SCHIUME POLIURETANICHE APPLICATE NEL FORO DI ATTRAVERSAMENTO DEL PANNELLO IN CLT DEL SOLAIO INTERPIANO PER GARANTIRE UNA BUONA TENUTA ALL'ARIA TRA I DIVERSI APPARTAMENTI Il requisito sarà ulteriormente migliorato dalla successiva posa del sottofondo alleggerito e del massetto cementizio che ricopriranno integralmente gli impianti

FIG.17 | INSTALLAZIONE DEL VENTILATORE PER IL *BLOWER DOOR TEST* (VISTA ESTERNA)



FIG.18 | VALORI RILEVATI DURANTE IL *BLOWER DOOR TEST* IN DEPERSSIONE



FIG.19 | RICERCA DI INFILTRAZIONI DI ARIA CON L'ANEMOMETRO



FIG.20 | INSTALLAZIONE DELLE VENTILATORE PER IL *BLOWER DOOR TEST* (VISTA INTERNA)



#### 8.4 La prova del *blower door test* nella *Fiorita Passive House*

I prodotti descritti nei paragrafi precedenti e utilizzati nella *Fiorita Passive House*, rappresentano solo una minima parte di quelli presenti sul mercato. I rivenditori specializzati offrono svariate tipologie di nastri adesivi idonei per ogni tecnologia costruttiva, la stessa diversità la troviamo nei nastri espandenti, tappi sigillanti per gli impianti elettrici, cerotti adesivi per gli impianti meccanici, teli a tenuta, ecc.

La conoscenza di questi prodotti è fondamentale, soprattutto se si ha l'intenzione di realizzare una *Passive House* con tecnologie a secco, come il nostro caso. Al contrario, il requisito della tenuta all'aria è di norma più facile da raggiungere in edifici realizzati con tecnologie ad umido. Involucri di cemento armato o muratura intonacata sono così uniformi e compatti da creare per loro natura un'efficace tenuta all'aria.

In questi casi l'impiego dei nastri è di norma ristretto al montaggio dei serramenti e in corrispondenza degli impianti che attraversano l'involucro.

Rispetto le precedenti, nelle costruzioni a secco le disconnessioni tra gli elementi aumentano, pertanto il requisito è più difficile da raggiungere. Per questo motivo, durante la costruzione della *Fiorita Passive House*, a maggiore garanzia di raggiungere il risultato, abbiamo effettuato **tre sessioni di blower door test**:

1. **primo test**: a struttura portante ultimata, per verificare le connessioni tra gli elementi portanti;
2. **secondo test**: dopo la posa dei serramenti, per verificare la corretta posa in opera degli infissi;
3. **prova finale**: a edificio ultimato, per verificare il raggiungimento dello standard *Passive House*.

## 10.2 Risultati della Campagna di Monitoraggio

I risultati della campagna di monitoraggio confermano la maggior parte delle previsioni progettuali, come, ad esempio, il comportamento dinamico dell'involucro, della copertura e della parete, che consentono di ottenere un ottimo sfasamento termico; lo stesso vale per il comfort termico interno: la temperatura interna rimane sempre nell'ambito del *range* delle temperatura dell'aria e umidità relativa di comfort, ovvero 20°C ( $\pm$  2°C) in regime invernale e 26°C ( $\pm$  2°C) in regime estivo, e 45%–65% di umidità relativa. Il dato più sorprendente riguarda la concentrazione di CO<sub>2</sub> *indoor*, che riporta risultati diversi rispetto all'attesa: si è registrata una concentrazione di CO<sub>2</sub> *indoor* maggiore rispetto all'esterno, con dei picchi di concentrazione in alcuni periodi dell'anno, dovuti – forse – alle modalità di utilizzo dell'ambiente, sia per quanto riguarda la ventilazione naturale (apertura finestre) sia dell'impianti di VMC. Questo aspetto non è negativo, ovvero la IAQ della *Fiorita Passive House* è sempre buona e non si verificano mai condizioni critiche o croniche, ma i risultati evidenziano alcuni aspetti legati alla ventilazione e tenuta all'aria, e all'abitudine degli occupanti rispetto ai quali occorre prestare attenzione, sia nell'attività professionale, sia nell'ambito della ricerca scientifica.

Di questo aspetto ne abbiamo discusso con il progettista, anche sull'opportunità di renderla evidente; a parere di chi scrive, il fatto che alcuni dati non siano diverse da come il “sentire comune” pensa che siano, confer-

ma quanto sia importante, come in questo caso, la corretta progettazione e l'onestà intellettuale dei soggetti coinvolti; in altre parole, se tutto fosse perfetto, probabilmente, non sarebbe scientifico o preciso, e risulterebbe essere – probabilmente – un falso non supportato da dati reali.

A questo si aggiunge che vi sono stati errori di bilanciamento dell'impianto MVHR nella prima fase di attivazione, con l'ingresso dei nuovi affittuari: le anomalie sono dovute anche a tale malfunzionamento. Di seguito si riportano i grafici della campagna di monitoraggio con relative considerazioni e commenti.

### *Microclima indoor e comfort termico*

La percezione del comfort termico interno dipende da più variabili – temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità relativa – tra queste la temperatura dell'aria interna e l'umidità relativa interna sono quelle che possono essere controllate direttamente dagli utenti mediante il *set-point* degli impianti di climatizzazione e l'apertura delle finestre. Il sistema di monitoraggio ci consente di studiare la relazione tra i dati misurati *indoor* e *outdoor* così da poter valutare qual è il comportamento dinamico del fabbricato e dell'aria all'interno dell'ambiente; in riferimento alla procedura di calcolo della prestazione energetica, tale comportamento viene denominato “Costante di tempo dell'edificio” (*Building time constant* – ISO 13790) e dipende dalla capacità

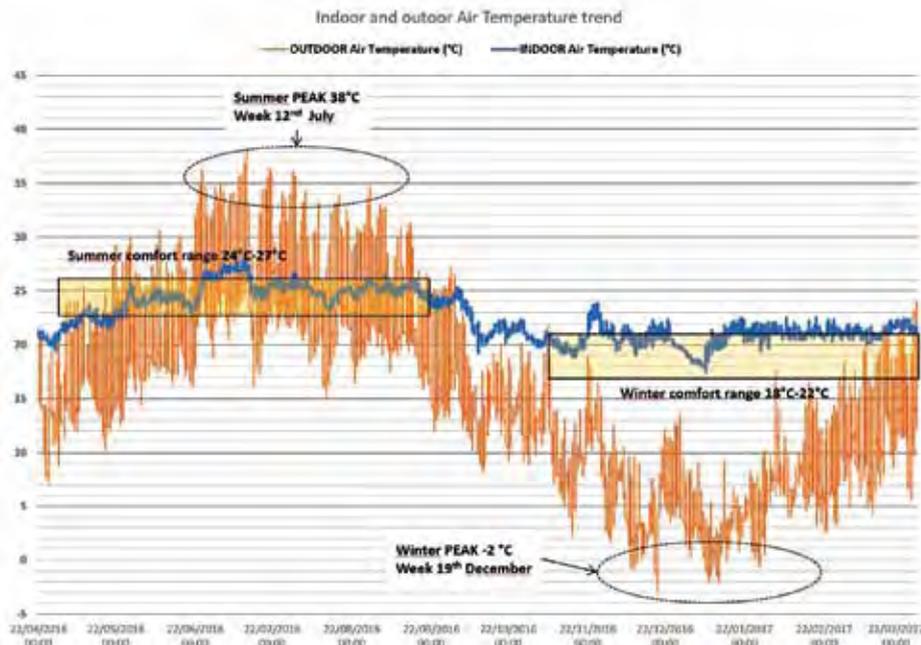


FIG. 6 | TREND ANNUALE DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA E INTERNA con individuati i *range* di comfort invernali ed estivi e le settimane con i valori massimi e minimi

termica aerea (*internal heat capacity of building zone*) e dal “Coefficiente di trasmissione termica H” (*heat transfer coefficient*) per trasmissione e ventilazione. In sintesi, maggiore è il Costante di tempo dell'edificio, maggiore è il tempo che impiega la temperatura dell'aria interna a diventare uguale a quella esterna. Nel nostro caso il monitoraggio *indoor* consente di verificare qual è la relazione tra le temperature interna ed esterna. Le temperature esterne minima e massima, durante la campagna di monitoraggio, sono state di  $-2.76^{\circ}\text{C}$  (registrata il 19 dicembre 2016) e di  $+39.09^{\circ}\text{C}$  (registrata il 12 luglio 2016); mentre la temperatura interna

minima è stata di  $17.50^{\circ}\text{C}$  (in assenza degli occupanti) e di  $27.86^{\circ}\text{C}$ .

Un dato interessante riguarda la differenza tra temperatura dell'aria esterna e interna: il valore medio è pari a  $-6.79^{\circ}\text{C}$  ovvero in media ci sono circa  $\pm 6^{\circ}\text{C}-7^{\circ}\text{C}$  di differenza tra la temperatura interna ed esterna, quindi se all'esterno ci sono  $30^{\circ}\text{C}$  la temperatura interna è circa  $24^{\circ}\text{C}$  (circa  $6^{\circ}\text{C}$  inferiore) se all'esterno ci sono  $12^{\circ}\text{C}$  la temperatura interna è di circa  $18^{\circ}\text{C}$ , anche se in entrambi i casi occorre tenere conto della possibile attivazione dell'impianto di climatizzazione. L'aspetto interessante è che la maggiore differenza si riscontra durante la stagione invernale: si può presumere che la temperatura interna è garantita dall'at-

tivazione “in continuo” dell'impianto di riscaldamento, mentre d'estate l'attivazione “in continuo” non è sempre necessaria.

Le umidità relative esterne minima e massima, durante la campagna di monitoraggio, sono state del 21% (registrata il 17 luglio 2016) e del 95%  $-100\%$  (registrata nelle diverse giornate di pioggia o di nebbia); mentre l'umidità relativa interna minima è stata del 19% nel mese di gennaio, probabilmente nel periodo di assenza degli occupanti (vacanza); la umidità relativa massima registrata è pari al 76%.

La relazione tra umidità relativa interna ed esterna dipende sia dalle ri-

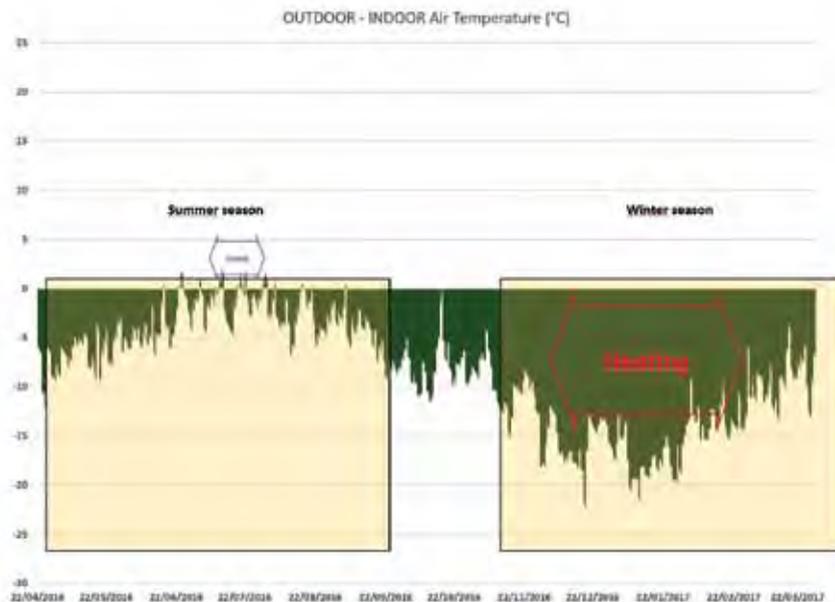


FIG. 7 | *TREND* DELLA DIFFERENZA TRA LA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA E INTERNA (*OUTDOOR* MENO *INDOOR*) con individuato il possibile periodo di attivazione degli impianti di climatizzazione

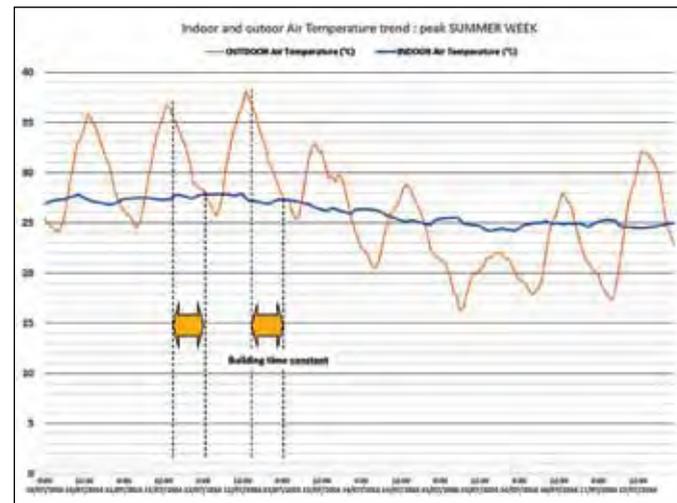


FIG. 8 | *TREND* DELLA SETTIMANA ESTIVA PIÙ CALDA (10-18 LUGLIO 2016) DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA E INTERNA  
Come si può notare la temperatura interna rimane sempre compresa nell'intervallo  $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con uno sfasamento temporale rispetto alla temperatura di picco esterna

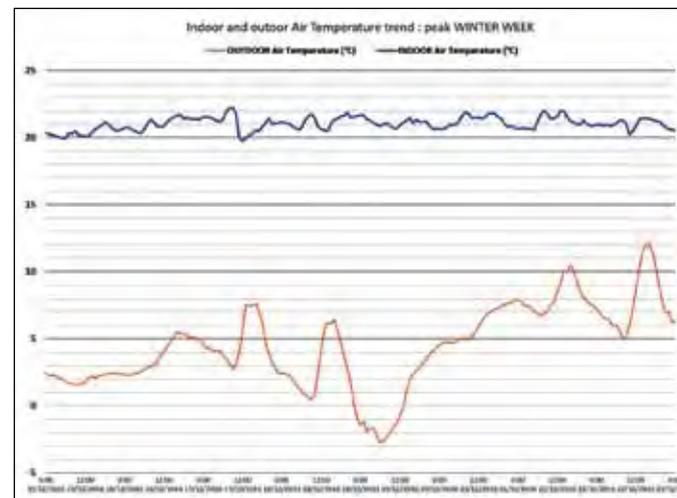


FIG. 9 | *TREND* DELLA SETTIMANA INVERNALE PIÙ FREDDA (15-23 DICEMBRE 2016) DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA E INTERNA  
Come si può notare la temperatura interna rimane sempre compresa nell'intervallo  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , data la differenza si può ipotizzare che l'impianto di climatizzazione sia acceso

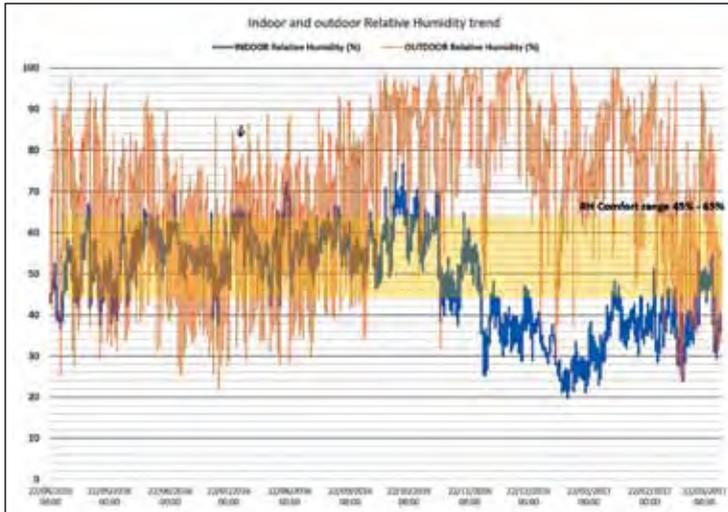


FIG. 10 | *TREND ANNUALE DELLA UMIDITÀ RELATIVA (UR) ESTERNA E INTERNA* con individuato il range di comfort tra il 45% e il 65% di UR

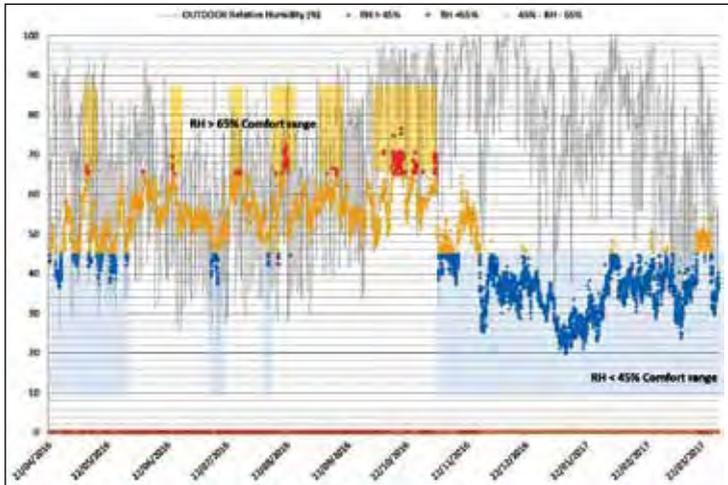


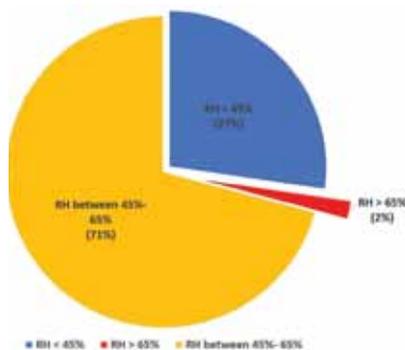
FIG. 11 | *TREND ANNUALE DELLA UMIDITÀ RELATIVA (UR) INTERNA* con evidenziato le ore in cui i valori sono inferiori al 45%; superiori al 65% e compresi nell'intervallo di comfort 45%-65%; nel grafico è riportato anche il *trend* della UR *outdoor*; come è evidente non vi è una relazione diretta tra le diverse variabili, mentre risulta che l'aria *indoor* durante il periodo invernale è "più secca"

spettive temperature dell'aria, sia dalle modalità di utilizzo dell'ambiente, per quanto riguarda la generazione di vapor d'acqua (in questo caso il locale bagno che si trova in comunicazione con la stanza dove sono posizionate le sonde), sia dall'apertura manuale delle finestre, nonché dall'attivazione dell'impianto di VMC. In sintesi dal monitoraggio non è possibile individuare una univoca relazione tra le condizioni di umidità relativa interna e le cause che ne determinano il valore. Considerando il *range* di comfort per la umidità relativa compreso tra il 45% e il 65% risulta che per la maggior parte dell'anno (il 71%) il valore è nel *range* del benessere UR (Umidità Relativa), per il 27% del tempo l'aria è "secca", per la maggior parte durante il periodo invernale, mentre per il restante 2% del tempo l'aria è "umida" (maggiore del 65%), in alcune giornate estive e autunnali. Non vi è nessuna correlazione diretta, o evidente, tra il valore interno ed esterno, a dimostrazione che il valore esterno non è l'unica variabile, mentre si può ipotizzare che durante il regime invernale, a causa della minore apertura manuale delle finestre la Umidità Relativa interna è legata al tasso di ventilazione del sistema VMC.

L'ultima elaborazione dei dati relativi al Comfort termico *indoor* riguarda la relazione tra i dati microclimatici e i parametri di comfort. Consideriamo il *range* di comfort compreso, in regime invernale, tra UR 40%–60% e temperatura dell'aria 18°C–22°C, e in regime estivo tra UR 45%–65% e tem-

FIG. 12 | RIPARTIZIONE PERCENTUALE DELLE ORE DI UMIDITÀ RELATIVA (UR) – *RELATIVE HUMIDITY, RH* – INTERNA, I CUI VALORI SONO INFERIORI AL 45%; SUPERIORI AL 65% E COMPRESI NELL'INTERVALLO 45%-65%.

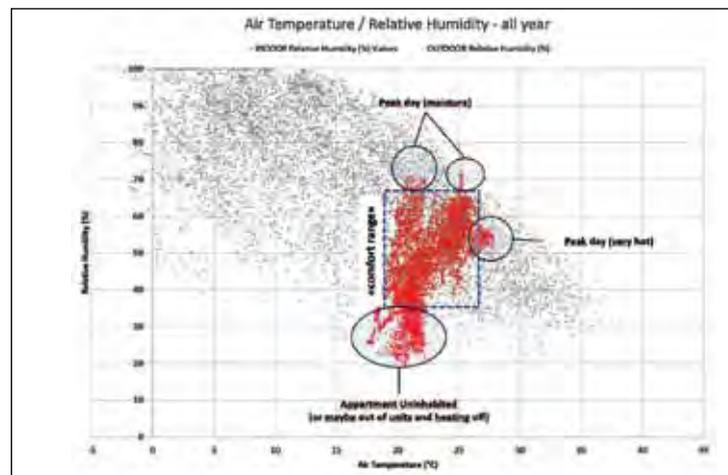
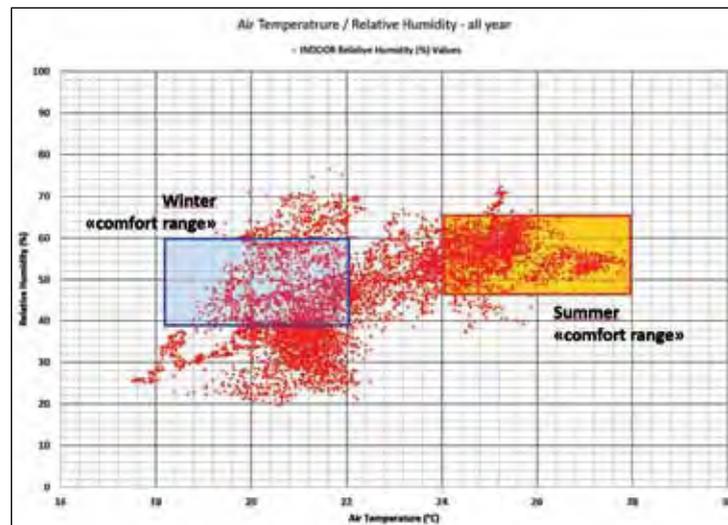
Le percentuali sono riportate come somma delle ore nelle quali il valore è compreso tra le diverse soglie, rispetto alle ore/anno della campagna di monitoraggio



peratura dell'aria 24°C–28°C. I dati di monitoraggio riportano che, nella maggior parte dell'anno i dati misurati rientrano nei *range* di comfort. Durante il periodo invernale vi sono delle situazioni puntuali nelle quali l'aria è “secca”, con un tasso di umidità ridotta, si può ritenere che sia quando le persone sono assenti, ovvero quando non vi è nessuna sorgente di vapor d'acqua (respiro, doccia, etc.). Il regime estivo si presenta più stabile e meno dipendente dalla presenza di persone o dal funzionamento degli impianti. Il confronto tra i dati di temperatura dell'aria e umidità relativa interna ed esterna, mostra che il microclima interno è molto più stabile e sempre compreso nel *range* 18°C–28°C e un tasso di umidità inferiore al 75%, ovvero non vi sono rischi di condensa interna. Inoltre la variazione delle condizioni climatiche esterne non incide sul microclima interno, fatto che conferma, ancora una volta, come il valore di UR non sia direttamente correlato al clima esterno, e come la temperatura interna dell'aria sia garantita dalla “costante di tempo” dell'edificio e dall'attivazione degli impianti di climatizzazione.

FIG. 13 | GRAFICO TEMPERATURA DELL'ARIA / UMIDITÀ RELATIVA INTERNA

FIG. 14 | GRAFICO TEMPERATURA DELL'ARIA / UMIDITÀ RELATIVA INTERNA ED ESTERNA



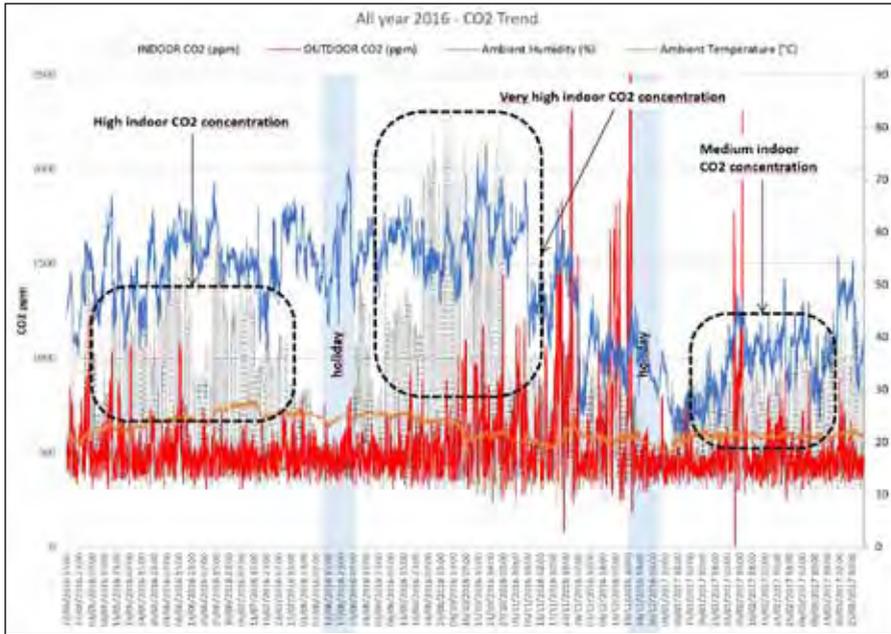


FIG. 21 | *TREND ANNUALE DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA INTERNA (°C), UMIDITÀ RELATIVA INTERNA (%) E QUANTITÀ DI CO2 (PPM) INDOOR E OUTDOOR*

*Tali soluzioni progettuali sono ritenute di default e obbligatorie, se affrontate dal punto di vista energetico, ma lo sono anche per quanto riguarda la IAQ?*

I risultati della campagna di monitoraggio consentono di confermare la bontà di tali soluzioni, ma, allo stesso tempo, di porre attenzione ad alcuni aspetti.

L'analisi dei *trend* annuali della quantità di CO2 (ppm), *indoor* e *outdoor*, confrontati con il *trend* annuale della Umidità relativa interna (%) e temperatura dell'aria interna (°C), mostra che non vi è una diretta correlazione tra le variabili fisiche, Temperatura dell'aria & UR, e la quantità di CO2. Allo stesso modo non sembra esserci una correlazione diretta forte tra la quantità di CO2 *outdoor* e *indoor*. Il

### **Qualità dell'aria interna (IAQ) e concentrazione della CO2**

I risultati della campagna di monitoraggio, relativi alla misurazione della quantità di CO2 (ppm), consentono di fare alcune riflessioni riguardo alla *Indoor Air Quality* (IAQ) della *Fiorita Passive House*, relative alla relazione tra la progettazione energetica efficiente e *low energy oriented* e la salubrità degli ambienti. Come si è detto le scelte volte alla riduzione degli scambi termici per ventilazione, comporta l'adozione di alcune soluzioni, in particolare un'alta tenuta all'aria dell'edificio, e l'adozione della Ventilazione Meccanica Controllata (VMC).

risultato più chiaro è che vi sono dei periodi in cui la quantità di CO2 *indoor* è media (Dicembre–Marzo), alta (Aprile–Giugno) e molto alta (Settembre–Novembre), gli unici momenti in cui la quantità di CO2 *indoor* è uguale a quella *outdoor* è quando son assenti gli occupanti (vacanze).

L'analisi più dettagliata di una settimana nella quale si riscontra la *Very High indoor concentration CO2* (Settembre 2016), mostra che la maggiore concentrazione di CO2 si ha durante il periodo notturno, quando le sorgenti inquinanti (2 persone) sono presenti, le finestre sono chiuse perché la temperatura esterna è di circa 15°C, e la VMC non assicura la

FIG. 22 | UNA SETTIMANA DEL MESE DI SETTEMBRE: *TREND* DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA INTERNA (°C), UMIDITÀ RELATIVA INTERNA (%) E QUANTITÀ DI CO2 (PPM) *OUTDOOR*

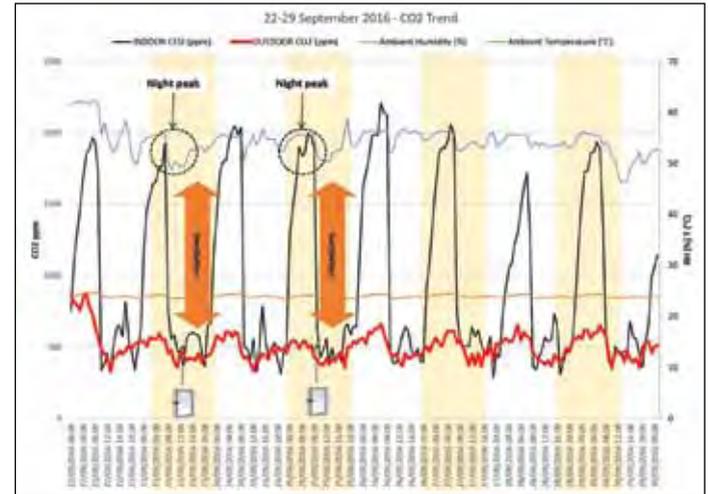


FIG. 23 | GRAFICO X/Y QUANTITÀ DI CO2 *INDOOR* E *OUTDOOR* (ANNUALE)

corretta portata d'aria di ventilazione ( $m^3/h$ ); infatti al mattino (ore 8:00) al risveglio, quando si presume che venga aperta la finestra per areare l'ambiente, la quantità di CO2 passa rapidamente da circa 2000 ppm a circa 500 ppm, valore che permane per tutta la giornata fino alle ore 21:00. La quantità di CO2 *outdoor* non incide sulla quantità di CO2 *indoor*. L'assenza di correlazione diretta tra la quantità *indoor* e *outdoor* di CO2 è confermata dal Grafico X/Y nel quale risulta evidente che i valori *indoor* della CO2 aumentano anche se quelli *outdoor* non variano.

I dati del monitoraggio riportato una concentrazione media annuale della CO2 pari a 660 ppm, con valori minimi di CO2 pari a 200 ppm e massimi di CO2 pari a 2371 ppm.

La ASHRAE 62 riporta come valore di concentrazione dannoso per la salute una concentrazione di CO2 pari a 5000 ppm, quindi nel nostro caso non vi sono mai situazioni dannose per la salute, ma in alcune ore la tenuta all'aria dell'edificio legata alla mancata ventilazione naturale (apertura finestre, "spifferi" etc.) e all'eccesso di generazione di CO2 da parte delle persone, rispetto ai tassi di ventilazione della Ventilazione Meccanica Controllata (VMC), comporta periodi nei quali la concentrazione di CO2 è superiore a 800 ppm. Dal monitoraggio non è possibile attribuire i picchi di concentrazione a uno dei tre fattori: tenuta all'aria, VMC o generazione di CO2; per poter valutare questi aspetti servirebbe un'analisi di laboratorio o su edifici nei quali è possibile isolare il singolo elemento, ad esempio un edificio senza VMC e a tenuta all'aria o viceversa.

