

# POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Edile – Architettura

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria dei Sistemi Edilizi



## LA MISURA DELLA QUALITÀ DELL'ARCHITETTURA E L'EFFICACIA DELLE STRATEGIE PROGETTUALI: IL CASO SOLAR DECATHLON.

Relatore: Prof. Ing. Enrico DE ANGELIS

Tesi di Laurea di:

Federica BIANCHI, Matricola 801468

Alberto VALLI, Matricola 798917

Anno Accademico 2014-2015



# INDICE

ABSTRACT .....	1
ABSTRACT – English Version.....	2
INTRODUZIONE.....	3
Il ruolo della progettazione bioclimatica.....	3
Cenni sul comfort termico e zone di comfort ASHRAE Standard 55.....	6
CAPITOLO I - IL CONTEST SOLAR DECATHLON.....	13
1.1. Cos'è Solar Decathlon .....	13
1.2. Storia di Solar Decathlon.....	14
1.2.1. Liste dei partecipanti .....	16
1.2.2. I dieci contests .....	17
1.3. I regolamenti di valutazione della qualità delle proposte .....	19
1.3.1. L'edizione americana di Solar Decathlon 2015 .....	19
1.3.2. Il regolamento di Solar Decathlon Europe 2014 .....	24
1.3.3. I Solar Decathlon China.....	30
1.4. Caratteristiche architettoniche dei prototipi .....	31
CAPITOLO II - ANALISI COMPARATIVA .....	33
2.1. Introduzione al metodo .....	33
2.2. Presentazione dei casi di studio .....	35
2.2.1. C.01_2009: Team Germany, Technische Universitat Darmstadt .....	35
2.2.2. C.02_2009: Gable House, University of Illinois .....	36
2.2.3. C.03_2011: WaterShed, University of Maryland .....	38
2.2.4. C.04_2011: INhome, Purdue University .....	40
2.2.5. C.05_2012: Canopea, Team Rhone-Alpes.....	41
2.2.6. C.06_2012: Patio 2.12, Andalusia Team .....	44
2.2.7. C.07_2013: Lisi – The house, Team Austria .....	46
2.2.8. C.08_2013: DesertSol, University of Nevada, Las Vegas .....	47
2.2.9. C.09_2014: Rhome for denCity, Università degli Studi Roma Tre.....	48
2.2.10. C.10_2014: Prêt à Loger – Delft University of Technology .....	50
2.3. Analisi comparativa dei punteggi Solar Decathlon.....	52
2.4. Matrice 3D.....	57
CAPITOLO III - SOLUZIONI RICORRENTI NEI PROGETTI SOLAR DECATHLON .....	63
3.1. Strumenti preliminari per l'analisi climatica .....	63
3.2. Soluzioni tecnologiche passive in Solar Decathlon.....	67
3.3. Influenza del sito di insediamento.....	67
3.4. Caratteristiche morfologiche .....	69
3.4.1. Forma dell'edificio e rapporto Superficie/Volume.....	69
3.4.2. Superficie e distribuzione delle aperture .....	71
3.4.3. Distribuzione interna.....	73
3.5. Tecnologie di involucro opaco.....	75
3.6. Tecnologie di involucro trasparente .....	77

3.7.	Controllo della radiazione solare.....	78
3.7.1.	Sistemi di controllo passivo per il riscaldamento.....	79
3.7.2.	Sistemi di controllo passivo per il raffrescamento.....	84
3.7.3.	Schermature solari.....	86
3.8.	Ventilazione naturale.....	89
3.9.	Soluzioni impiantistiche.....	93
CAPITOLO IV - CARATTERIZZAZIONE DEL MODELLO DI ANALISI .....		94
4.1.	L'importanza dei modelli energetici.....	94
4.2.	Il modello architettonico di base.....	95
4.3.	Caratteristiche essenziali del modello.....	96
4.4.	Breve descrizione del software Design Builder.....	101
4.5.	Il modello energetico di base.....	103
4.5.1.	Modellazione geometrica.....	103
4.5.2.	Ipotesi di gestione dell'edificio.....	105
4.5.3.	Caratteristiche tecnologiche delle superfici opache.....	107
4.5.4.	Caratteristiche tecnologiche delle superfici trasparenti.....	111
4.5.5.	Definizione del sistema impiantistico.....	112
4.5.6.	Le simulazioni.....	115
4.6.	Confronto con una valutazione semi-stazionaria (UNI TS 11300-1).....	117
CAPITOLO V - ANALISI DELLE STRATEGIE PASSIVE.....		120
5.1.	Metodo di comparazione.....	120
5.2.	Gli indici di comfort.....	121
5.3.	Input per le analisi.....	123
5.4.	I contesti climatici analizzati.....	132
5.5.	La strategia di indagine.....	135
5.6.	I risultati delle analisi.....	145
5.6.1.	Variante I.OX – Spessore dello strato di isolamento termico.....	146
5.6.2.	Variante O.OX – Orientamento.....	149
5.6.3.	Variante A.OX – Percentuale di apertura dell'involucro.....	154
5.6.4.	Variante S.OX – Presenza di serra e tipologia di vetro della serra.....	161
5.6.5.	Variante OS.OX – Presenza di sistemi di oscuramento.....	166
5.6.6.	Variante TV.OX – Tipologia di vetri.....	171
5.6.7.	Variante TT.OX – Tecnologia costruttiva impiegata.....	176
CONCLUSIONI E SPUNTI FUTURI.....		184
DOCUMENTAZIONE GRAFICA.....		187
INDICE DELLE FIGURE.....		228
INDICE DELLE TABELLE.....		230
INDICE DEI GRAFICI.....		232
ALLEGATO A: LISTE DEI PARTECIPANTI A TUTTE LE EDIZIONI DI SD.....		I
ALLEGATO B: I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD AMERICANO.....		IX
ALLEGATO C: I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD EUROPE.....		XI
ALLEGATO D: I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD CHINA.....		XIII

ALLEGATO E: LA MATRICE 3D .....	XV
ALLEGATO F .....	I
Variante I.OX – Spessore dello strato di isolamento termico .....	I
Variante O.OX – Orientamento .....	IV
Variante A.OX – Percentuale di apertura dell’involucro .....	VII
Variante S.OX – Presenza di serra e tipologia di vetro della serra .....	XI
Variante OS.OX – Presenza di sistemi di oscuramento .....	XIV
Variante TV.OX – Tipologia di vetri .....	XVIII
Variante TT.OX – Tecnologia costruttiva impiegata .....	XXI

## ABSTRACT

Il presente elaborato di tesi muove dall'interesse personale degli autori nell'indagare alcuni aspetti progettuali che concorrono ad assicurare elevati livelli di comfort abitativo. La qualità della vita all'interno di un edificio è influenzata da molteplici fattori interdipendenti atti a garantire condizioni ottimali dello spazio confinato tali da assicurare agli occupanti una perfetta armonia con l'ambiente circostante. L'evoluzione storica dell'architettura, fino all'avvento dei sistemi impiantistici, dimostra come quest'obiettivo sia raggiungibile solamente tramite un approccio bioclimatico, dove le caratteristiche costruttive degli edifici rappresentano la miglior risposta allo specifico contesto climatico della località di insediamento. In chiave moderna, l'attenzione alle forzanti esterne può contribuire in maniera efficace sul grado di benessere atteso e, contemporaneamente, ridurre i carichi termici. Scopo della trattazione è di valutare l'incidenza delle strategie progettuali passive in termini di comfort interno, tramite simulazioni in regime dinamico di un modello energetico di un edificio di riferimento.

Le prime fasi di lavoro riguardano un accurato studio del contest Solar Decathlon, manifestazione internazionale all'avanguardia in materia di innovazione edilizia sostenibile. Mediante l'analisi dei migliori prototipi delle ultime cinque edizioni, sono state individuate le principali connessioni tra scelte morfologiche e tecnologiche compiute dai progettisti, esaminate secondo particolari "indici di qualità" prestazionali dedotti dagli schemi di valutazione del concorso. Per verificare l'impatto di tali soluzioni, si è ricorso al software Design Builder: il modello di base, privo di alcun sistema impiantistico, prevede la sua collocazione in tre località italiane caratterizzate da climi molto diversi fra loro; successivamente, si è indagata la rilevanza sui parametri di comfort di ciascuna strategia passiva desunta dai casi di studio, ricercando una correlazione tra prestazioni della specifica soluzione e miglioramento di tali indici. Dai risultati ottenuti, è stato possibile raccogliere una serie di indicazioni utili ad ogni progettista in fase preliminare, fornendo uno strumento qualitativo per la determinazione delle configurazioni più efficienti per il benessere degli occupanti.

## ABSTRACT – English Version

This essay arises from the personal interest of the authors in investigating some design strategies which contribute to achieve high comfort performances of the living space. The quality of life inside a building is influenced by many interconnected aspects, whose function is to guarantee optimal internal conditions so that occupants could live in perfect harmony with the surrounding environment. The historical evolution of architecture, until the advent of buildings systems, shows how this objective is reachable thanks to a bioclimatic approach, where the constructive features of buildings represent the best answer to the specific climate contest in which they are built. In recent times, the attention to outdoor stresses could have an efficient impact on the standard of thermal comfort predicted and, in the meantime, could reduce thermal loads. The aim of this paper is to evaluate the impact of passive design strategies on thermal comfort conditions, through the dynamic simulation of a building energetic model as a reference.

The initial phase of the work deals with an accurate study of the Solar Decathlon contest, an avant-garde international competition in terms of sustainable building design. Through the analysis of the best houses prototypes of the last five editions, the connection between morphological and technological strategies adopted by designers is outlined. The assessment is conducted according to “quality indexes” of performance, deduced from the evaluation system of the competition. The software Design Builder is used to determine the influence of these solutions: the reference model, presumed without technical plants, is located in three different Italian sites whose climate conditions differ considerably from each other; then, the relevance of every passive design strategy is examined in relation to comfort parameters, inspecting the correlation between each solution and comfort indexes assumed. From the results, a series of useful information for designers in the preliminary stage are summarized, giving them a qualitative tool for assessing the most efficient configuration of the building concerning occupants comfort quality.

## INTRODUZIONE

*“Everything we design is a response to the specific climate and culture of a particular place”*

Norman Foster, 2012.

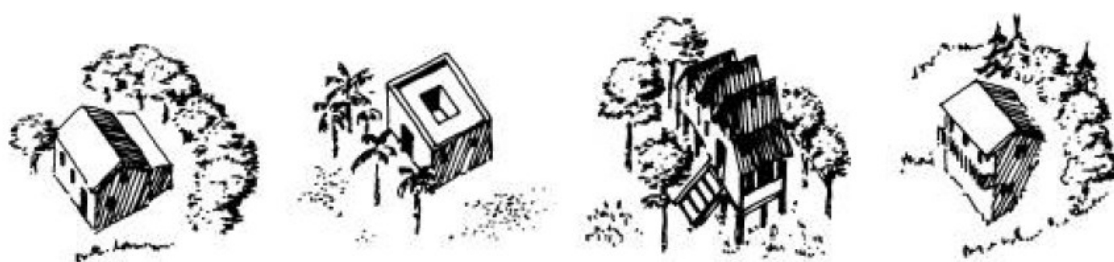
### **Il ruolo della progettazione bioclimatica**

Fin dall'antichità, l'uomo ha manifestato l'esigenza di convivere con le condizioni ambientali del luogo in cui si insediava; il concetto di edificio, dalle prime capanne rurali, fino ai più moderni complessi, ruota attorno alla necessità degli individui di soddisfare delle esigenze di benessere, riparandosi dalle intemperie, proteggendosi dall'azione del vento, dal surriscaldamento provocato dalla radiazione solare, dalla pioggia, dalla neve, dal troppo caldo o dal troppo freddo. Di conseguenza, la funzione primaria di ogni dimora è di assicurare delle condizioni di comfort dell'ambiente interno tali per cui ogni persona possa svolgere le mansioni quotidiane in armonia con le sollecitazioni sensoriali generate dal proprio corpo. In quest'ottica, appare evidente come il clima locale sia l'elemento regolatore delle funzioni vitali e, al tempo stesso, ciò che da sempre ha caratterizzato le differenti forme architettoniche che si riscontrano in diversi contesti mondiali: ad esempio, nei climi freddi si prediligono forme più compatte per contenere maggiormente le dispersioni termiche (si pensi agli igloo eschimesi), mentre in climi caldi si adottano soluzioni che facilitino l'asportazione del calore tramite ampie aperture che generano movimenti dell'aria, o ancora, nei climi temperati, si debbano gestire inverni rigidi, ma al tempo stesso il rischio di surriscaldamento estivo.

Questo è solo uno degli esempi di cosa si intende per progettazione bioclimatica: sfruttare il contesto climatico e le sue forzanti esterne per garantire la massima efficienza prestazionale dell'edificio in termini di mantenimento delle condizioni di benessere dell'ambiente interno. Si tratta di un concetto fondamentale, che sta alla base delle attuali tendenze volte alla sostenibilità in ambito edilizio, dal quale non si può più prescindere, o meglio, al quale bisogna ritornare. Purtroppo, a causa dell'avvento degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento che hanno caratterizzato il secolo passato, la buona cultura del costruire in funzione del contesto climatico è andata via via scemando; in particolar modo l'involucro edilizio, ma anche le espressioni dell'architettura, ha subito un processo di standardizzazione verso soluzioni che nulla avevano a che fare con il contesto in cui si insediavano, forti del fatto che la tecnologia impiantistica avrebbe sopperito ad ogni mancanza prestazionale e garantito l'instaurarsi delle



condizioni ritenute confortevoli da un'utenza sempre più esigente; in altre parole, si è progressivamente perduta la capacità di conferire al sistema edilizio quella funzione di mediazione tra ambiente esterno e ambiente confinato, tipica delle architetture del passato. Tutto ciò, comprensibilmente, ha portato a una richiesta energetica per soddisfare il fabbisogno termico di riscaldamento, ma soprattutto quello di raffrescamento, sempre maggiore, fino a livelli ormai considerati insostenibili, a maggior ragione quando questa mostruosa domanda è soddisfatta, interamente o quasi, tramite l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili, con conseguenti impatti ambientali devastanti dovuti alla produzione di sostanze nocive e inquinanti che sono costantemente immesse nell'atmosfera terrestre. Ecco spiegato il motivo per cui la progettazione bioclimatica deve essere il punto di partenza per un nuovo modo di intendere il processo edilizio: ridurre gli impatti energetici grazie ad un accurato studio del sito di insediamento, sfruttando tutte le risorse che esso mette a disposizione, quali il sole, il vento, la geotermia, le piogge, la neve, la vegetazione e in definitiva tutte le risorse rinnovabili, al fine di creare edifici adattivi che sappiano regolare il proprio funzionamento a seconda della percettibilità climatica a cui vanno incontro stagionalmente. Per fare ciò, è sempre più necessario avvalersi di strumenti di indagine sul comportamento fisico dinamico delle costruzioni, di tecnici e progettisti preparati che sappiano gestire questo tipo di approccio e che dimostrino di avere una forte propensione all'innovazione, intesa non come massima espressione del progresso tecnologico, bensì come filosofia di pensiero e comportamentale atta alla creazione di nuovi modelli di sviluppo del modo di costruire.



*Fig. 1 – Archetipi di architetture bioclimatiche; da sinistra, clima temperato, clima caldo secco, clima caldo umido, clima freddo.<sup>1</sup>*

Appare evidente che, visti gli standard cui ci hanno abituati i moderni sistemi di climatizzazione, questo tipo di approccio non è in grado, da solo, di soddisfare a pieno tutte le

---

<sup>1</sup> Fonte: slides del corso di “Architettura Tecnica II – Criteri di progettazione sostenibile”, G. Sciuto, Università degli Studi di Catania, Italia.

esigenze dell'utenza e imposte dalle normative vigenti, o più semplicemente dagli indici di comfort attualmente utilizzati come parametri di riferimento: banalmente, in un clima molto freddo o molto caldo, difficilmente si potranno ricreare le stesse condizioni di un ambiente condizionato. Demandare il compito al solo comportamento passivo dell'edificio, seppure realizzato in maniera ottimale, può essere una scelta vincente in determinati contesti, o limitatamente ad alcuni periodi stagionali, ma non sempre garantisce i risultati minimi desiderati per ogni caso specifico. È solo a questo punto che devono intervenire i sistemi attivi, ovvero quegli elementi impiantistici in grado di sfruttare le fonti rinnovabili al fine di colmare il gap tra le condizioni interne garantite dalle strategie e dai sistemi passivi e quelle ottimali per il mantenimento della qualità abitativa delle zone termiche confinate; in altri termini, occorre innanzitutto massimizzare l'adattabilità climatica dell'abitazione nei suoi aspetti architettonici e ingegneristici, e solo successivamente ricorrere all'integrazione impiantistica con sistemi che sfruttano tutto ciò che la natura è in grado di rigenerare autonomamente. Grazie allo sviluppo tecnologico di cui si parlava prima, non più inteso come fulcro imprescindibile, ma come supporto funzionale a servizio di un organismo edilizio pensato "su misura" per uno specifico sito, attualmente è possibile sfruttare diverse fonti rigenerative per la produzione di energia termica ed elettrica: pannelli fotovoltaici, pannelli solari termici, sistemi ibridi PV/T, pompe di calore geotermiche, macchine eoliche, impianti idroelettrici, sono andati via via migliorando le proprie efficienze, tanto che rendere possibile la realizzazione edifici a consumo zero, se non addirittura in grado di produrre più energia di quanta consumata, solamente con l'approccio bioclimatico fin qui descritto e l'integrazione con queste tecnologie impiantistiche.

È proprio in questa visione ambivalente di ritorno alla cultura edilizia del passato, ma rivisitata in chiave moderna nell'era del progresso tecnologico, che si colloca il contest Solar Decathlon: l'attenzione ai principi di design bioclimatico fa da padrona nella realizzazione dei prototipi che troveranno descrizione nei capitoli del presente elaborato, ma la spinta verso tecniche sempre più all'avanguardia ed efficienti è il presupposto per ottimizzare il funzionamento di edifici energeticamente autosufficienti. Purtroppo, si tratta di una pratica costruttiva ben lontana dagli standard attuali, principalmente a causa di una cultura progettuale fossilizzata nel (recente) passato e di un'accessibilità economica non ancora comparabile con le tradizionali soluzioni; le due cose sono chiaramente in stretta relazione tra loro, fintanto che il costo dei combustibili fossili rimarrà di molto inferiore a quello delle energie rinnovabili. Si rende di fatto necessaria un'inversione di rotta per ciò che concerne questi due fondamentali parametri: promuovere la diffusione su ampia scala delle tecnologie basate su energie rinnovabili, ancora

troppo costose, tramite l'incentivazione e la promozione, e convertire la mentalità degli addetti del settore e degli utenti finali a favore di una visione nuova, o forse antica, del concetto di abitazione.

Nel presente elaborato si intende esemplificare i concetti base della progettazione bioclimatica e presentare una serie di soluzioni tecnologiche sulla base di quanto riscontrato nei progetti di Solar Decathlon: l'obiettivo è di mettere a disposizione del progettista una serie di informazioni e strumenti che sappiano delineare quale sia la direzione da intraprendere per poter applicare i concetti sovraesposti in un ambito non strettamente legato al contest<sup>2</sup>; occorre precisare, tuttavia, che la trattazione qui presente si focalizza principalmente sugli aspetti energetici legati ai flussi di calore, trascurando altre tematiche tipiche dell'approccio bioclimatico, come ad esempio il controllo luminoso e sonoro. Tramite la realizzazione di un basilare modello architettonico rappresentativo della tipologia di villa monofamiliare su due piani e rapportato agli standard costruttivi dei regolamenti edilizi italiani, si vogliono evidenziare le possibili alternative progettuali e soluzioni tecniche da adottare, al fine di massimizzare il comportamento passivo degli edifici. Seppur nella sua non esaustività del tema, sono questi i primi piccoli passi da compiere per instaurare una nuova concezione di fare progettazione e una diversa visione del mondo delle costruzioni, orientata alla tutela delle risorse e alla sostenibilità.

### Cenni sul comfort termico e zone di comfort ASHRAE Standard 55

Il corpo umano è un organismo complesso che interagisce continuamente con l'ambiente circostante; il compito dei meccanismi di termoregolazione presenti al nostro interno è di mantenere costante la temperatura media del corpo intorno ai 36,5-37 °C. Qualora ci si discosti verso l'alto rispetto a questo valore, si attivano i processi di raffreddamento del corpo per smaltire l'energia in eccesso, tipicamente, la dilatazione dei vasi sanguigni, la sudorazione e la traspirazione; all'opposto, quando la pelle raggiunge i 34 °C, i meccanismi di regolazione inducono una vasocostrizione e innescano il brivido, ovvero generano movimento muscolare al fine di aumentare l'energia prodotta dal sistema metabolico. Tali meccanismi sono attivati da sensori collocati all'interno dell'ipotalamo che rilevano l'eccessivo innalzamento della

---

<sup>2</sup> Solar Decathlon è soggetto a regole ben precise per quanto riguarda i limiti progettuali, che si discostano di molto dagli standard minimi imposti dai regolamenti edilizi e d'igiene italiani. Si noti che queste differenze possono condizionare in maniera più o meno significativa il comportamento passivo di un edificio.

temperatura, tramutandolo in stimolo; responsabile del riconoscimento della sensazione di freddo è invece la pelle; la condizione di neutralità rispetto a queste percezioni sensoriali indica che la persona si trova in stato di benessere in relazione all'ambiente che lo circonda. Come detto, l'iterazione uomo-ambiente si compone di un continuo scambio termico tra le due parti: non si percepirà disagio o malessere solo quando il bilancio energetico del corpo umano è prossimo allo zero, ovvero quando il calore prodotto all'interno è pari a quello dissipato in ambiente:

$$\frac{dE_T}{dt} = \frac{d(U + E_C)}{dt} = (\Phi_M - \dot{W} - \Phi_T) + (\Phi_{E_C} - \Phi_M)$$

La variazione di energia  $E_T$  del corpo umano è data dalla somma della produzione energetica interna  $U$  e di quella ottenuta chimicamente dagli alimenti che vengono ingeriti  $E_C$ ; ciò che le accomuna è il flusso metabolico  $\Phi_M$ , per mezzo del quale è possibile separare i due contributi e analizzare solo la variazione interna di  $U$  (funzione della capacità termica  $C$  e della temperatura media del corpo  $T$ ); sostituendo i termini dei tre contributi, si ottiene l'equazione di bilancio termico generale così come definita dalla norma UNI EN ISO 7730:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{C(T)}{dt} = A_{CU}S = (A_{CU}M - A_{CU}W - A_{CU}Q)$$

$$S = M - W - Q$$

dove  $S$  è il calore accumulato [ $W/m^2$ ],  $M$  è la produzione di calore dovuta al metabolismo [met = 58,4  $W/m^2$ ],  $W$  è la potenza meccanica ceduta dal corpo dovuta all'attività svolta [met] e  $Q$  comprende tutti gli scambi di calore sensibili e latenti tra corpo e ambiente [ $W/m^2$ ] (convezione, irraggiamento, conduzione, traspirazione, evaporazione, respirazione). Senza entrare nel merito della risoluzione dell'equazione, piuttosto complessa, grazie agli studi condotti dal *Prof. Povl Ole Fanger* si può determinare che la sensazione di caldo o freddo è funzione dei seguenti parametri, fissata la temperatura media del corpo pari a 37 °C:

$$f(M, W, I_{cl}, \theta_a, \theta_r, v, p_v^{H_2O}) = 0$$

in cui  $M$ ,  $W$ , mantengono il significato precedentemente esplicitato e dipendono dal tipo di attività svolta dalla persona;  $I_{cl}$  è la resistenza termica indotta dal vestiario [clo];  $\theta_a, \theta_r$  corrispondono rispettivamente alla temperatura dell'aria e alla temperatura media radiante [°C];  $v$  è la velocità dell'aria [m/s];  $p_v^{H_2O}$  è la pressione parziale di vapore nell'aria [Pa]; i primi tre, detti *parametri personali*, sono relativi alla persona e possono essere facilmente

determinati tramite l'ausilio di tabelle, mentre gli altri quattro *parametri ambientali* danno origine a tutte le combinazioni che soddisfano l'equazione di benessere. Secondo gli esperimenti di Fanger, tale equazione si è dimostrata indipendente da altri fattori legati alla capacità di adattamento degli individui, mentre altri autori<sup>3</sup> sostengono che debbano essere presi in considerazione anche il sesso, l'età e lo stato di salute, dando origine a quello che è definito come *metodo adattivo*.

A partire dall'equazione del bilancio termico del corpo umano, è possibile determinare degli indici di comfort, utili indicatori del grado di benessere all'interno di un ambiente confinato:

- La temperatura operante, od operativa:  $T_o = \frac{h_r\theta_r + h_c\theta_a}{h_r + h_c}$ ;

dove  $h_r$  e  $h_c$  sono i coefficiente di scambio termico radiativo e convettivo per l'uomo; tali coefficienti si possono approssimare in funzione del prevalere di una componente piuttosto che un'altra: per climi caldi, in cui la componente radiativa dovuta all'irraggiamento è maggiore,  $T_o = \frac{2\theta_r + 1\theta_a}{3}$ ; se, invece,  $\theta_r - \theta_a \leq 4^\circ\text{C}$  e  $v < 0,2\text{ m/s}$ , come si verifica in climi più freddi, si può assumere  $T_o = \frac{\theta_r + \theta_a}{2}$ ;

- La nuova temperatura effettiva, o efficace ET\*, definita come la temperatura di un ambiente con fissate condizioni di umidità relativa UR=50%,  $v = 0$  e  $\theta_r = \theta_a$ .
- Il PMV-Voto Medio Previsto (Predicted Mean Vote), che indica quanto più un ambiente si discosta dalle condizioni ottimali di comfort (PMV = 0), secondo una relazione statistica<sup>4</sup> redatta da Fanger tramite il parere espresso da un gruppo di persone a cui era richiesto di valutare la sensazione percepita all'interno di un ambiente chiuso. Il risultato che si ottiene è un valore compreso tra -3, corrispondente ad una sensazione di molto freddo, e +3, che indica un ambiente molto caldo; si può ritenere che un ambiente è confortevole quando  $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$ , così come indicato dalla ISO 7730 e dall'ASHRAE 55. La valutazione del comfort tramite il metodo del Voto Medio Previsto richiede attenzione al campo di accettabilità dei risultati; esso, infatti richiede che le variabili concorrenti alla formulazione del PMV ricadano entro determinati intervalli di valori, al di fuori dei quali la formula perde di attendibilità. Si richiede che la temperatura dell'aria sia compresa tra i 10 °C ed i 30 °C, che l'umidità relativa sia compresa tra il 40% ed il 60% (che corrisponde ad un intervallo di

<sup>3</sup> G.S. Brager, R.J. de Dear, M.A. Humphreys, F. Nicol, S. Roaf, A. Auliciems, I. Griffiths.

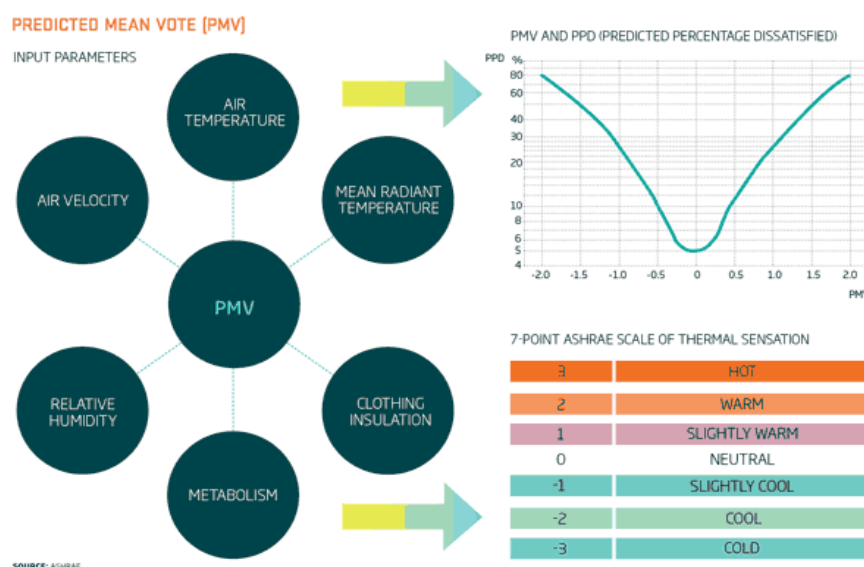
<sup>4</sup>  $\text{PMV} = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\Delta Q/A_{cu}$ .

pressione di vapore pari a  $0 < p_a < 2700$  Pa), la velocità dell'aria non ecceda la soglia di 1 m/s, così come la temperatura media radiante sia compresa in un intervallo tra 10 °C e 40 °C; le limitazioni del campo di validità sono estese anche ai parametri personali: la resistenza termica dell'abbigliamento deve essere compresa tra 0 clo e 2 clo (che corrisponde a 0,31 m<sup>2</sup>K/W); il livello di attività metabolica deve essere compreso tra 0,8 met e 4 met (valori di metabolismo compresi tra 46 W/m<sup>2</sup> e 232 W/m<sup>2</sup>).

$v$	M	$I_{cl}$	$T_a$	$T_{mr}$	UR
m/s	met	clo	°C	°C	%
1	0,8-4	0-2	10-30	10-40	40-60

Tabella 1 – Limiti di applicabilità dei parametri ambientali e personali del PMV.

- La PPD-Percentuale di Persone Insoddisfatte (*Predicted Percentage of Dissatisfied*): esprime il numero di persone insoddisfatte, ovvero coloro che percepiranno l'ambiente come troppo caldo o troppo freddo. Questo valore è direttamente collegato al PMV<sup>5</sup>, e non assume mai valore pari a zero in quanto, anche con PMV=0, esiste sempre una percentuale del 5% di persone che esprimerebbe un giudizio pari a -2,-3 o +2,+3.



Relazione tra la scala PMV e PPD.<sup>6</sup>

L'indice della nuova temperatura efficace ET\* è stato introdotto dalla normativa ASHRAE: Standard 55; come accennato, sono fissati i valori dei parametri personali e di quelli ambientali. Una volta determinate quattro delle cinque variabili, lasciando libera solamente la

<sup>5</sup>  $PPD=100-95e^{-(0,03353PMV^4)+0,2719PMV^2)}$

<sup>6</sup> Fonte: <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=5&C=779&P=2>.

temperatura operante, è possibile rappresentare sul diagramma psicrometrico le isoterme parallele alle curve di ET\*. La pendenza della retta si discosta dalla verticalità in funzione della relazione che lega la temperatura di bulbo secco (TBS) e l'umidità assoluta (UA):

$$\frac{TBS}{UA} = 0,023 * (T - 14)$$

Al di sotto dei 14 °C, la curva ET\* coincide con quella della TBS, mentre per valori superiori di temperatura la pendenza della retta cresce in maniera costante e progressiva all'aumentare di T. A partire da queste curve e fissando altri parametri come indicato nella tabella a seguire, la norma ASHRAE 55 ha definito una porzione del diagramma definita *zona di comfort*, che rappresenta le condizioni di temperatura e umidità tali per cui l'ambiente è da considerarsi confortevole; in altre parole, se nell'edificio vengono riscontrati dei valori di T<sub>o</sub> e UR che identificano un punto all'interno della zona di comfort, significa che gli occupanti sono in condizioni di benessere termico:

v	M	I <sub>cl</sub> Estate	I <sub>cl</sub> Inverno	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	p <sub>v</sub> <sup>H<sub>2</sub>O</sup>	p <sub>v</sub> <sup>H<sub>2</sub>O</sup>	T <sub>o,min</sub> Estate	T <sub>o,max</sub> Estate	T <sub>o,min</sub> Inverno	T <sub>o,max</sub> Inverno
m/s	met	clo	clo	kg <sup>h20</sup> /kg <sup>as</sup>	kg <sup>h20</sup> /kg <sup>as</sup>	kPa	kPa	°C	°C	°C	°C
<0,1	≤1,2	0,5	0,9	0,004	0,012	0,6	1,9	23,6	27,8	19,6	20,9
				0*	12*	0*	1,9*	23,6*	28,3*	19,6*	26,3*

\*valori estesi allo zero di umidità assoluta che sono raffigurati nel grafico sottostante.

Tabella 2 – Valori che definiscono la zona di comfort suggeriti dall'ASHRAE.

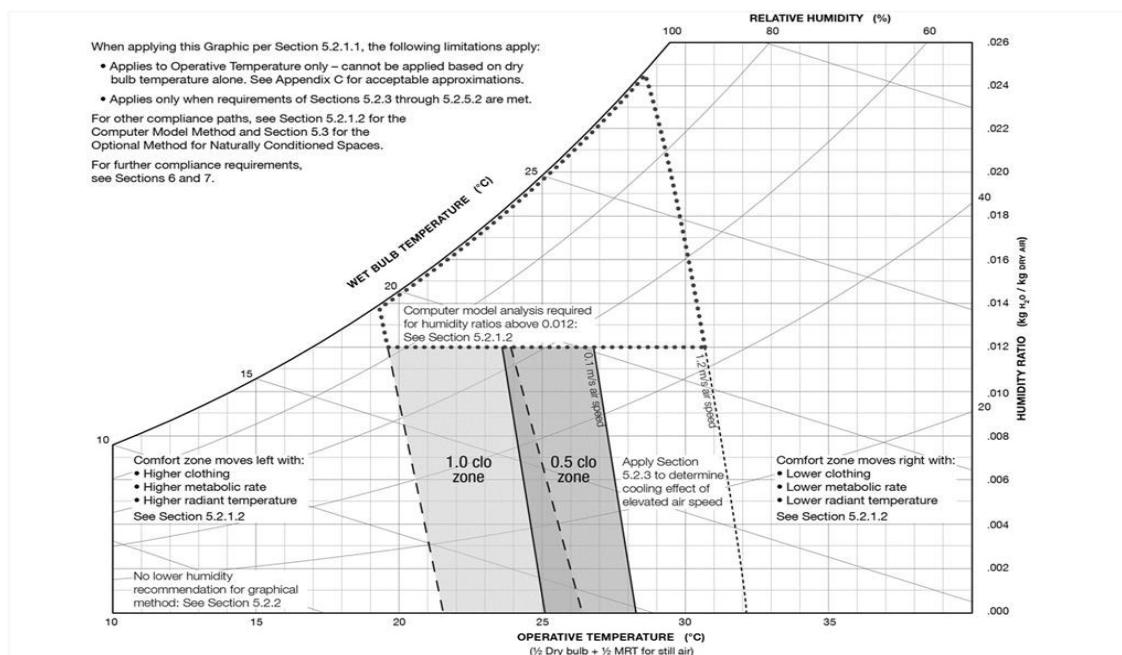


Fig. 2 – Diagramma psicrometrico con le zone di comfort suggerite dall'ASHRAE.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fonte: AHSRAE Standard 55-2010.

I segmenti tratteggiati per la zona invernale e continui per quella estiva, rappresentano le ET\*. Per individuare i valori relativi di  $T_o$  a  $x_{min}$  e  $x_{max}$  è sufficiente tracciare delle rette orizzontali in corrispondenza di  $0,004 \text{ kg}^{h20}/\text{kg}^{as}$  e  $0,012 \text{ kg}^{h20}/\text{kg}^{as}$ .

Secondo il *metodo adattivo*, altri fattori concorrono nella definizione di comfort: la sensazione di benessere può essere influenzata, infatti, dalla capacità degli individui di adattarsi a determinate condizioni climatiche esterne, accettate come “normali” a causa dell’abitudine sviluppata nel tempo; in altri termini, persone che sono abituate a vivere in climi caldi e con alte percentuali di umidità relativa, tenderanno a sopportare meglio dei valori più alti di temperatura e umidità rispetto a coloro che vivono in un clima più freddo e secco, provando una inferiore sensazione di disagio. Si tratta quindi di considerare anche aspetti legati alla psicologia e al contesto socio-culturale di appartenenza dell’uomo. Tale adattamento non avviene solamente per differenze estreme di condizioni esterne, bensì ha validità anche a livello stagionale e mensile. Il concetto di temperatura neutrale  $T_n$  vuole esprimere proprio questa idea, ovvero relazionare le condizioni esterne alla capacità di adattamento del corpo umano nel tempo: essa rappresenta la temperatura media preferita da un determinato campione di persone in funzione delle temperature medie stagionali del mese  $T_{m,av}$ :

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_{m,av}$$

La formulazione qui proposta è quella presentata da *Andris Auliciems*, sebbene altri autori (nota 2) abbiano riportato correlazioni leggermente differenti, che si è scelto di omettere per non dilungarsi troppo nella trattazione.

La zona di comfort del modello adattivo, come definita da *Steven V. Szokolay*, può essere rappresentata sul diagramma psicrometrico a partire dalla temperatura neutrale; considerando un’accettabilità dei risultati pari al 90%, l’ASHRAE 55 consente di estendere il range di  $T_n$  fino a  $\pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Essendo, per definizione, la temperatura neutrale variabile in funzione del clima esterno, la zona di comfort potrà essere individuata dai valori di temperatura media mensile del mese più caldo e di quello più freddo; trovata la  $T_n$ , se ne definiscono i limiti superiori e inferiori ( $+2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $-2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), individuando i punti corrispondenti alle temperature calcolate lungo la curva a UR=50%; muovendosi sulle curve di ET\* fino a incrociare le rette orizzontali in corrispondenza dei limiti di umidità assoluta pari  $0,004 \text{ kg}^{h20}/\text{kg}^{as}$  e  $0,012 \text{ kg}^{h20}/\text{kg}^{as}$ , si ottengono i quattro punti che delimitano la zona di comfort per la località in



esame. Ciò significa che, a differenza della regione di comfort definita in precedenza, che si colloca sempre nella stessa posizione all'interno del diagramma psicrometrico (valori prefissati dei parametri ambientali e personali), quella individuata dal modello adattivo può variare sensibilmente la sua collocazione in funzione delle condizioni ambientali del sito considerato.

Tramite ulteriori strumenti presentati in seguito, prescindendo dal modello di comfort considerato, la definizione della zona di comfort consente di contestualizzare il tipo di problema climatico che si ha di fronte e stabilire fin dalle fasi preliminari dell'analisi bioclimatica quali siano le strategie passive che consentono di far ricadere all'interno della zona di comfort quante più combinazioni di  $T_o$  e UR possibili.

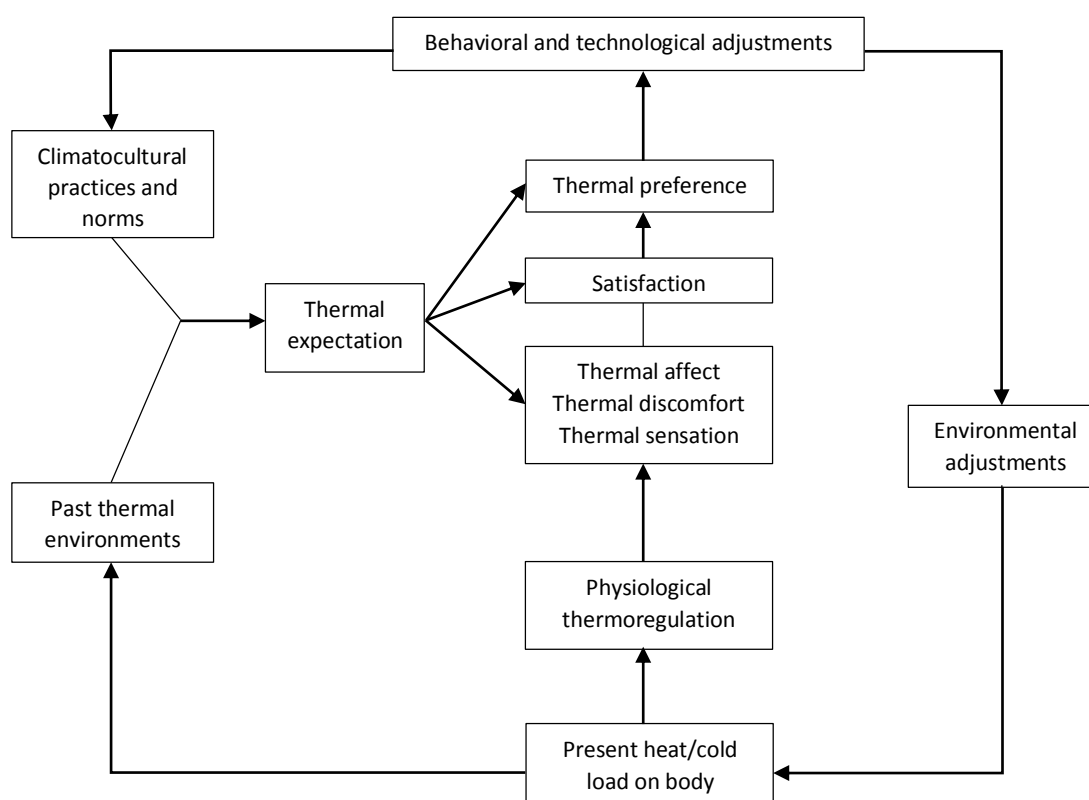


Fig. 3 – Schema del modello adattivo di Auliciems.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Fonte: slides “Adaptive thermal comfort: background, simulation, future directions”, University of Sidney, Australia, R. de Dear.

## CAPITOLO I

### IL CONTEST SOLAR DECATHLON

*"Let's not pretend that things will change if we keep doing the same things."*

Albert Einstein, *The World as I See It*, 1949.

#### 1.1. Cos'è Solar Decathlon

Il Dipartimento di Energia Americano (DOE), con la collaborazione organizzativa del Laboratorio Nazionale di Energia Rinnovabili (NREL), ha istituito una competizione a livello internazionale, in cui diversi team universitari si sfidano nella progettazione, realizzazione e funzionamento di prototipi di abitazione solare energeticamente autosufficienti, innovativi e sostenibili.

L'elemento caratterizzante le proposte è sicuramente l'alto contenuto di sviluppo progettuale e tecnologico volto a massimizzare esclusivamente l'utilizzo della radiazione solare come fonte di energia primaria per il funzionamento degli edifici (da cui deriva il termine "Solar"); i partecipanti sono chiamati a ottimizzare l'efficienza e l'efficacia energetica delle loro soluzioni e, al tempo stesso, creare un prodotto pregevole dal punto di vista architettonico. Coloro i quali si dimostrano eccellenti in questi ambiti prestazionali e funzionali, unitamente ad ulteriori aspetti quali la convenienza economica, la produzione energetica, la salvaguardia delle risorse, la comunicazione, il potenziale impatto sul consumatore ecc., saranno premiati come vincitori della competizione.

Il concorso si svolge con ricorrenza biennale, durante la quale ogni squadra si dedica alla progettazione della sua soluzione; nelle fasi finali, in un arco temporale limitato a poche settimane, ha luogo la manifestazione vera e propria: ciascun team deve assemblare e testare il proprio edificio secondo un decalogo ("Decathlon", appunto) di contests. Sulla base dei risultati ottenuti da ciascun sfidante in ogni singolo test, viene proclamato il vincitore dell'edizione.

Scopo principale della manifestazione è mostrare al pubblico come lo sfruttamento di energie pulite grazie alle tecnologie attualmente disponibili è in grado di assicurare un alto livello di comfort abitativo e di qualità architettonica, tramite la realizzazione di edifici estremamente

performanti, che garantiscano benefici sia in termini economici che di impatti ambientali. Al fine di creare un modello di sviluppo sostenibile, non si può prescindere dal sensibilizzare l'opinione pubblica riguardo a tematiche quali i consumi energetici e le risorse rinnovabili, incoraggiando le persone ad adottare sistemi solari, promuovendo idee e fornendo consigli sull'utilizzo migliore delle loro abitazioni, dimostrando come questo approccio, sul medio-lungo periodo, si dimostri vincente. È inoltre essenziale accrescere la consapevolezza di studenti e professionisti riguardo alle opportunità offerte dall'approccio bioclimatico, fornendo un'educazione tecnico-scientifica completa e specializzata, che possa essere direttamente applicata nella realtà quotidiana del mondo delle costruzioni. Infine, questa competizione offre la possibilità di ripensare sistemi e soluzioni in maniera creativa, in modo da migliorarne l'efficienza, nonché di sperimentare in reali condizioni di utilizzo nuovi prodotti destinati alla successiva immissione sul mercato di larga scala.

Tuttavia, non bisogna erroneamente pensare che le performance energetiche e i livelli qualitativi raggiunti da questi progetti siano un mero riflesso dell'esasperato utilizzo più o meno appropriato di una tecnologia all'avanguardia; al contrario, è necessario adottare un approccio globale alla progettazione che, in primis, sia in grado di trarre il massimo beneficio da ciò che la natura offre gratuitamente, successivamente sia finalizzato al contenimento dell'impiego di risorse e, come ultimo, punti a selezionare le tecnologie idonee per soddisfare determinati requisiti prestazionali. I principi di Solar Decathlon sono proprio questi: innanzitutto, ottimizzare la passività dell'edificio, per poi integrare sistemi attivi sulla base di un approccio sostenibile.

Solar Decathlon rappresenta perciò l'avanguardia in ambito di efficienza energetica e tecnologie solari, coniugando il tutto con prestigio architettonico e appeal, ponendosi come obiettivo ultimo quello di migliorare significativamente l'attuale produzione edilizia a vantaggio della salvaguardia dell'ambiente, delle risorse e della qualità abitativa del futuro.

## 1.2. Storia di Solar Decathlon

Il Dipartimento di Energia Americano Solar Decathlon, o semplicemente Solar Decathlon, è stato istituito negli Stati Uniti nel 1999. Il concorso si è tenuto per la prima volta nel 2002 al "Solar Village" (così è chiamato il luogo in cui vengono assemblati tutti gli edifici per le settimane di contest), realizzato nel National Mall di Washington DC, Stati Uniti; all'evento hanno partecipato 14 squadre provenienti da diverse università americane e da Porto Rico. Ad

eccezione della seconda edizione, svoltasi nel 2005, la manifestazione è stata replicata ogni due anni per un totale di sei edizioni (2002, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013), a cui hanno aderito un numero di università di anno in anno sempre più rilevante. A partire dalla sua istituzione fino ad oggi, oltre 100 squadre, per un totale di circa 17.000 studenti provenienti dalle facoltà di Architettura, Ingegneria e Urbanistica di tutto il mondo e specializzati in energie rinnovabili e progettazione sostenibile, si sono sfidate nel creare edifici che ottimizzassero l'energia solare e, simultaneamente, rispettassero le esigenze estetico-prestazionali e i moderni stili di vita degli utenti.

Nel corso degli anni, la popolarità della competizione è andata progressivamente aumentando, diventando uno dei più prestigiosi eventi a livello internazionale, grazie alla crescente copertura mediatica che gli ha permesso di raggiungere un pubblico sempre più vasto ed eterogeneo, composto non solo da esperti di settore, ma anche da persone comuni che iniziano in questo modo il percorso di sensibilizzazione riguardo ai temi affrontati nel Solar Decathlon; per favorire questo processo di espansione, la competizione è aperta al pubblico e gratuita, offrendo la possibilità a chiunque interessato di visitare i prototipi, raccogliere idee sul funzionamento delle abitazioni ed essere educati sulle più evolute soluzioni solari e tecnologiche.

Visto il notevole successo riscosso, unitamente alla politica europea che ha portato alla Direttiva 2009/29/CE ("Piano 20-20-20"), il 18 ottobre 2007 il Governo degli Stati Uniti e il Ministero dei Lavori Pubblici del Governo spagnolo hanno siglato un accordo con l'obiettivo di organizzare suddetta competizione anche a livello europeo: nasce così il Solar Decathlon Europe. Il contest ha luogo per la prima volta nel 2010 nella "Villa Solar", nei pressi dello storico Palacio Real di Madrid, Spagna, dove 17 teams da 9 diversi paesi del mondo si sono sfidati nei dieci contests indetti dal regolamento che, come vedremo in seguito, presentano lievi differenze rispetto al sistemato valutativo americano. Come il Solar Decathlon americano, anche quello europeo ha ricorrenza biennale, tuttavia si precisa che deve essere tenuto ad anni alterni rispetto a quello americano: di conseguenza, a partire dal 2010, sono state realizzate in totale tre edizioni (2010, 2012, 2014). Anche in questo caso, col passare degli anni, il numero di partecipanti all'evento è aumentato notevolmente: considerando tutte le edizioni tenutesi a livello europeo, più di 50 squadre hanno aderito alla manifestazione, riscuotendo il favore di un pubblico sempre più vasto. Nonostante la dicitura "Europe", la partecipazione non è ristretta esclusivamente a università proveniente da nazioni all'interno della UE, bensì, come

quello mondiale, è aperta a qualunque università di qualsiasi origine territoriale che voglia cimentarsi nella competizione.

Infine, vanno menzionate altre due competizioni istituite nell'ultimo biennio: Solar Decathlon China e Solar Decathlon Latin America and Caribbean. La prima è frutto di accordo siglato il 18 gennaio 2011 tra il DOE americano, l'Amministrazione Nazionale dell'Energia cinese (NEA), l'Università di Pechino e Applied Materials: con tale accordo, i due paesi rimarcano *"l'interesse comune nello sviluppo sostenibile economico e sociale, incoraggiando l'uso di risorse rinnovabili e riconoscono come l'energia solare sia un importante parte della loro collaborazione"*, così come cita il memorandum of understanding. La prima e unica edizione si è svolta nel 2013 a Datong e si avvale della presenza di 22 squadre proveniente da 35 università, con studenti da più di 35 nazionalità. Per quanto riguarda Solar Decathlon Latin America and Caribbean, si tratta della più recente istituzione che va ad aggiungersi alle tre versioni sopracitate. Creata il 10 marzo 2014 in seguito all'intesa tra il Governo statunitense, il Ministro delle Miniere e dell'Energia colombiano, il Dipartimento di Pianificazione Nazionale e l'Ufficio Maggiore di Santiago di Cali, farà la sua prima comparsa nel dicembre 2015 proprio nella città di Cali, Colombia.

Riassumendo, dalla comparsa del primo Solar Decathlon nel 2002, sono trascorsi più di tredici anni durante i quali l'evento ha raggiunto caratteri planetari, tanto da spingere altri paesi e continenti a emulare tale iniziativa: da qui, l'istituzione delle tre varianti Solar Decathlon Europe, Solar Decathlon China e Solar Decathlon Latin America and Caribbean; in questo arco temporale, sono state realizzate in totale 10 competizioni cui hanno preso parte più di 30.000 decatleti e coinvolto milioni di persone in tutto il mondo.

### 1.2.1. Liste dei partecipanti

Nelle tabelle in allegato A sono riportate tutte le università e le squadre che hanno preso parte alle diverse edizioni di Solar Decathlon nel corso degli anni; è interessante notare come la portata dell'evento abbia raggiunto un livello mondiale: considerevole è la varietà di nazionalità, paesi e continenti che si sono cimentati in queste competizioni, cui vanno sommate le innumerevoli richieste pervenute agli organizzatori da parte di ulteriori teams che, tuttavia, non stati in grado di superare le selezioni.

Nella tabella successiva sono riassunti i dati salienti riguardanti il numero di partecipanti a ciascuna edizione.

Tipo di Competizione	Anno	Località	N° Squadre	N° Università	N° Nazionalità
Solar Decathlon	2002	Washington DC,	14	15	2
Solar Decathlon	2005	Washington DC,	18	23	4
Solar Decathlon	2007	Washington DC,	20	23	5
Solar Decathlon	2009	Washington DC,	20	28	5
Solar Decathlon	2011	Washington DC,	19	27	5
Solar Decathlon	2013	Irvine, U.S.A.	19	29	4
Solar Decathlon Europe	2010	Madrid, Spagna	17	18	7
Solar Decathlon Europe	2012	Madrid, Spagna	18	34	11
Solar Decathlon Europe	2014	Versailles, Francia	20	50	16
Solar Decathlon China	2013	Datong, Cina	19	30	10

Tabella 3 – Numero di partecipanti a tutte le edizioni di Solar Decathlon.

### 1.2.2. I dieci contests

Durante il biennio tra un evento e l'altro, ciascun team ha il tempo di sviluppare la propria idea, progettare l'edificio e prevederne il comportamento reale; tuttavia, il fulcro della manifestazione è il periodo di contest, durante il quale i partecipanti sono tenuti ad assemblare il proprio edificio nel luogo prescelto dagli organizzatori e testarne il comportamento reale in opera.

Durante questo breve arco temporale, che in genere ammonta a una decina di giorni, gli edifici sono sottoposti a dieci contests, il cui scopo è determinare quanto le soluzioni proposte siano performanti, attraenti, vivibili e convenienti. I tests che ogni team è chiamato ad affrontare possono essere suddivisi in tre categorie:

- *Compiere attività*: a ciascuna squadra è chiesto di portare a termine determinati compiti che hanno l'obiettivo di simulare l'utilizzo dei prototipi in condizioni di esercizio ordinarie, proprio come se si trattasse di un'abitazione utilizzata quotidianamente da una generica utenza. Esempi di queste attività sono il lavaggio dei piatti, l'utilizzo della lavatrice, cucinare una cena, fare una festa, ecc.
- *Monitoraggio delle prestazioni*: per mantenere determinati livelli di comfort o garantire che il prototipo riesca ad assolvere a tutte le esigenze dell'utenza, è necessario monitorare le prestazioni dell'edificio in relazione a determinati criteri imposti dal regolamento.

Tipicamente, tali contests consistono nel mantenere la temperatura ambiente entro un determinato range di valori, analogamente con il contenuto di umidità nell'aria o la presenza di sostanze nocive, ecc.

- *Valutazione della giuria*: per tutti quegli ambiti non prettamente identificabili tramite un indice prestazionale computabile, una giuria di esperti di diversi settori è chiamata a valutare i progetti e indicarne il grado di rispondenza a determinati parametri canonici, seppur non oggettivi. Esempio tipico è l'estetica o l'ispirazione.

Per quanto riguarda le prime due categorie, esse vengono indicate come *parametri misurabili*: si tratta, infatti, di contests in cui è possibile determinare il livello raggiunto dall'edificio tramite delle misurazioni dirette della prestazione fornita: sono perciò oggettivi e inequivocabili; viceversa, la valutazione della giuria è chiamato *parametro giuridico*, proprio perché si basa sul giudizio personale e soggettivo dei membri della commissione, vista l'impossibilità di quantificare numericamente determinati aspetti della costruzione.

A ogni contests, è attribuito un punteggio; la somma dei punteggi totalizzati in ciascuno di essi decreta il punteggio totale, a meno di bonus o penalizzazioni per particolari pregi o carenze riscontrati durante lo svolgimento del contest. Chi raggiunge il punteggio totale più alto è decretato vincitore dell'edizione. Bisogna sottolineare che, a seconda del tipo di Solar Decathlon, ma anche nel corso degli anni, i punteggi attribuiti a ciascuna decalogo possono avere un peso differente sul totale dei punti disponibili; inoltre, sempre che si tratti della versione americana, europea, cinese o America Latina e Caraibi, perfino i dieci contests stessi sono soggetti a lievi differenze: ciò significa che nelle 4 differenti manifestazioni, i criteri per determinare i vincitori sono simili, ma non identici. Per assurdo, se prendessimo il primo classificato di un qualsiasi Solar Decathlon americano, non è scontato che questo possa raggiungere la prima posizione anche nella versione europea. Questa diversificazione, sebbene possa sembrare un elemento d'incoerenza tra le varie edizioni, tuttavia denota un buon grado di adattabilità e di elasticità della competizione che, a seconda del continente in cui si svolge, indirizza le proposte su tematiche tipiche del luogo ospitante. Inoltre, in un'ottica globale, porta a sviluppare idee su molteplici ambiti e maggiormente diversificati che, contrariamente, non sarebbero stati indagati.

Per chiarire meglio il meccanismo di selezione del vincitore, sono esplicitati di seguito i criteri di attribuzione dei punteggi a cui sono sottoposte tutte le squadre in gioco.

### 1.3. I regolamenti di valutazione della qualità delle proposte

#### 1.3.1. L'edizione americana di Solar Decathlon 2015

Prendendo come riferimento la futura edizione americana del 2015, che si terrà dall'8 al 18 ottobre presso l'Orange Country Great Park di Irvine, California, il punteggio totale disponibile è pari a 1000 punti, suddivisi equamente per i dieci contests: a ciascuna categoria, quindi, potranno essere assegnati fino a 100 punti. I primi cinque criteri sono quelli giuridici, soggetti a valutazione da parte della commissione, gli ultimi cinque, al contrario, sono quelli misurabili.

I dieci parametri oggetto di valutazioni sono i seguenti:

- **Architecture: 100 Punti (giuridico)**

La componente architettonica è un aspetto rilevante: i partecipanti sono tenuti a progettare degli edifici che rappresentano il perfetto connubio tra funzionalità ed estetica, in cui gli aspetti tecnologici e impiantistici sono perfettamente integrati con il design. I criteri di valutazione su cui si basa la giuria per l'assegnazione dei punteggi spaziano in tre macro-categorie:

*concept architettonico e approccio alla progettazione:* indica quanto un'idea architettonica chiara e pulita, ma al tempo stesso ispirata e piacevole, abbia guidato il processo di progettazione e quale risultato sia stato ottenuto in termini di coerenza in tutti gli elementi che costituiscono l'edificio;

*adempimenti architettonici e innovazione:* sono valutati i risultati ottenuti nell'applicazione del concept progettuale, ovvero la capacità di aver utilizzato nella maniera innovativa i diversi elementi architettonici (citandone alcuni: proporzioni e scala, connessioni interno/esterno, composizione, distribuzione, materiali, ecc.), tramite una progettazione di tipo olistico in cui tutto è perfettamente integrato, così da creare un spazio abitativo confortevole per gli abitanti interni e al tempo stesso in armonia con l'ambiente circostante;

*documentazione:* è valutata la qualità e l'efficacia dei disegni, delle specifiche tecniche, delle presentazioni audio-visive in fase preliminare all'arrivo in sito, nonché la conformità e l'adeguatezza di suddetta documentazione a quanto effettivamente realizzato.



- **Market Appeal: 100 Punti (giuridico)**

I prototipi devono essere pensati con riferimento a uno specifico target di clientela, la cui scelta è ad appannaggio della squadra. I criteri per definire tale corrispondenza sono:

*vivibilità*: esprime quanto sia confortevole, agevole, sicuro, funzionale il livello di vita all'interno dell'edificio, in relazione ai bisogni del potenziale cliente, considerando la modalità con cui tali bisogni sono stati soddisfatti (luce appropriata, intrattenimento, sistemi di gestione, ecc.);

*impatto sul mercato*: indica quanto il prototipo rappresenta un oggetto attraente da punto di vista commerciale, che possa rappresentare un valore aggiunto per i potenziali compratori, e in che modo le sue caratteristiche architettoniche e tecnologiche, così come le strategie sostenibili, possano contribuire al suo successo sul mercato.

*cantierabilità*: valuta l'accuratezza della documentazione che permetta agli appaltatori un'accurata stima dei costi di costruzione e l'effettiva costruzione del prototipo come da progetto.

- **Engineering: 100 Punti (giuridico)**

Sono presi in considerazione tutti gli aspetti ingegneristici, fra cui:

*innovazione*: si stabilisce l'unicità e la modernità delle soluzioni adottate, nonché l'integrazione tra design e tecnologia e il potenziale impatto delle innovazioni sul mercato;

*funzionalità*: esprime le performance raggiunte dall'edificio in relazione al comfort dell'utenza, realizzate tramite gli approcci progettuali e l'efficienza dei sistemi impiantistici finalizzati al minor consumo energetico;

*efficienza*: sono valutati i risultati raggiunti in termini di efficienza energetica rispetto a sistemi tradizionali e le modalità con cui l'approccio ingegneristico e i sistemi di gestione possano contribuire al risparmio energetico;

*affidabilità*: indica quanto gli aspetti manutentivi e i sistemi tecnologici/impiantistici incidano sull'operatività dell'abitazione a lungo termine;

*documentazione*: è valutata la qualità e l'efficacia della documentazione grafica, delle specifiche tecniche, delle presentazioni audio-visive in fase preliminare all'arrivo in sito,

nonché la conformità e l'adeguatezza di suddetta documentazione a quanto effettivamente realizzato.

- **Communications: 100 Punti (giuridico)**

Per scopi educativi verso il pubblico e i partecipanti, ciascuna squadra deve essere in grado di esibire il proprio progetto nella maniera chiara, efficace e diretta. La documentazione oggetto di valutazione è composta da:

*strategia comunicativa*: efficacia dei messaggi educativi, chiarezza e consistenza;

*comunicazione elettronica*: efficace utilizzo dei media (sito internet, presentazioni audio-visive, ecc.), piacevolezza e facilità di comprensione;

*materiale espositivo*: efficacia della segnaletica in sito, creatività e originalità degli opuscoli informativi;

*presentazione pubblica*: interesse, curiosità e adeguatezza dei sistemi di comunicazione dimostrati durante la visita aperta al pubblico;

*presentazione audiovisiva*: interesse suscitato e adeguatezza della presentazione audiovisiva.

- **Affordability: 100 Punti (giuridico)**

In relazione ai costi di costruzione, è possibile ottenere il massimo punteggio se non si sfora il tetto dei 250.000 \$; per un budget compreso tra tale cifra e 600.000 \$ il punteggio decresce linearmente, fino ad annullarsi in corrispondenza del superamento di tale soglia massima.

- **Comfort zone: 100 Punti (misurato)**

Il prototipo realizzato deve essere in grado di mantenere determinati livelli di comfort per un certo periodo di tempo per quanto concerne:

*temperatura a bulbo secco*: compresa tra 21,7 °C (71 °F) e 24,4 °C (76 °F);

*umidità relativa*: inferiore al 60%.

- **Appliances: 100 Punti (misurato)**

È simulato il comportamento dell'edificio tramite l'utilizzo delle apparecchiature domestiche, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

*frigorifero*: mantenere la temperatura interna, per un certo intervallo di tempo, compresa tra 1,11 °C (34 °F) e 4,44 °C (44 °F);

*refrigeratore*: mantenere la temperatura interna, per un certo intervallo di tempo, compresa tra -28,9 °C (-20 °F) e -1,5 °C (5 °F);

*lavaggio vestiti*: effettuare dei cicli completi di lavaggio in determinati intervalli temporali;

*asciugatura vestiti*: effettuare l'asciugatura dei panni in maniera attiva o passiva, fino a raggiungere il peso dei vestiti post lavaggio pari o inferiore a quello misurato prima del lavaggio;

*lavaggio stoviglie*: effettuare un lavaggio completo delle stoviglie in un certo periodo di tempo, durante il quale la temperatura interna deve raggiungere almeno 48.9 °C (120 °F);

*cucinare*: simulare l'utilizzo del piano cottura tramite la vaporizzazione di 2,268 kg (5 pounds) di acqua in un certo intervallo di tempo.

Qualora uno o più di questi requisiti non fosse soddisfatto, si ha un decremento del punteggio in relazione al calo di prestazione riscontrato.

- **Home life: 100 Punti (misurato)**

I decatleti sono tenuti a svolgere delle mansioni che rispecchiano il reale utilizzo dell'abitazione. Queste riguardano:

*illuminazione*: mantenere tutte le luci accese per un determinato periodo di tempo;

*produzione acqua calda*: devono essere prodotti più volte durante il contest 56,8 l (15 gal) di acqua calda alla temperatura media di 43,3 °C (110 °F) in un tempo massimo 10 minuti, destinati all'utilizzo in doccia;

*apparecchiature elettroniche*: utilizzare TV e computer per un determinato intervallo di tempo, a determinate condizioni (dimensione dello schermo, luminosità, ecc.);

*cena tra amici*: organizzare due cene per almeno 8 persone;

*serata film*: organizzare una serata dedicata alla proiezione di film per almeno 8 persone;

- **Commuting: 100 Punti (misurato)**

Ogni squadra, per ottenere il punteggio massimo, deve essere dotata un veicolo elettrico con il quale deve percorrere almeno 25 miglia (40,23 km) o più, in un tempo massimo di 2 ore; la carica della batteria elettrica è a carico del sistema impiantistico del prototipo, e quindi basato su fonti rinnovabili.

- **Energy balance: 100 Punti (misurato)**

Sono conteggiati i consumi e la produzione di energia dell'edificio durante un certo periodo temporale:

*energia consumata*: il punteggio massimo si ottiene contendo il consumo entro 175 kWh, con il limite massimo fissato a 300 kWh, oltre il quale si ha l'annullamento del punteggio;

*energia prodotta*: il punteggio massimo si ottiene raggiungendo la parità di bilancio (o eventuale bilancio positivo), mentre si ha punteggio nullo per valori inferiori alla soglia limite pari a -50 kWh.

Come accennato all'interno del paragrafo precedente, sono state riscontrate variazioni sensibili di regolamento nel corso delle edizioni, sia per quanto riguarda i criteri di valutazione dei singoli test (ad esempio, la temperatura da mantenere in ambiente), sia per quanto riguarda i contests stessi e le incidenze percentuali dei punteggi sul totale: si riporta, a titolo esemplificativo, il decalogo dell'edizione 2007, comparandolo a quello del 2015, utilizzato come riferimento. Si rimanda all'allegato B per una visione completa dei dieci contests di ogni edizione e la relativa distribuzione dei punti.

<b>Solar Decathlon 2007</b>		<b>Solar Decathlon 2015</b>	
<i>Decalogo</i>	<i>Punteggio</i>	<i>Decalogo</i>	<i>Punteggio</i>
Architecture	200	Architecture	100
Engineering	150	Market Appeal	100
Market Viability	150	Engineering	100
Communications	100	Communications	100
Comfort Zone	100	Affordability	100
Appliances	100	Comfort Zone	100
Hot Water	100	Appliances	100
Lighting	100	Home Life	100
Energy balance	100	Commuting	100
Getting Around	100	Energy balance	100
<b><i>Totale</i></b>	<b>1200</b>	<b><i>Totale</i></b>	<b>1000</b>

Tabella 4 – Confronto tra i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon americano.

### 1.3.2. Il regolamento di Solar Decathlon Europe 2014

Esattamente come avviene nell'edizione americana del 2015, il punteggio massimo raggiungibile da ogni team è pari a 1000 punti. I principi e la metodologia per determinare il vincitore sono indubbiamente analoghi; tuttavia, non vi è esatta corrispondenza tra i due regolamenti, sia per quanto concerne i contests e la relativa distribuzione dei punti, sia per quanto riguarda i parametri adottati per l'assegnazione degli stessi; merita una nota speciale l'inserimento all'interno del decalogo di voci specifiche per la valutazione della sostenibilità, dell'innovazione, dell'impatto urbanistico e del trasporto, che non vengono prese in considerazione nel modello americano.

Di seguito si riporta il decalogo riguardante la competizione Solar Decathlon Europe del 2014:

- **Architecture: 120 Punti (giuridico)**

L'attribuzione del punteggio segue essenzialmente gli stessi criteri adottati dalla versione statunitense, dando enfasi alla coerenza della proposta e alla verifica "in situ" dopo la realizzazione, alla distribuzione spaziale, alla progettazione illuminotecnica e alla scelta dei materiali.

- **Engineering and construction: 80 Punti (giuridico)**

Questo contest è assimilabile alla voce "engineering" della versione americana; nello specifico, sono presi in considerazione gli aspetti progettuali e costruttivi della gestione dei tempi e delle risorse di cantiere, del sistema strutturale, tecnologico ed impiantistici (idrico, elettrico e solare)

- **Energy Efficiency: 80 Punti (giuridico)**

A differenza del semplice "Energy Balance" che si riscontra nella manifestazione americana, Solar Decathlon Europe dà maggior risalto a tutti gli aspetti che concorrono a migliorare e ottimizzare le prestazioni energetiche dell'edificio; non si tratta solamente di valutare l'energia prodotta e consumata, ma anche come la progettazione integrata di tutti gli elementi possa apportare benefici in termini di risparmio dei consumi. In particolar modo, sono oggetto di analisi:

*efficienza dell'involucro*: soluzioni adottate e materiali selezionati;

*efficienza dei sistemi passivi*: comportamento stagionale dell'edificio in relazione alle forzanti esterne senza l'utilizzo di sistemi attivi per il controllo climatico interno;

*efficienza dei sistemi attivi*: soluzioni impiantistiche per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione;

*analisi energetica dell'edificio e stima dei consumi annuali*: presentazione e descrizione delle simulazioni energetiche effettuate e di ogni elemento che contribuisce all'efficienza energetica del modello;

*energia nascosta (embodied energy)*: valutazione dell'energia nascosta (embodied energy) e il suo possibile riutilizzo in scenari tecnologici futuri;

efficienza delle apparecchiature e dei meccanismi di risparmio energetico: tutte le installazioni che permettono di ridurre gli sprechi;

*efficienza migliorata grazie ai sistemi di gestione*: sistemi di gestione dell'edificio, manuali o automatici, che regolano il funzionamento dello stesso e il loro impatto sulle abitudini dell'utenza;

*efficienza dell'accoppiamento edificio-trasporti*: valutazione del funzionamento accoppiato tra produzione elettrica dell'edificio e il sistema di stoccaggio del veicolo.

- **Electrical Energy Balance: 120 Punti (misurato)**

Anche questo punto può essere paragonato al "Energy Balance" del Solar Decathlon americano; tuttavia, la valutazione è fatta in maniera più specifica in relazione ai seguenti aspetti:

*energia consumata al metro quadro*: non vi è un valore limite per l'attribuzione del punteggio massimo, ma la valutazione è pesata su tutti i partecipanti: chi consuma 2,5 volte in più di colui che risulta essere il più efficiente, ottiene zero punti;

*bilancio elettrico positivo*: anche in questo caso non è assegnato un valore univoco e predeterminato, ma il calcolo dei valori limite (A e B, kWh) è funzione della potenza fotovoltaica installata (X, kWp) secondo le seguenti relazioni:  $B = 56 \cdot X / 5$ ,  $A = B - 20 \cdot B / 56$ . Il punteggio massimo si ottiene se la produzione è maggiore di B;

*correlazione temporale tra energia prodotta e consumata*: viene misurata la contemporaneità tra il consumo di energia elettrica e la sua produzione: la massima efficienza e di conseguenza

il punteggio pieno, viene ottenuto in caso di perfetta contemporaneità tra domanda e produzione;

*regolazione tra edificio e rete*: si tratta di computare quanto l'edificio sollecita la rete a cui cede l'energia prodotta in eccesso e da cui riceve l'energia necessaria; l'obiettivo è di fornire energia alla rete durante le ore di maggior richiesta da parte degli utenti e viceversa. Per questo motivo, il massimo dei punti è attribuito a chi cede il maggior numero di kWh durante la fascia oraria compresa tra le 16:00 e le 22:00., mentre sono scalati dei punti a chi invece richiede energia durante quell'arco temporale;

*potenza di picco*: sono misurati i picchi ceduti e richiesti alla rete; il massimo dei punti si ottiene entro valori di 3 kWp, oltre il quale il punteggio decresce.

- **Comfort Conditions: 120 Punti (misurato)**

Analogamente alla versione statunitense, è valutata la capacità dell'edificio di mantenere determinati livelli con comfort all'interno dell'ambiente abitato per un determinato intervallo di tempo. I parametri misurati sono:

*temperatura*: mantenere un valore entro un range di 2 °C rispetto alla temperatura di riferimento (calcolata in funzione delle condizioni climatiche giornaliere);

*umidità relativa*: mantenere un livello di UR compreso tra 40% e 55%;

*qualità dell'aria, CO<sub>2</sub>*: mantenere i livelli di CO<sub>2</sub> al di sotto di 800 ppm;

*qualità dell'aria, VOC*: mantenere i livelli di VOC al di sotto di 30 µg/m<sup>3</sup>;

*luce naturale*: mantenere un valore di FLD pari al 4%;

*acustica*: potere fonoisolante di facciata  $\geq 42$ dB; tempo di riverbero dell'ambiente interno  $\leq 0,8$ s; misura interna del rumore prodotto dal HVAC  $\leq 25$  dB; misura esterna del rumore prodotto dal HVAC  $\leq 35$  dB

- **House Functioning: 120 Punti (misurato)**

Il funzionamento domestico intende misurare tutti i consumi delle varie apparecchiature utilizzate quotidianamente da qualsiasi abitante, tra cui:

*frigorifero*: mantenere la temperatura interna, per un certo intervallo di tempo, compresa tra 1 °C e 4,5 °C;

*refrigeratore*: mantenere la temperatura interna, per un certo intervallo di tempo, compresa tra  $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

*lavaggio vestiti*: effettuare dei cicli completi di lavaggio in determinati intervalli temporali, durante i quali la temperatura di lavaggio deve raggiungere almeno  $43,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

*asciugatura vestiti*: effettuare l'asciugatura dei panni in maniera attiva o passiva, fino a raggiungere il peso dei vestiti post lavaggio pari o inferiore a quello misurato prima del lavaggio;

*lavaggio stoviglie*: effettuare un lavaggio completo delle stoviglie in un certo periodo di tempo, durante il quale la temperatura interna della macchina deve raggiungere almeno  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

*forno*: mantenere la temperatura interna del forno, per un certo intervallo di tempo, pari a  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

*produzione acqua calda*: devono essere prodotti più volte durante il contest, 50 l di acqua calda per la doccia alla temperatura media di  $43\text{ }^{\circ}\text{C}$  in un tempo massimo 10 minuti;

*cucinare*: simulare l'utilizzo del piano cottura tramite la vaporizzazione di 2,3 kg di acqua in un certo intervallo di tempo;

*apparecchiature elettroniche*: utilizzare TV, computer e lettore DVD per un determinato intervallo di tempo, a determinate condizioni (dimensione dello schermo, luminosità, ecc.);

*cena tra amici*: organizzare due cene per almeno 8 persone;

*bilancio idrico*: misurazione del consumo idrico: chi consuma meno acqua in assoluto ottiene il punteggio pieno; in relazione a questo, sono pesati i punteggi per gli altri contendenti.

- **Communication and Social Awareness: 80 Punti (giuridico)**

Similmente alla versione americana, l'obiettivo è di comunicare il proprio manufatto in maniera chiara e semplice: per questo motivo, sono valutate l'efficacia nel presentare i progetti, l'efficienza delle strategie comunicative e la creatività.

- **Urban Design, Transportation and Affordability 120 Punti (giuridico)**

Si tratta di un contest che non è stato rilevato nelle versioni statunitensi. L'obiettivo è di inserire il prototipo in un contesto urbano reale e ipotizzare come la soluzione possa portare a



un miglioramento dello sviluppo urbano, integrandolo con un sistema di trasporto strategico e indagandone la fattibilità economica su scala urbana. I criteri adottati nella valutazione sono:

organizzazione spaziale delle abitazioni in relazioni alla mobilità urbana, territoriale e alle politiche di governo urbano locali: sono presi in analisi temi come l'utilizzo del terreno libero, la flessibilità nel proporre diverse tipologie abitative, l'ambiente urbano creato dall'edificio proposto, integrazione con i sistemi di trasporto, ecc.;

*fattibilità economica e modalità di produzione:* sono valutati aspetti inerenti i costi di costruzioni, la coerenza dei sistemi costruttivi e il loro potenziale di standardizzazione industriale, l'utilizzo del know-how locale, ecc.;

*accessibilità economica e impatto sul mercato:* indica quanto il progetto su scala urbana risulta attraente da punto di vista commerciale, come possa rappresentare un valore aggiunto per i potenziali investitori, e in che modo le sue caratteristiche architettoniche e tecnologiche, così come le strategie sostenibili, possano contribuire al suo successo sul mercato; vengono inoltre indagati gli aspetti economici legati ai costi di manutenzione, l'incidenza dell'utilizzo delle risorse rinnovabili e il tempo di ritorno dell'investimento, l'impatto economico delle strategie di trasporto, nonché le politiche finanziarie sugli affitti e l'integrazione con le politiche di social housing.

- **Innovation: 80 Punti (giuridico)**

Come per il caso precedente, questo test non trova un corrispettivo in Solar Decathlon America; consiste nel valutare gli aspetti più innovativi e radicali delle soluzioni proposte, non solo dal punto di vista dei componenti e delle tecnologie installate, ma anche nella rivisitazione di aspetti tradizionali in forma moderna e rivoluzionaria. Per questo motivo sono indagati gli aspetti di:

*innovazione architettonica:* ripensamento degli spazi abitativi, dell'utilizzo dei materiali, delle forme, della luce, ecc.;

*innovazione ingegneristica e costruttiva:* novità riguardanti i sistemi costruttivi e strutturali;

*innovazione nell'efficienza energetica:* nuove strategie attive o passive per il risparmio energetico, sistemi impiantistici integrati e soluzioni per aumentare l'efficienza, apparecchiature di nuova generazione, ecc.;

*innovazione nella progettazione urbanistica, nei trasporti e nell'accessibilità economica:* flessibilità nel trovare nuove soluzioni alla densità urbanistica integrandola con strategie per il trasporto urbano, nuove metodi per la commercializzazione del prodotto e sistemi economici innovativi atti a garantire l'accessibilità economica al più ampio spettro di popolazione possibile.

- **Sustainability: 80 Punti (giuridico)**

Al fine di contenere l'impatto ambientale degli edifici lungo tutto il ciclo di vita, dalla produzione dei materiali fino alla dismissione, passando per la fase di costruzione e di operatività, Solar Decathlon Europe ha deciso di inserire nel decalogo questo specifico contest, valutando i seguenti aspetti:

*sostenibilità architettonica:* strategie di comportamento passivo dell'edificio finalizzate al contenimento energetico, scelta dei materiali in relazione alla loro ecosostenibilità e al loro possibile riutilizzo, ottimizzazione delle risorse naturali;

*sostenibilità ingegneristica e costruttiva:* analisi del ciclo di vita dei prodotti secondo il principio a cascata, flessibilità delle soluzioni tecnologiche in relazione alle potenzialità di demolizione selettiva, contenimento dei consumi idrici e degli scarti di cantiere;

*sostenibilità nell'efficienza energetica:* strategie di contenimento dei consumi energetici tramite l'utilizzo di soluzioni impiantistiche altamente efficienti e con un basso grado di manutenzione richiesto, l'efficacia dello sfruttamento dell'energia solare;

*sostenibilità nella progettazione urbanistica, nei trasporti e nell'accessibilità economica:* fattori che determinano un miglioramento su scala sociale in relazione alle problematiche di densità abitativa o edilizia, con riferimento alla flessibilità delle soluzioni adottate e agli impatti delle strategie di trasporto, nonché l'ottimizzazione delle fasi di montaggio e smontaggio, il livello di manutenzione richiesta, e la fattibilità economica legata alla standardizzazione industriale.

Anche per quanto concerne Solar Decathlon Europe, nel corso delle tre edizioni disputatesi fino ad ora sono state riscontrate differenze nei criteri di valutazione dei singoli contests e nella distribuzione dei punteggi; a tal proposito, di seguito è presentato il confronto tra gli eventi del 2010, 2012 e 2014; si rimanda all'allegato C per ulteriori approfondimenti:

Solar Decathlon 2010		Solar Decathlon 2012		Solar Decathlon 2014	
<i>Decalogo</i>	<i>Punti</i>	<i>Decalogo</i>	<i>Punti</i>	<i>Decalogo</i>	<i>Punti</i>
Architecture	130	Architecture	120	Architecture	120
Engineering & Construction	80	Engineering & Construction	80	Engineering & Construction	80
Solar Systems	80	Energy Efficiency	80	Energy Efficiency	80
Electrical Energy Balance	130	Electrical Energy Balance	120	Electrical Energy Balance	120
Comfort Conditions	130	Comfort Conditions	120	Comfort Conditions	120
Appliances	80	House Functioning	100	House Functioning	100
Communication and Social Awareness	80	Communication and Social Awareness	80	Communication and Social Awareness	80
Industrialization and Market Viability	80	Industrialization and Market Viability	80	Urban Design, Transportation & Affordability	80
Innovation	80	Innovation	80	Innovation	80
Sustainability	80	Sustainability	100	Sustainability	100
<b>Totale</b>	<b>1000</b>	<b>Totale</b>	<b>1000</b>	<b>Totale</b>	<b>1000</b>

Tabella 5 – Confronto tra i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon Europe.

### 1.3.3. I Solar Decathlon China

La versione cinese del Solar Decathlon segue alla lettera il regolamento americano in ogni suo aspetto; le uniche eccezioni sono rappresentate da alcuni parametri delle sottocategorie (range di temperature da mantenere in ambiente, temperatura del freezer, ecc.) e, in particolare modo, dal quinto contest: il test di “Affordability” statunitense è sostituito con *applicazioni solari*. Sono valutati tutti gli aspetti riguardanti lo sfruttamento del sole, non solo come fonte di energia primaria, ma anche il suo contributo in termini di luce naturale. In particolar modo, i criteri che regolano l’assegnazione dei punti sono:

*sistemi*: è valutata l’utilizzo della luce solare diffusa e diretta, l’integrazione con l’architettura, l’ottimizzazione in relazione al contesto climatico, la sicurezza dei sistemi, l’efficacia della produzione energetica nel soddisfare la richiesta e la sua integrazione con la rete;

*efficienza*: è stimato il risparmio energetico rispetto a sistemi tradizionali, i requisiti manutentivi e la vita utile dei prodotti, nonché la stima della convenienza economica.

*documentazione*: è valutata la qualità e l’efficacia dei disegni, delle specifiche tecniche, delle presentazioni audio-visive in fase preliminare all’arrivo in sito, nonché la conformità e l’adeguatezza di suddetta documentazione a quanto effettivamente realizzato.

Si rimanda all'allegato D per maggiori dettagli.

#### 1.4. Caratteristiche architettoniche dei prototipi

Il regolamento di Solar Decathlon impone specifici limiti architettonici e progettuali da cui non è possibile derogare salvo rare eccezioni: sono definiti, ad esempio, gli ingombri massimi e minimi, le dimensioni in pianta, le potenze elettriche, l'applicazione di vegetazione, lo sfruttamento dell'acqua, e via dicendo; i regolamenti edilizi di riferimento adottati dall'edizione americana sono l'IRC-International Residential Code del 2012 e l'NEC-National Electric Code, mentre i regolamenti europei fanno riferimento alle normative vigenti nel paese che ospiterà la manifestazione. Le normative sono integrate da particolari specifiche riportate nel "Building Code" ufficiale della manifestazione. Come per i contests, sussistono lievi differenze tra le varie edizioni: si riportano le principali caratteristiche architettoniche relative a Solar Decathlon 2015 e Solar Decathlon Europe 2014.

Per prima cosa, sono fornite le dimensioni del lotto e della "Solar Envelope", ovvero le massime dimensioni consentite per il collocamento dell'edificio all'interno del lotto: gli ingombri in pianta variano dai 78x60 ft (18,3x23,8 m) dell'edizione americana, per un totale di circa 435 m<sup>2</sup>, ai 20x20 m di quella europea, corrispondenti a 400 m<sup>2</sup>. Lo sviluppo in altezza è definito dall'inclinazione di ciascun prospetto rispetto alla verticale, fino alla dimensione massima consentita, variabile tra i 5,5 m e 7 m circa a seconda dell'edizione: nel primo caso, l'inclinazione è perfettamente verticale pari a 90°, quindi un volume massimo consentito di poco inferiore ai 2400 m<sup>3</sup>; nel secondo, è definita tramite la proiezione a 7 m dell'ingombro in pianta dimezzata in ciascuna delle due dimensioni, per un volume totale di circa 1630 m<sup>3</sup>. Nessun componente, neppure nelle sue parti mobili e riconfigurabili (tipicamente i sistemi di oscuramento esterni), può eccedere i limiti spaziali così definiti:

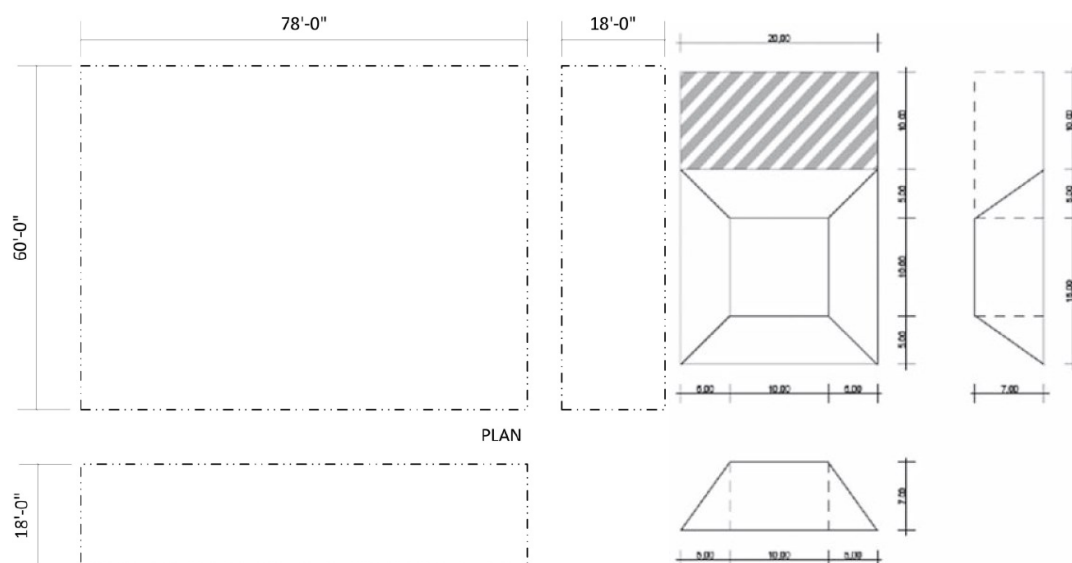


Fig. 4 – Solar Envelope americana (2015)<sup>9</sup>, a sinistra, ed europea (2014)<sup>10</sup> a destra.

Per quanto riguarda le dimensioni relative a ciascun prototipo, si è notato nel corso del tempo un progressivo aumento, atto a favorire l'uso sempre più spinto di sistemi solari passivi: la versione americana vincola le dimensioni massime alla superficie utile interna, variabile tra un minimo di 600 ft<sup>2</sup> (55,7 m<sup>2</sup>) a un massimo di 1000 ft<sup>2</sup> (92,9 m<sup>2</sup>). In Europa, invece, tali limiti sono più restrittivi: innanzitutto, è stabilita la massima impronta architettonica (dimensione lorda in pianta), pari a 150 m<sup>2</sup>; inoltre, per quanto riguarda l'area utile interna, i prototipi a singolo piano non devono essere inferiori a 40 m<sup>2</sup> o eccedere i 70 m<sup>2</sup>; tuttavia, la minore ampiezza planimetrica è compensata dalla possibilità di realizzare modelli pluripiano, estendendo tale limite fino a 110 m<sup>2</sup>.

Infine, in previsione dell'affluenza del pubblico e dell'ispezione dei membri della commissione, particolare attenzione è posta sui percorsi di accessibilità: si vuol garantire che ogni visitatore o giudice abbia la possibilità di visionare dettagliatamente il modulo abitativo, sia dall'esterno che dall'interno dell'edificio; per questo motivo, vanno identificati in maniera distinta l'ingresso e l'uscita dal prototipo, fornendo apposite vie d'accesso e di esodo.

<sup>9</sup> Fonte: <http://www.solardecathlon.gov>

<sup>10</sup> Fonte: <http://www.solardecathlon2014.fr>

## CAPITOLO II

### ANALISI COMPARATIVA

*“Dicebat Bernardus Carnotensis nos esse quasi nanos gigantium humeris insidentes, ut possimus plura eis et remotiora videre, non utique proprii visus acumine aut eminentia corporis, sed quia in altum subvehimur et extollimur magnitudine gigantea”.*

*(Diceva Bernardo di Chartres che noi siamo come nani sulle spalle di giganti, così che possiamo vedere più cose di loro e più lontane, non certo per l'acume della vista o l'altezza del nostro corpo, ma perché siamo sollevati e portati in alto dalla statura dei giganti).*

Giovanni da Salisbury, *Metalogicon III, 4, 1120-1180.*

#### 2.1. Introduzione al metodo

I progetti partecipanti al contest Solar Decathlon possono essere considerati come esempio di avanguardia ed eccellenza in merito a progettazione bioclimatica e sfruttamento di strategie passive. Conoscerne i contenuti permette di creare una libreria di soluzioni di appurata validità, da cui attingere anche in caso di progettazione “ordinaria”.

Per questa ragione si è deciso di analizzare un campione di prototipi, al fine di individuare strategie e soluzioni tecnologiche più ricorrenti; il campione di analisi risulta essere relativamente ristretto, tuttavia significativo, in quanto composto dai dieci progetti che hanno ottenuto il primo ed il secondo posto a partire dalle edizioni di Solar Decathlon World 2009 e Solar Decathlon Europe 2012; la scelta di tale periodo di analisi permette di indagare su soluzioni e tecnologie tutt'ora d'avanguardia.

Il primo passo intrapreso è coinciso con l'analisi dei punteggi totalizzati dai diversi team, per capire quali fossero i punti forti e le carenze dei progetti presentati. Data la disomogeneità presente tra i criteri di valutazione ed i punteggi tra i regolamenti dei differenti concorsi, è stato necessario uniformare i risultati, riportando gli scores in formato percentuale (punti ottenuti/massimo punteggio ottenibile) e comparando, per quanto possibile, categorie di valutazione affini.

L'analisi si pone lo scopo di determinare le relazioni intercorrenti tra le caratteristiche del prototipo, ossia la sua morfologia, le tecnologie costruttive impiegate e le scelte impiantistiche, e una serie di parametri derivati dai regolamenti Solar Decathlon: l'efficienza

energetica del modulo abitativo, la sostenibilità, il comfort interno, ecc.... Per semplicità di lettura e organicità dei risultati, gli output dell'analisi sono stati rappresentati tramite una matrice tridimensionale: nella direzione dell'asse X vengono rappresentate le scelte progettuali e tecnologiche; nella direzione dell'asse Y i parametri di valutazione, influenzati dalle scelte tecnologiche; lungo la direzione dell'asse Z vengono elencati i dieci casi presi in esame. La matrice così composta permette di esser letta in diverse direzioni, "per piani", fornendo di volta in volta una differente chiave di lettura.

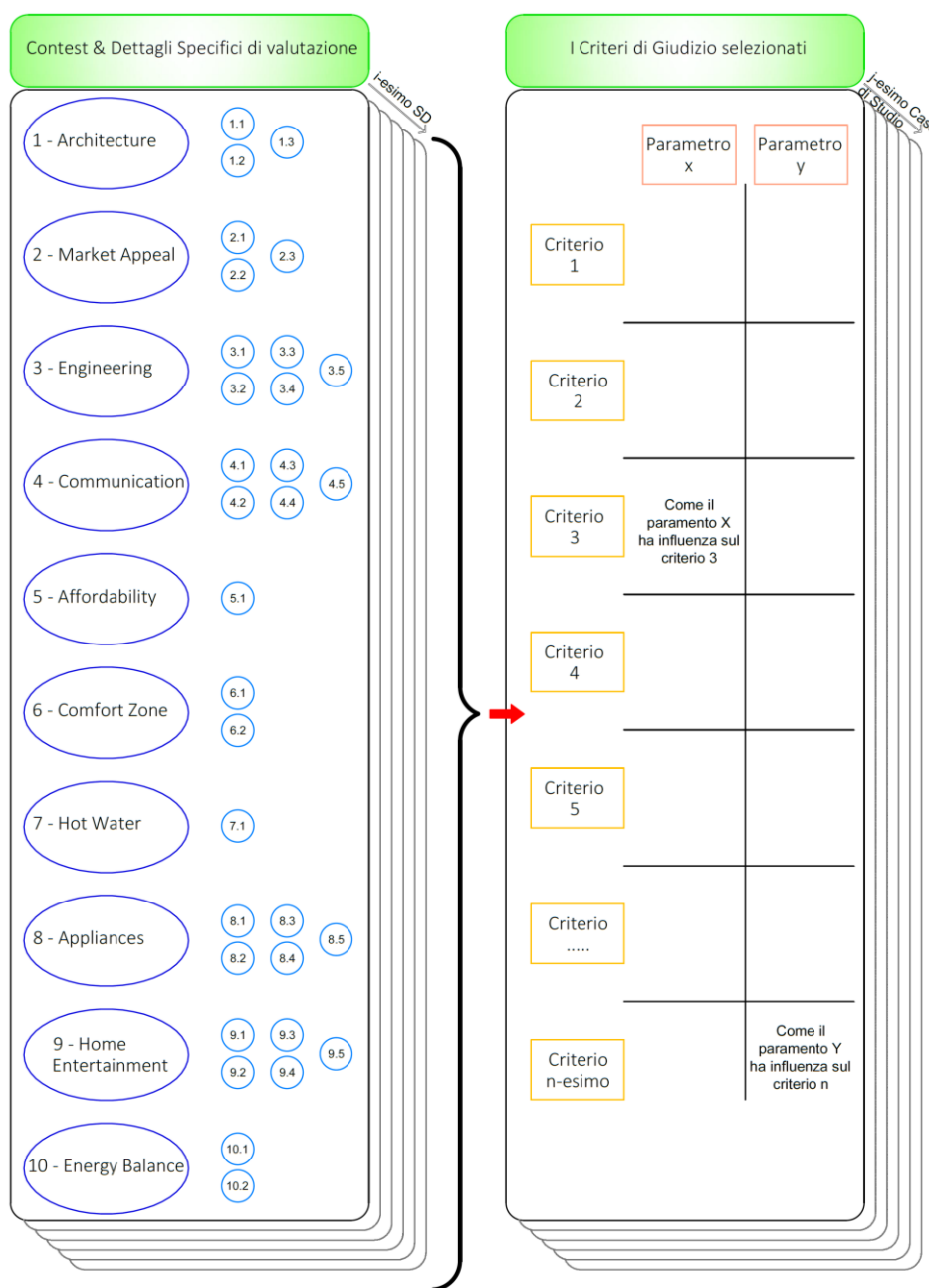


Fig. 5 – Sintesi del processo di analisi

## 2.2. Presentazione dei casi di studio

Si presenta ora una sintesi dei progetti presi in esame, riportando le peculiarità di ciascun prototipo e allegando le immagini essenziali per una migliore comprensione dei progetti. Per una più estesa documentazione grafica, si rimanda alla documentazione grafica riportata a fine elaborato.

### 2.2.1. C.01\_2009: Team Germany, Technische Universitat Darmstadt

Il primo classificato nella competizione Solar Decathlon 2009, svoltasi nel National Mall di Washington, D.C, è stata l'università di Darmstadt; il Team Germany ha ottenuto il primo posto nel test riguardante il comfort abitativo, nonché ed un'importantissima medaglia d'oro nella sfida sul bilancio energetico, con il vanto di aver totalizzato punteggio pieno in tale categoria.



*Fig. 6 - Team Germany, prospetti sud e ovest.<sup>11</sup>*

Il progetto di Team Germany si caratterizza per un involucro altamente tecnologico, che racchiude un open space versatile e riconfigurabile in funzione delle esigenze degli utenti; un soppalco aperto accoglie un'area più intima e privata senza però creare separazioni interne; anche il bagno risulta essere una stanza aperta su due lati ed in comunicazione diretta con l'ambiente principale: esso però può esser chiuso all'occorrenza grazie a due ampie porte.

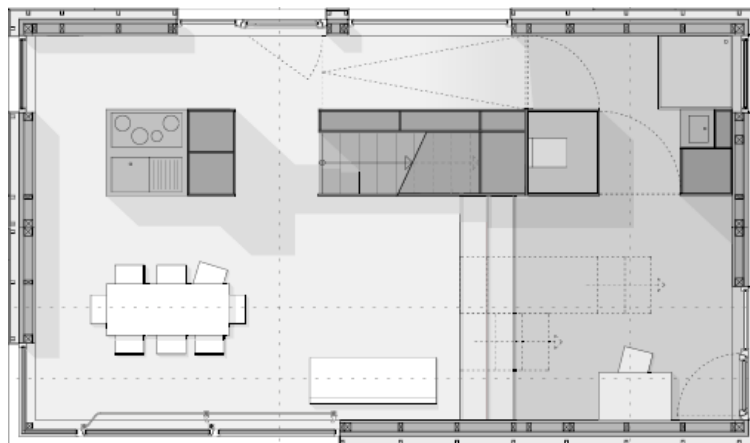
Pannelli fotovoltaici sono posti sia in copertura sia in facciata, dove assumono anche il ruolo di frangisole in corrispondenza delle aperture; la configurazione delle lamelle frangisole non è fissa, bensì può adattarsi alle necessità dell'utenza e alle condizioni esterne: ciò avviene grazie

---

<sup>11</sup> <http://www.tu-darmstadt.de/>



all'impiego di un piccolo motore elettrico che ne permette la rotazione, in modo da migliorarne l'esposizione al sole e regolare il flusso luminoso all'interno degli ambienti, nel caso dei pannelli frangisole.



*Fig. 7 - Team Germany, pianta arredata del piano.<sup>9</sup>*

Per ridurre i consumi energetici per il raffrescamento, Team Germany prevede una strategia con funzionamento a cascata. All'interno delle chiusure e del controsoffitto sono stati inseriti materiali a cambiamento di fase (PCM), con differenti temperature di attivazione; il primo meccanismo ad entrare in funzione è completamente passivo e riguarda i PCM delle chiusure verticali: essi accumulano calore durante il giorno e lo restituiscono durante la notte, quando la temperatura interna dell'edificio tende ad esser più bassa. La strategia a cascata prevede, come secondo meccanismo, l'attivazione dei PCM presenti nel controsoffitto: essi sono posizionati lungo le canalizzazioni della ventilazione meccanica e per il loro funzionamento è necessario che tale impianto sia in funzione: l'aria calda proveniente dall'ambiente, incontrando i PCM, vi cede calore, creando come effetto l'abbassamento della temperatura dell'aria stessa, in vista di una sua riemissione in ambiente; questa strategia è da considerarsi semi-passiva, poiché non può prescindere dalla presenza dell'impianto di ventilazione meccanica. Solo in ultima battuta si prevede l'intervento dell'impianto di climatizzazione estiva per il raffrescamento dell'aria, nel caso in cui l'unione delle prime due strategie non si fosse rivelato abbastanza significativo da garantire i livelli di comfort desiderati.

### 2.2.2. C.02\_2009: Gable House, University of Illinois

Il progetto dell'università dell'Illinois Gable House ha ottenuto la medaglia d'argento, classificandosi al secondo posto nella classifica generale di Solar Decathlon 2009 e pari

piazzamento nel test sul bilancio energetico dell'edificio; il prototipo si rivela estremamente funzionale e versatile, tanto da guadagnarsi il primo gradino del podio nella categoria "Home Entertainment", "Hot Water" e "Appliances".



*Fig. 8 - Gable House, vista dei prospetti sud ed ovest.<sup>12</sup>*

L'edificio è caratterizzato da una geometria semplice e lineare, con chiari rimandi all'architettura vernacolare delle campagne del midwest, fatta di fienili a due falde e facciate rivestite in legno. La presenza di membri con formazione e conoscenze molto diverse all'interno del team di progettazione ha fatto sì che la Gable House venisse dotata di componenti impiantistici realizzati ad hoc, per ottimizzarne le prestazioni. Grande attenzione è stata data alla scelta delle dimensioni e della collocazione delle aperture, nonché alle prestazioni dell'involucro edilizio. Interessante, infine, è la scelta di includere materiali di recupero provenienti dalla demolizione di vecchie fattorie, per rimarcare non solo esteticamente, ma anche materialmente, la continuità con la tradizione e le radici culturali di ispirazione.

---

<sup>12</sup> Fonte: <http://2009.solardecathlon.illinois.edu/index.asp>

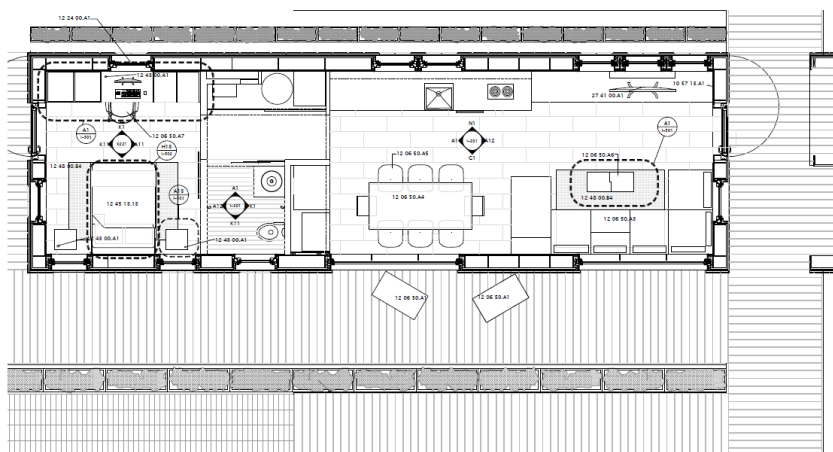


Fig. 9 - Gable House, Pianta arredata.<sup>9</sup>

### 2.2.3. C.03\_2011: WaterShed, University of Maryland

Il gruppo di progettisti dell'università del Maryland ha ottenuto la medaglia d'oro nella classifica generale del Solar Decathlon 2011 con il progetto WaterShed; la giuria del concorso ha assegnato il primo posto al prototipo in esame nella categoria "Architecture" e "Energy Balance"; esso ha inoltre raggiunto notevoli successi nelle categorie riguardati le prestazioni di comfort abitativo e fruitivo degli spazi.



Fig. 10 – WaterShed, vista dei prospetti sud e ovest.<sup>13</sup>

Come il nome stesso suggerisce, il progetto WaterShed riserva un ruolo di primaria importanza all'acqua. È prevista, infatti, la presenza di una vasca centrale d'acqua, con funzione di accumulo e di filtraggio per le acque grigie, destinate al reimpiego per l'irrigazione. La geometria delle falde della copertura è tale da convogliare l'acqua piovana nella suddetta

<sup>13</sup> Fonte: <http://inhabitat.com>

vasca, aumentando così l'indipendenza idrica dell'unità. Per raggiungere indipendenza energetica, il modulo abitativo prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici in copertura e di collettori solari posti in posizione verticale lungo il fronte meridionale, come proseguimento della chiusura verticale, con funzione di sistema schermante per l'ingresso dell'edificio.

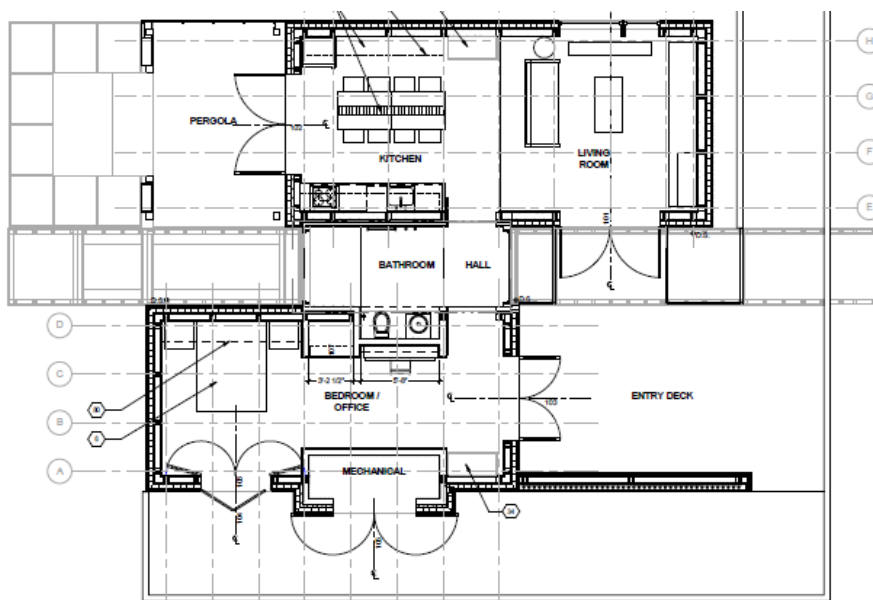


Fig. 11 – WaterShed, pianta arredata.<sup>9</sup>

Una peculiarità del progetto è la presenza di un sistema atto al controllo dell'umidità interna: tramite una Liquid Dessicant Waterfall (LDW) è infatti previsto di asportare l'umidità in eccesso e, con essa, parte della frazione latente del carico di raffrescamento. Il funzionamento della LDW si basa sulla presenza di una soluzione salina altamente concentrata: essa viene fatta scorrere lungo un'apposita porzione di parete all'interno dell'edificio, permettendone un contatto diretto con l'aria interna; la soluzione salina tende ad assorbire umidità, mirando ad una propria diluizione, ma diminuendo di fatto il quantitativo di vapor d'acqua all'interno dell'edificio. Il ciclo si chiude con la rigenerazione della soluzione salina: essa riceve dai collettori solari la quantità di calore necessaria all'evaporazione dell'acqua in eccesso, ritornando alla configurazione iniziale. Il meccanismo funziona, di fatto, con due frazioni di soluzione salina: mentre la frazione A si trova all'interno dell'edificio e sta asportando umidità, la frazione B è in fase di rigenerazione; successivamente, al completo ripristino delle condizioni iniziali della frazione B, vi sarà un'inversione dei ruoli, con lo spostamento della massa A in posizione di rigenerazione e la collocazione della massa B all'interno dell'edificio.

#### 2.2.4. C.04\_2011: INhome, Purdue University

INhome ha conquistato il secondo posto nella classifica generale di Solar Decathlon 2011, raggiungendo importanti piazzamenti in diverse categorie fondamentali: il pieno punteggio nella categoria “Energy Balance” è valso un primo posto al team, mentre un eccellente piazzamento nella categoria riguardante il comfort abitativo ha rivelato la bontà del progetto in esame, abbinato ad un’attenta gestione dei costi.



*Fig. 12 – INhome, vista del prospetto sud.<sup>14</sup>*

Sebbene l’aspetto esteriore dell’edificio sia estremamente legato alla tradizione americana, INhome rappresenta una versione ottimizzata della classica villetta statunitense. La dimensione e la posizione di ogni apertura e ogni oggetto è stata studiata per via parametrica, al fine di ottenere la forma di involucro più performante: l’inserimento di lucernari favorisce la ventilazione naturale e il posizionamento della maggior parte delle aperture sul fronte sud migliora le condizioni di illuminazione naturale, pur consentendo un buon grado di controllo sulla radiazione in ingresso durante i mesi più caldi grazie ad oggetti e schermature.

---

<sup>14</sup> Fonte: <http://openbuildings.com>

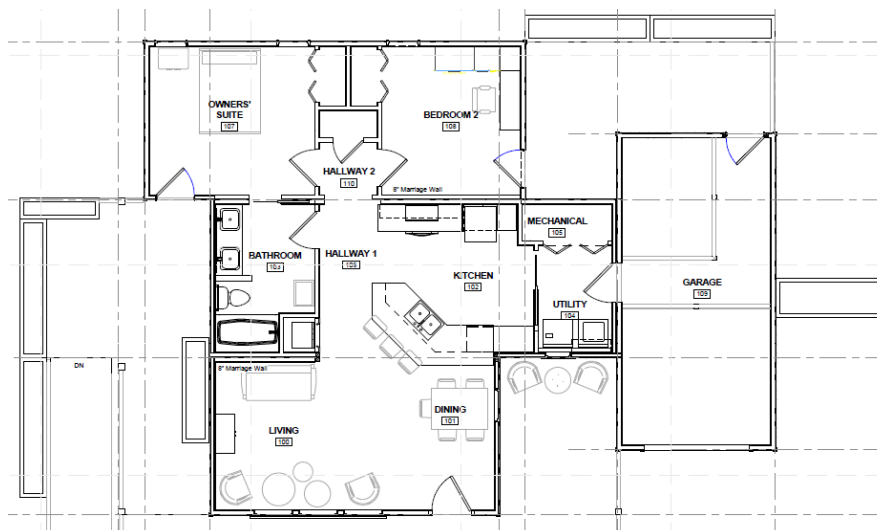


Fig. 13 – INhome, pianta arredata.<sup>9</sup>

Elemento caratterizzante del progetto è sicuramente la presenza di un BioWall, un sistema di biofiltraggio rigenerativo dell'aria: l'impiego di vegetazione per il controllo della qualità dell'aria e dell'umidità negli ambienti interni consente una miglior gestione delle performance del sistema di ventilazione e raffrescamento, in quanto agisce direttamente sulla frazione latente del carico complessivo da smaltire; il funzionamento duale consente un controllo dell'umidità anche in stagione invernale, quando il problema è rappresentato dall'eccessiva secchezza dell'aria.

#### 2.2.5. C.05\_2012: Canopea, Team Rhone-Alpes

Oltre ad essere i vincitori globali dell'edizione Europea 2012, Team Rhone-Alpes ha ottenuto il primo posto in diversi altri test, tra cui "Architecture", "Comfort Conditions", "House Functioning" e "Innovation", e la seconda posizione in "Communication and Social Awareness" e "Industrialization and Market Viability"; tutto ciò testimonia gli ottimi risultati perseguiti in svariati ambiti.



*Fig. 14 – Canopea, vista dei prospetti sud e ovest.<sup>15</sup>*

L'edificio nasce come risposta al problema della densità abitativa nella regione di Rhone-Alpes; il prototipo rappresenta l'ultimo piano di ciò che il Team ha denominato Nanotower, ovvero una pila di singole unità abitative con un piano comune in sommità; per questo motivo, la proposta francese si sviluppa su due piani: il primo comprende un elemento prefabbricato compatto contenente gli impianti tecnici ("Core"), la camera matrimoniale e un ampio spazio flessibile e riconfigurabile la cui funzione si adatta all'esigenze dell'utenza (seconda camera, ufficio, salotto, ecc.); il secondo piano costituisce invece lo spazio comune e viene utilizzato come ritrovo sociale o per svolgere mansioni quotidiane quali il lavaggio e l'asciugatura dei vestiti.

<sup>15</sup> Fonte: <https://www.flickr.com/photos/sdeurope/>

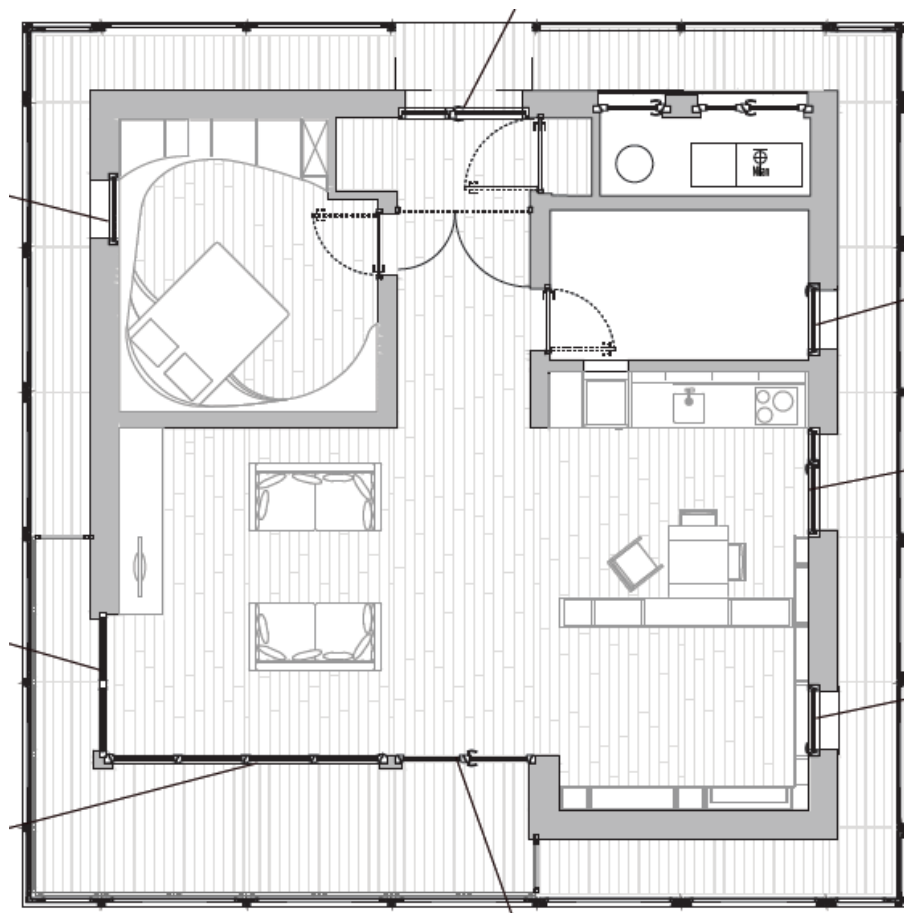


Fig. 15 – Canopea, pianta arredata.<sup>16</sup>

Caratteristica principale del prototipo è la suddivisione degli elementi tecnici in “Core”, “Skin” e “Shell”, ovvero in blocco tecnico, involucro estremamente performante, ed esoscheletro addizionale in vetro che circonda su cinque lati l’edificio, come una seconda pelle: esso conferisce estrema flessibilità della distribuzione interna e delle aperture. In particolare, lo “Shell” è dotato di serramenti apribili, lamelle in vetro movibili per la ventilazione e oscuramenti esterni per la regolazione degli apporti solari. Da rimarcare è la presenza nella superficie vetrata in copertura di celle solari integrate nel vetrocamera (BIPV): questa soluzione tecnologica permette di produrre energia e simultaneamente di abbattere la quota di radiazione solare entrante in ambiente. Si nota, infine, che questo esoscheletro funziona come una sorta di serra esterna o spazio cuscinetto, il cui scopo è di mitigare il salto termico tra temperatura interna ed esterna e smorzare l’onda acustica incidente sulla facciata, a vantaggio delle condizioni di comfort interne.

<sup>16</sup> Fonte: <http://www.sdeurope.org>



### 2.2.6. C.06\_2012: Patio 2.12, Andalusia Team

Patio 2.12, progettato dal Team Andalusia, è il secondo classificato dell'edizione Solar Decathlon Europe 2012; ha, infatti, ottenuto la prima posizione nei contests di "Energy Efficiency", "Electrical Energy Balance" e "Communication and Social Awareness", mentre risulta essere la seconda nelle categorie "Innovation" e "Sustainability".



*Fig. 16 – Patio 2.12, vista dei prospetti sud e ovest.<sup>17</sup>*

Il prototipo è pensato in maniera componibile e flessibile, essendo formato da quattro moduli prefabbricati indipendenti, ognuno con la propria funzione ben distinta, ma interconnessi tra loro tramite un ampio spazio centrale che espande la dimensione interna dei moduli stessi e che rappresenta il cuore stesso dell'edificio: si tratta di una reinterpretazione in chiave moderna del tipico patio mediterraneo. Tale cortile interno si presta a rivestire funzioni diverse a seconda delle esigenze dell'utenza; esso lavora come regolatore climatico tra i vari moduli e garantisce la necessaria adattabilità e flessibilità in fase progettuale: è possibile, infatti, comporre l'edificio con blocchi variabili in numero e dimensioni e modificare la configurazione del patio a seconda dei moduli. Ciascun blocco è dotato di sistemi solari dedicati, appositamente dimensionati sul singolo modulo, permettendo una miglior gestione dei sistemi impiantistici; ne risulta che ogni modulo è un'unità energeticamente indipendente ed autosufficiente.

---

<sup>17</sup> Fonte:

[http://www.bustler.net/index.php/article/french\\_team\\_wins\\_the\\_2012\\_solar\\_decathlon\\_europe](http://www.bustler.net/index.php/article/french_team_wins_the_2012_solar_decathlon_europe)



Fig. 17 – Patio 2.12, pianta arredata.<sup>16</sup>

Altro elemento peculiare della proposta spagnola è la gestione dell'acqua: oltre al recupero dell'acqua piovana e delle acque grigie per l'irrigazione, sono stati creati degli stagni al fine di modificare il microclima nei pressi delle facciate, mitigando gli effetti della radiazione solare; inoltre, è stato realizzato un rivestimento di facciata in ceramica con funzionamento evaporativo garantito da un sistema d'irrigazione: l'acqua da stagno viene convogliata nell'intercapedine della facciata ventilata al fine di abbassare la temperatura interstiziale tramite evaporazione, mentre l'aria così raffrescata è trasportata all'interno dell'edificio per mitigare i carichi termici estivi e successivamente espulsa in copertura tramite l'adozione di camini solari. La flessibilità dei moduli, infine, si è riscontrata anche in fase di decostruzione: è possibile riutilizzare ogni singolo modulo in maniera indipendente ed, eventualmente, collocarlo direttamente in altri edifici.

### 2.2.7. C.07\_2013: Lisi – The house, Team Austria

Lisi è il progetto vincitore dell'edizione Solar Decathlon 2013; esso ha conseguito il pieno punteggio, e quindi il primo posto, nella categoria di bilancio energetico, nonché importanti riconoscimenti per quanto riguarda la comunicazione e le scelte strategiche di posizionamento sul mercato, che implicano la piacevolezza di fruizione degli spazi.



*Fig. 18 – Lisi, vista dei prospetti sud ed est<sup>18</sup>*

La peculiarità del progetto Lisi è da individuarsi nella grande flessibilità spaziale che esso offre; l'ambiente interno è costituito da un arioso open space, che può essere ampliato grazie all'apertura dei fronti nord e sud, totalmente vetrati, che si affacciano sul patio coperto: in questo modo, si viene a creare un nuovo ambiente nel quale i confini tradizionali tra spazio interno ed esterno sono sostituiti da un limite molto più labile e versatile. La frazione trasparente dell'involucro è predominante: per il controllo della radiazione solare, Lisi si affida ad un complesso sistema di aggetti mobili e tende esterne, che migliorano anche la privacy dell'alloggio. La possibilità di avere due interi fronti totalmente apribili rende l'edificio estremamente predisposto alla ventilazione naturale.

---

<sup>18</sup> Fonte: <http://www.solardecathlon.at/lisi-finishedca/>

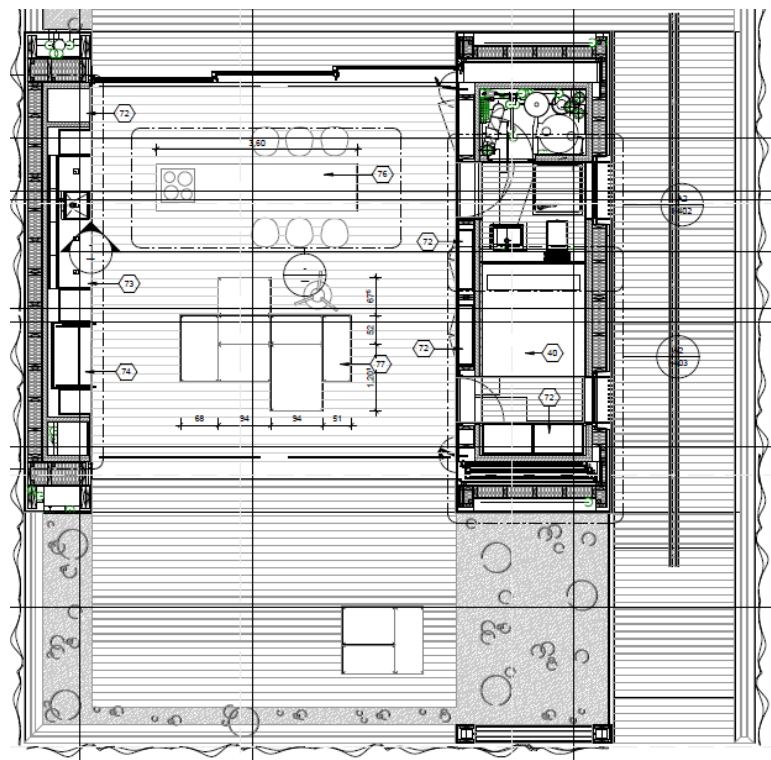


Fig. 19 – Lisi, pianta arredata.<sup>9</sup>

### 2.2.8. C.08\_2013: DesertSol, University of Nevada, Las Vegas

DesertSol ha conquistato il secondo gradino del podio nel contest dell'anno 2013; a pari merito con il progetto vincitore, anche il team di Las Vegas ha ottenuto punteggio pieno nella categoria di "Energy Balance", oltre al primo posto in "Market Appeal": la giuria ha decretato che la vivibilità degli spazi interni, la facilità di costruzione e il target a cui si rivolge rendono l'edificio assai appetibile al pubblico.

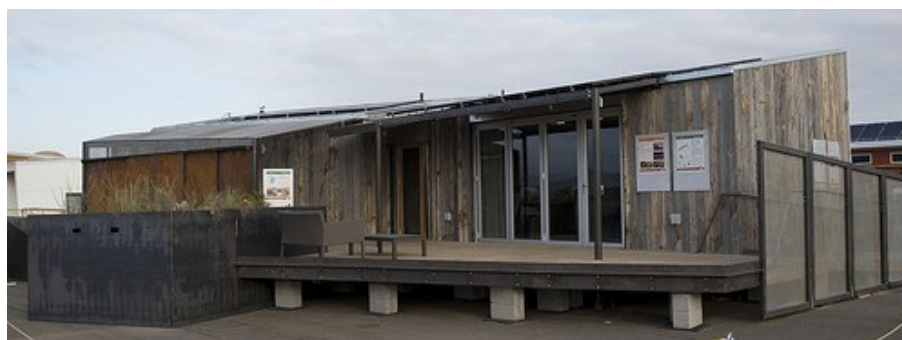


Fig. 20 – DesertSol, vista del prospetto sud.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Fonte: <http://solarnv.org/2013/11/november-meeting/>

Il progetto DesertSol, come il nome stesso suggerisce, è incentrato sulla corretta gestione degli apporti solari; progettato dal team dell'università di Las Vegas e pensato per esser lì realizzato, affronta principalmente il tema della gestione dei carichi solari, facendo ricorso a strategie di controllo passivo per minimizzare il ricorso ad impianti meccanici in ogni periodo dell'anno. La maggior parte delle aperture è posta sul fronte meridionale, grazie alla facilità di controllo della radiazione entrante durante i mesi estivi mediante aggetti: essi funzionano da schermatura per i raggi estivi più alti, mentre non rappresentano un ostacolo per l'ingresso della radiazione nel periodo invernale, quando il sole è più basso nel cielo.

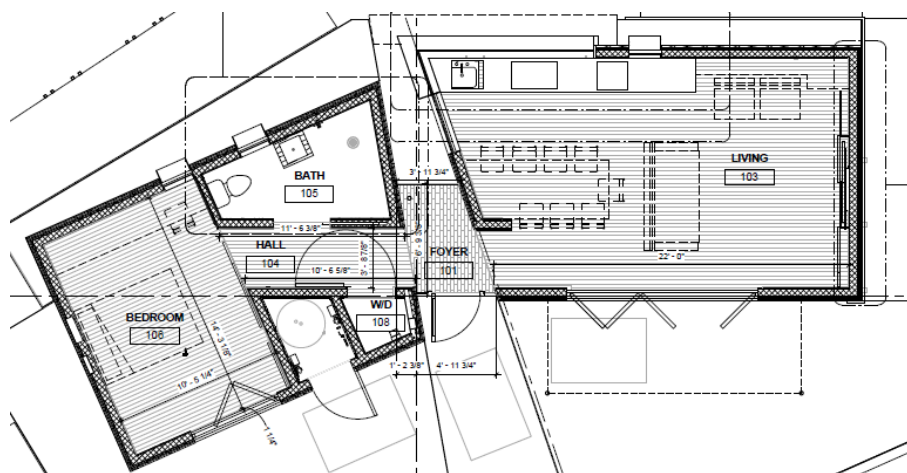


Fig. 21 – DesertSol, pianta arredata.<sup>9</sup>

Lo spazio interno è suddiviso in due moduli, individuabili anche dal layout esterno: una zona living, pubblica, e un'area privata comprendente bagno e camera da letto. Il prototipo è improntato su principi di sostenibilità che si declinano sia durante la quotidiana gestione sia in fase di costruzione: sono stati infatti selezionati legnami e materiali locali ad ampia diffusione, per minimizzare l'impronta di CO<sub>2</sub> dovuta al trasporto su lunghe distanze.

#### 2.2.9. C.09\_2014: Rhome for denCity, Università degli Studi Roma Tre

La soluzione italiana Rhome for denCity si è classificata in prima posizione nell'edizione europea di Solar Decathlon 2014, in particolar modo rivelandosi vincente nel contest "House Functioning" e con altrettanto buoni piazzamenti per quanto concerne "Architecture" e "Comfort Conditions" (seconda posizione) e "Innovation" (terza posizione).



*Fig. 22 – Rhome for denCity, vista dei prospetti sud ed est.<sup>20</sup>*

L'edificio si sviluppa con l'asse maggiore orientato lungo la direzione Est-Ovest, con la realizzazione di due logge alle estremità; il cuore pulsante dell'edificio è rappresentato dal "3D Core", ovvero un blocco prefabbricato compatto situato in posizione baricentrica che comprende il locale bagno, la cucina e i vani tecnici impiantistici. Tale collocazione è pensata per ridurre al minimo l'impatto del sistema di distribuzione e, al tempo stesso, garantire maggiore flessibilità nella distribuzione interna, che trova riscontro nelle possibilità di riconfigurare gli ambienti per assolvere funzioni diverse. Particolare attenzione è stata posta sul comportamento passivo dell'edificio: dall'orientamento, all'utilizzo della ventilazione naturale realizzata tramite le logge e i lucernari per sfruttare l'effetto camino, fino all'applicazione di chiusure a secco con rivestimento capacitivo in sabbia al fine di smorzare e sfasare i carichi termici.

---

<sup>20</sup> Fonte: <http://www.rhomefordencity.it/SDE/ita/>

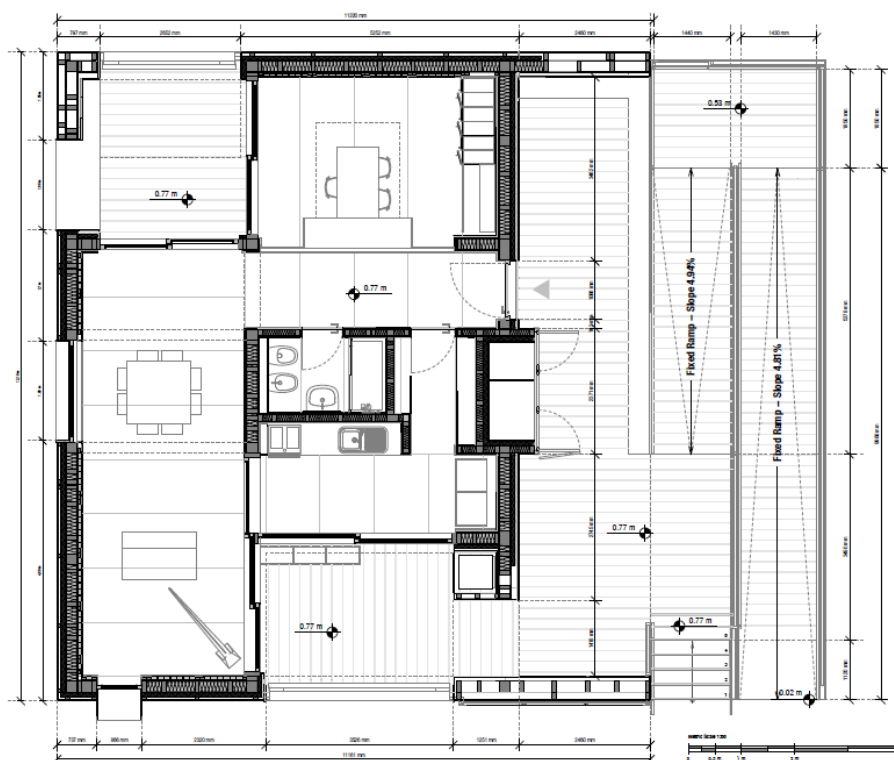


Fig. 23 – Rhome for denCity, pianta arredata.<sup>10</sup>

L'elemento più caratteristico del prototipo è la loggia a sud, vero e proprio centro di produzione solare; un innovativo pannello fotovoltaico scorrevole consente di aprire e chiudere completamente la loggia, massimizzando gli apporti solari nel periodo invernale o schermando le chiusure trasparenti dalla radiazione diretta nel periodo estivo; tale sistema consente anche una configurazione intermedia grazie alla possibilità di far ruotare solamente la parte verticale del pannello. Si sottolinea, infine, che la balaustra della loggia ospita il "Solar Box", ovvero un pannello solare ibrido che, oltre a sfruttare l'energia solare, sottrae calore all'aria circostante, garantendo una miglior efficienza di entrambi i sistemi solari (PV scorrevole e PV/T stesso), abbattendo le temperature all'interno della loggia stessa (in configurazione chiusa del PV).

#### 2.2.10. C.10\_2014: Prêt à Loger – Delft University of Technology

Il progetto Prêt à Loger dell'università di Delft ha raggiunto la terza posizione nell'edizione Solar Decathlon Europe 2014; risultati apprezzabili sono stati conseguiti nei contests di "Sustainability" e "Communication and Social Awareness" (primo classificato) e "Energy Efficiency" (secondo classificato).



*Fig. 24 – Prêt à Loger, vista dei prospetti sud ed est.<sup>21</sup>*

A differenza di quanto visto finora, il prototipo vuole ricreare un caso di rifunzionalizzazione spaziale ed energetica di un edificio realmente esistente in Olanda e testare la bontà delle soluzioni adottate; per questo motivo, è stata ricreata la geometria, seppur con tecnologie differenti, dell'abitazione bipiano oggetto di studio, a cui è stata applicata esternamente sulla facciata e sulla falda esposte a sud una "seconda pelle" in acciaio e vetro; tale soluzione ha diverse funzioni: innanzitutto, agisce come spazio cuscinetto per mitigare il salto termico interno-esterno e smorzare l'onda acustica incidente in facciata; inoltre, consente di ampliare lo spazio interno, rendendolo abitabile in ogni periodo stagionale (completamente chiuso in inverno, completamente aperto in estate a formare un tutt'uno con il giardino privato antistante, parzialmente aperto/chiuso nelle mezze stagioni); infine, il vetrocamera ospita le celle fotovoltaiche per la produzione di energia elettrica, i pannelli solari ibridi, nonché i sistemi di schermatura per la regolazione degli apporti, tutti perfettamente integrati tra di loro al fine di aumentare l'efficienza dei sistemi.

Altra caratteristica è l'utilizzo di chiusure a verde, sia in copertura sulla falda nord, sia a parete all'interno del volume vetrato; non è previsto l'utilizzo di un sistema impiantistico di raffrescamento, viste le condizioni ambientali olandesi, ma molta attenzione è posta sulla ventilazione naturale: le vetrate sono apribili in facciata e parzialmente in copertura, in modo

<sup>21</sup> Fonte: <http://www.pretaloger.nl>



da sfruttare l'effetto camino all'interno del volume; inoltre, è possibile immettere aria raffrescata grazie all'utilizzo di materiali a cambiamento di fase, collocati lungo la rete di immissione dell'aria esterna.

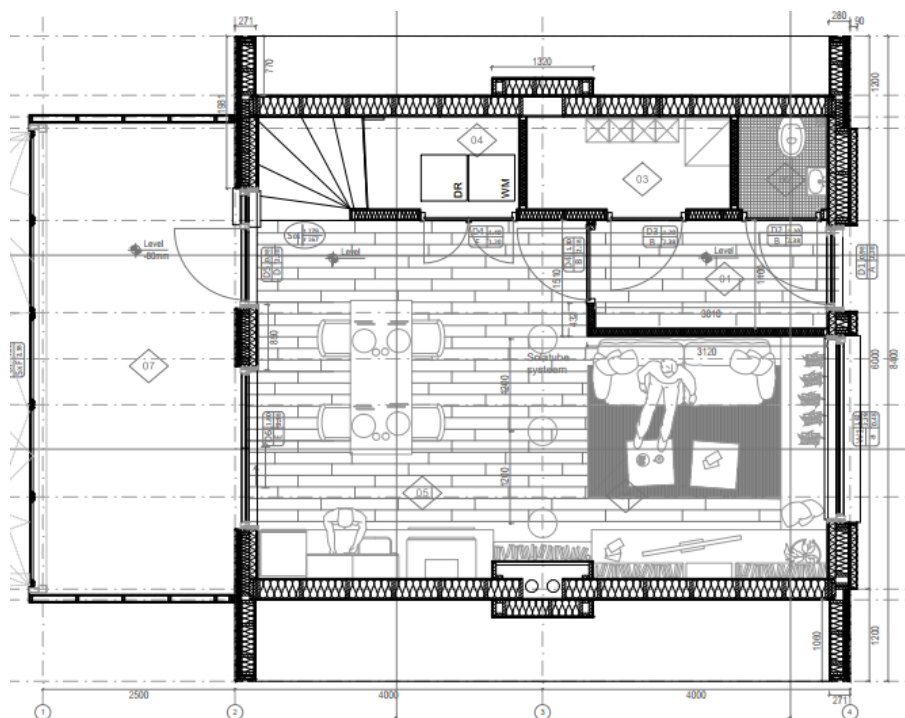


Fig. 25 - Prêt à Loger, pianta del piano terra e del primo piano.<sup>10</sup>

### 2.3. Analisi comparativa dei punteggi Solar Decathlon

Il vincitore del concorso Solar Decathlon è nominato in base alla sommatoria dei punteggi ottenuti nei dieci test che compongono la competizione; non è quindi scontato dire che il primo classificato assoluto sia effettivamente il migliore in ogni categoria: lo è probabilmente in alcune, ed ottiene buoni punteggi in altre. Per questa ragione, è stato necessario effettuare uno studio analitico dei punteggi ottenuti dai progetti nei dieci test, al fine di individuare i reali punti di forza di ciascun team.

Per le sfide valutate da una giuria si riportano solo i giudizi globali, poiché non si hanno a disposizione i valori parziali che hanno portato alla formulazione di tali cifre; per i test "misurabili", invece, si riporta il dettaglio dei punteggi ottenuti in ciascuna sottocategoria, per meglio chiarire il quadro valutativo e prestazionale dei concorrenti.

Come si è già avuto modo di sottolineare nel capitolo precedente, la quota di punteggio ottenibile in ogni test è variata nel corso degli anni; vi sono, inoltre, delle sostanziali differenze se si confrontano gli scores per contest nel Solar Decathlon americano e Solar Decathlon Europe. Per rendere possibile un equo confronto tra i partecipanti alle diverse edizioni, si è quindi deciso di prendere come parametro di confronto la percentuale ottenuta dal rapporto tra il punteggio ottenuto e il massimo punteggio ottenibile.

$$\text{Punteggio \%} = \frac{\text{Punteggio ottenuto}}{\text{Massimo punteggio ottenibile}} \cdot 100$$

Così facendo, son stati messi a paragone, in prima istanza, i progetti che hanno partecipato allo stesso concorso (America e Europe), operazione semplice data l'uniformità dei test su cui essi son stati valutati. Successivamente, è stata effettuata una seconda comparazione comprendente tutti i casi di studio, che ha però implicato alcune semplificazioni necessarie; non vi è, infatti, una perfetta sovrapponibilità tra i contests europei e quelli mondiali: si è quindi cercato di appaiare nel migliore dei modi i criteri valutativi, in modo da ottenere giudizi significativamente comparabili.

	C.01_2009: Team Germany		C.02_2009: Gable House		C.03_2011: WaterShed		C.04_2011: INhome		C.07_2013: Lisi – The House		C.08_2013: DesertSol	
	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%
<u>ARCHITECTURE</u>	94	94%	77	77%	96	<b>96%</b>	80	80%	91	91%	85	85%
<u>MARKET APPEAL</u>	91	91%	86	86%	94	<b>94%</b>	91	91%	93	93%	94	<b>94%</b>
<u>ENGINEERING</u>	91	91%	88	88%	89	89%	87	87%	93	<b>93%</b>	93	<b>93%</b>
<u>COMMUNICATIONS</u>	53,25	71%	60,75	81%	88	88%	83	83%	94	<b>94%</b>	90	90%
<u>AFFORDABILITY</u>	-	-	-	-	91,36	91,4%	99,21	<b>99,2%</b>	93,00	93%	95,13	95,1%
Building cost	-	-	-	-	\$336.335		\$257.853		\$298.629		\$306.293	
<u>COMFORT ZONE</u>	92,00	92%	91,65	91,7%	96,13	96,1%	98,52	<b>98,5%</b>	93,17	93,2%	98,05	98,1%
Temperature	46,154	-	48,275	-	-	-	-	-	68,802	-	73,437	-
Humidity	45,854	-	43,377	-	-	-	-	-	24,370	-	24,622	-
<u>HOT WATER</u>	95,2	95,2%	100	<b>100%</b>	100	<b>100%</b>	98,75	98,8%	100	<b>100%</b>	100	<b>100%</b>
<u>APPLIANCES</u>	89,06	89,1%	93,54	93,5%	99,8	<b>99,8%</b>	98,8	98,8%	98,9	99%	80	80%
Refrigerator	9,75	-	8,65	-	-	-	-	-	9,825	-	-	-
Freezer	9,80	-	9,84	-	-	-	-	-	9,969	-	-	-
Clothes Washer	20	-	18	-	20	-	20	-	20	-	20	-
Clothes Dryer	29,51	-	37,05	-	40	-	40	-	39,177	-	40	-
Dishwasher	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
<u>HOME ENTERTAINMENT</u>	156,786	89,6%	163,121	93,2%	97,847	97,8%	97,063	97,1%	98,271	<b>98,3%</b>	97,935	97,9%
Dinner Party	8,678	-	8,533	-	9,061	-	8,55	-	9,061	-	9,228	-
Lighting	69,75	-	70,5	-	39,231	-	38,846	-	40	-	38,846	-
Home electronics	64,58	-	60,06	-	25	-	25	-	24,816	-	25	-
Movie night	3,778	-	4,028	-	4,556	-	4,667	-	4,394	-	4,861	-
Cooking	10	-	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
<u>ENERGY BALANCE</u>	150	<b>100%</b>	137,236	91,5%	100	<b>100%</b>	100	<b>100%</b>	100	<b>100%</b>	100	<b>100%</b>
<u>PENALTY</u>	4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>908,304</b>	<b>90,8%</b>	<b>897,299</b>	<b>89,7%</b>	<b>952,15</b>	<b>95,2%</b>	<b>933,39</b>	<b>93,3%</b>	<b>954,42</b>	<b>95,4%</b>	<b>933,131</b>	<b>93,3%</b>

Tabella 6 - Riassunto comparativo tra i punteggi ottenuti dai progetti di Solar Decathlon americano.

	C.05_2012: Canopea		C.06_2012: Patio 2.12		C.09_2014: Rhome for denCity		C.10_2014: Prêt à Loger	
	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%	Punteggio	%
<b>ARCHITECTURE</b>	120	<b>100%</b>	95	79,2%	114	95%	102	85%
<b>ENGINEERING &amp; CONSTRUCTION</b>	71	88,7%	73	<b>91,3%</b>	67,2	84%	70,4	<b>88%</b>
<b>ENERGY EFFICIENCY</b>	87	87%	100	<b>100%</b>	73,47	91,8%	80	<b>100%</b>
<b>ELECTRICAL ENERGY BALANCE</b>	87,11	72,6%	106,51	<b>88,7%</b>	58,41	48,7%	79,8	66,5%
Load consumption per surface area	13,1	-	24,94	-	24,32	-	37,22	-
Positive electrical balance	50	-	50	-	-	-	16,41	-
Temporary Generation/consumption correlation	24,01	-	31,57	-	11,55	-	5,91	-
House adjustment to network load state	-	-	-	-	10,64	-	9,36	-
Power Peaks	-	-	-	-	11,9	-	10,9	-
<b>COMFORT ZONE</b>	114,86	<b>95,7%</b>	92,85	77,4%	107,4	89,5%	101,82	84,8%
Temperature	67,28	-	57,44	-	63,24	-	62,36	-
Humidity	7,99	-	8,51	-	9,12	-	9,64	-
Natural Lighting	19,69	-	19,02	-	15	-	-	-
Acoustic	15	-	4	-	13	-	20	-
Indoor Air Quality - CO <sub>2</sub>	4,9	-	3,88	-	2,04	-	4,82	-
Indoor Air Quality - VOC	-	-	-	-	5	-	5	-
<b>HOUSE FUNCTIONING</b>	116,85	<b>97,4%</b>	110,33	91,9%	108,62	90,5%	107,34	89,4%
Clothes Washer	20	-	20	-	9	-	10	-
Clothes Dryer	8,43	-	8	-	4,3	-	4,12	-
Dishwasher	15	-	15	-	10	-	10	-
Oven	15	-	13,68	-	8,4	-	8,1	-
Hot Water Draws	19,95	-	14,7	-	19,88	-	19,92	-
Cooking	14,97	-	15	-	10	-	9,29	-
Home Electronics	5	-	5	-	4,94	-	4,68	-
Freezer	4,6	-	4,82	-	4,97	-	5	-
Refrigerator	4,34	-	4,57	-	4,64	-	4,36	-
Dinner	9,56	-	9,56	-	14,66	-	12	-
Water Balance	-	-	-	-	17,83	-	19,87	-
<b>COMMUNICATION &amp; SOCIAL AWARENESS</b>	77,3	96,6%	80	<b>100%</b>	61	76,2%	52	65%
<b>URBAN DESIGN, TRANSPORTATION &amp; AFFORDABILITY</b>	72,9	60,7%	64,9	54,1%	84,71	70,6%	96	<b>80%</b>
Building Costs	€ 688.680		€ 481.000		€ 589.860		€ 705.490	
<b>INNOVATION</b>	75	<b>93,7%</b>	68,9	86,1%	71,81	89,8%	62,39	78%
<b>SUSTAINABILITY</b>	86,7	87%	95,9	<b>96%</b>	70	87,5%	74	92,5%
<b>BONUS</b>	0	-	10	-	24	-	14	-
<b>PENALTY</b>	0	-	0	-	0	-	0	-
<b>TOTAL</b>	908,72	<b>90,9%</b>	897,39	89,7%	840,62	84,1%	839,75	84%

Tabella 7 - Riassunto comparativo tra i punteggi ottenuti dai progetti di Solar Decathlon Europe

<i>Solar Decathlon (America)</i>	<i>C.01</i>	<i>C.02</i>	<i>C.03</i>	<i>C.04</i>	<i>C.05</i>	<i>C.06</i>	<i>C.07</i>	<i>C.08</i>	<i>C.09</i>	<i>C.10</i>	<i>Solar Decathlon Europe</i>
ARCHITECTURE	94%	77%	96%	80%	<b>100%</b>	79%	85%	91%	95%	85%	ARCHITECTURE
MARKET APPEAL	91%	86%	<b>94%</b>	91%	-	-	<b>94%</b>	93%	-	-	-
ENGINEERING	91%	88%	89%	87%	88,75%	91,25%	<b>93%</b>	<b>93%</b>	84%	88%	ENGINEERING & CONSTRUCTION
COMMUNICATIONS	71%	81%	88%	83%	96,63%	<b>100%</b>	90%	94%	76,25%	65%	COMMUNICATION & SOCIAL A.
AFFORDABILITY	-	-	91,37%	<b>99,22%</b>	60,75%	54 %	95,14%	93%	70,59%	80%	URBAN D., TRANSP. & AFFORD.
COMFORT ZONE	92%	91,65%	96,14%	98,53%	95,72%	77,38%	<b>98%</b>	93,17%	89,5%	84,85%	COMFORT ZONE
HOT WATER	95,2%	<b>100%</b>	<b>100%</b>	98,75%	99,75%	73,5%	<b>100%</b>	<b>100%</b>	99,75%	73,5%	Hot Water Draws
APPLIANCES	89%	93,54%	<b>99,8%</b>	98,83%	97,38%	91,94%	80%	98,97%	90,52%	89,45%	HOUSE FUNCTIONING
HOME ENTERTAINMENT	89,59%	93,21%	97,85%	97,06%	-	-	97,94%	<b>98,27%</b>	-	-	-
-	-	-	-	-	72,59%	<b>88,76%</b>	-	-	48,68%	66,50%	ELECTRICAL ENERGY BALANCE
ENERGY BALANCE	<b>100%</b>	91,49%	<b>100%</b>	<b>100%</b>	87%	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	91,84%	<b>100%</b>	ENERGY EFFICIENCY
-	-	-	-	-	<b>93,75%</b>	86,13%	-	-	89,76%	77,99%	INNOVATION
-	-	-	-	-	87%	<b>96%</b>	-	-	87,5%	92,5%	SUSTAINABILITY
<b>TOTAL</b>	<b>90,8%</b>	<b>89,7%</b>	<b>95,2%</b>	<b>93,3%</b>	<b>90,9%</b>	<b>89,7%</b>	<b>95,19%</b>	<b>94,76%</b>	<b>84,1%</b>	<b>84%</b>	<b>TOTAL</b>

Tabella 8 – Comparazione tra i punteggi conseguiti nei differenti contest.

## 2.4. Matrice 3D

La precedente analisi sui punteggi ottenuti induce a domandarsi quali siano le ragioni di tali risultati, ossia porta l'analista a chiedersi quali caratteristiche e quali soluzioni progettuali siano state effettivamente vincenti e quali, invece, poco efficaci. Per tale motivo, ogni progetto parte del campione è stato esaminato approfonditamente, per comprendere come le scelte progettuali abbiano avuto influenza sul risultato dei test, o, meglio, su alcuni loro aspetti. Si è quindi deciso di stilare una nuova lista di criteri di valutazione, che prendesse in considerazione solo alcuni aspetti e ne tralasciasse altri, in base all'interesse del ricercatore e alla supposta utilità dei dati raccolti in funzione dell'obiettivo di tesi.

Per ogni caso di studio, si è quindi indagato come le scelte morfologiche, tecnologiche e impiantistiche avessero condizionato il comportamento dell'edificio, esaminandone alcuni aspetti: si noti che non sempre c'è correlazione tra tutte le scelte e i criteri di valutazione.

Per rendere più immediata la visualizzazione e la consultazione delle informazioni raccolte in fase di analisi, è stata redatta una tabella che riporta sull'asse verticale i criteri di valutazione e, sull'asse orizzontale, le variabili progettuali. Il confronto tra i casi di studio ha portato alla generazione di una matrice tridimensionale, che aggiunge alla tabella appena descritta la terza dimensione Z, riportante i progetti esaminati.

La matrice così costruita permette di comparare un buon numero di informazioni individuando differenti correlazioni tra esse, data la possibilità di leggere le interazioni su differenti piani e sotto diversi punti di vista.

- Lettura del piano XY: fornisce una panoramica globale sullo z-esimo progetto preso in esame, indagando come ogni scelta progettuale influenza i criteri prestazionali valutati.
- Lettura del piano XZ: permette di osservare le strategie adottate dai diversi team per meglio rispondere al y-esimo criterio di valutazione, analizzando la globalità delle soluzioni strategiche e tecnologiche adottate.
- Lettura del piano YZ: esaminando l'x-esimo parametro progettuale, la tabella permette di mettere a confronto le scelte fatte dai diversi team, osservando l'influenza che tali scelte hanno avuto sui criteri di valutazione.

I criteri di valutazione selezionati sono i seguenti:

- **Ventilazione naturale:** la propensione dell'edificio ad indurre moti di ventilazione naturale che migliorino le condizioni di comfort interno, limitando la necessità di ricorrere a impianti meccanici per la climatizzazione che richiedano energia.
- **Regolazione degli apporti solari:** complesso di geometrie e sistemi schermanti che favoriscono la gestione della radiazione solare entrante nell'edificio in base alle esigenze dell'utenze, nonché in base alle condizioni climatiche e stagionali.
- **Accumulo e sfasamento:** soluzioni che migliorano la capacità termica (globale o di alcuni elementi) dell'edificio, per migliorarne il comportamento termico dinamico.
- **Efficienza energetica:** capacità dell'oggetto edilizio di minimizzare la propria necessità di energia pur garantendo prestazioni e funzionamento di un edificio standard; si valuta, quindi, sia la capacità di produrre energia, sia le strategie per minimizzarne il consumo.
- **Comfort termoigrometrico:** capacità di mantenere condizioni interne prefissate (di set point) di temperatura e umidità con il minimo intervento di sistemi meccanici (e quindi con il minimo dispendio di energia)
- **Comfort acustico:** attitudine a garantire un ambiente silenzioso, che sia in grado di limitare la trasmissione di rumori aerei ed impattivi.
- **Flessibilità:** propensione dell'ambiente (e delle sue parti) ad assumere configurazioni differenti per rispondere alle mutevoli necessità dell'utenza, con la massima facilità ed il minimo dispendio di energia e tempo.
- **Modularità:** ricorsività di una grandezza o di un elemento, alla base del progetto, che permette di semplificare le fasi costruttive e di montaggio, e conferisce, inoltre, maggior organicità all'insieme.
- **Innovazione:** presenza di elementi all'avanguardia per concezione, fabbricazione, performance o unicità. Si intende valutare quanti e quali aspetti innovativi il progetto contiene e quali di questi possono esser "riutilizzabili" in altri contesti.
- **Sostenibilità:** combinazione di materiali, tecnologie e soluzioni a basso impatto ambientale lungo tutto il proprio ciclo di vita; anche il design può risultare sostenibile, se contribuisce a minimizzare il fabbisogno energetico globale dell'edificio.

- **Costo di costruzione:** unico parametro oggettivo, esso è valutato globalmente e non categoria per categoria. Si riporta, infatti, il costo globale di costruzione, senza indagare la percentuale di influenza delle singole tecnologie o soluzioni sul totale.

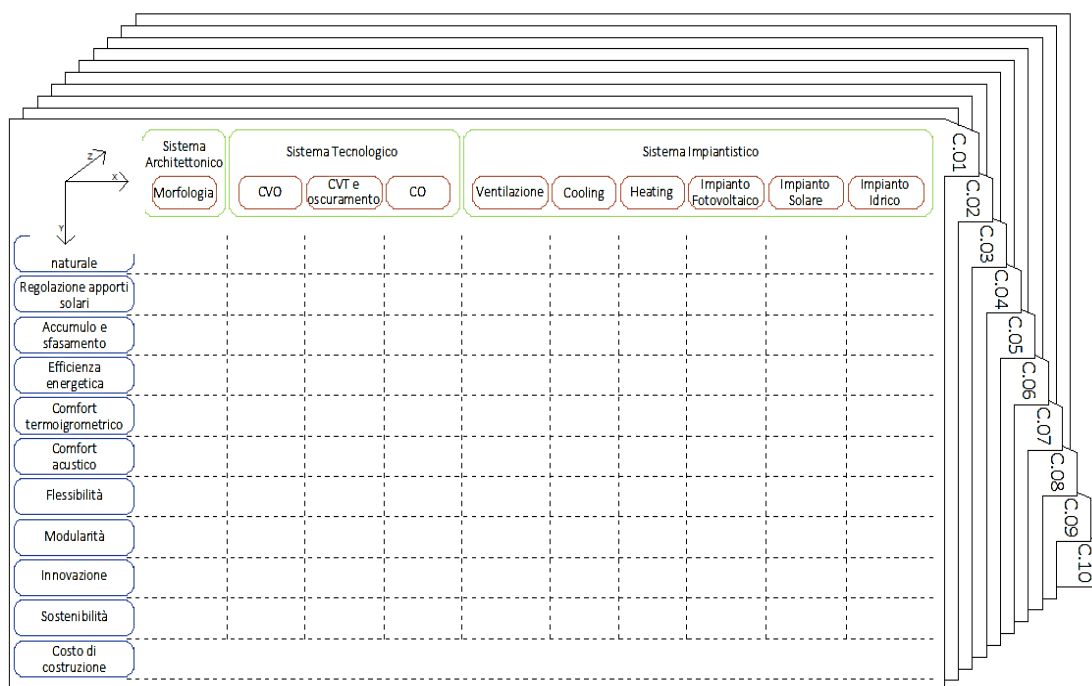


Fig. 26 – Matrice 3D per l’analisi comparativa tra i casi di studio

Si riporta, a scopo illustrativo, un esempio di analisi del piano XY riportante il progetto Patio 2.12; si rimanda all’allegato di competenza per la documentazione completa.



C.06_Patio 2.12	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA			IMPIANTI						
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali	Ventilazione	Riscaldamento	Raffrescamento	PV	Solare	Idrico	
Ventilazione naturale	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ventilazione trasversale</li> <li>– Effetto camino con camini solari in copertura</li> <li>– Pressioni e depressioni locali create dal vento grazie a forma spigolata dell'involucro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Convogliamento aria della facciata ventilata raffrescata all'interno ed espulsa dai camini solari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>– Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>– Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>– Camini solari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Passaggi d'aria integrati con arredo</li> </ul>	-	-	-	-	-	-
Regolazione degli apporti solari	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>– Stagni con fontane per mitigare l'aria esterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Effetto evaporativo dello strato di rivestimento in ceramica realizzato con sistema di irrigazione</li> <li>– Facciata ventilata raffrescata con evaporazione dell'acqua da stagno</li> <li>– Isolamento termico 10 cm lana di roccia</li> <li>- Strato riflettente che migliora la dispersione della radiazione solare</li> <li>- Utilizzo colori chiari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>– Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>– Triplo vetro basso emissivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>– Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>– Isolamento termico 11 cm lana di roccia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Serbatoio accumulo termico</li> </ul>	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sistema di irrigazione per creare effetto evaporativo in facciata</li> </ul>	
Accumulo e sfasamento	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aria rinfrescata da effetto evaporativo nello strato di ventilazione viene incanalato e trasportato all'interno</li> <li>Utilizzo colori scuri</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Serbatoio accumulo termico</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Serbatoio accumulo termico</li> <li>– Serbatoio espansione</li> <li>– Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 10 serbatoi e 3 stagni esterni - Recupero acque piovane</li> </ul>	

<i>Efficienza energetica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ceramica miglior comportamento termico e durabilità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Triplo vetro basso emissivo</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> <li>- Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza 20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PVT</li> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo acque degli stagni per condizionamento</li> <li>- Recupero acque grigie e purificazione e riutilizzo per irrigazione e effetto evaporativo</li> <li>- Riuso acque lavandini per bagni</li> </ul>
<i>Comfort termigrometrico</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica del salto termico interno-esterno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ceramica miglior comportamento termico</li> <li>- Isolamento termico 10 cm lana di roccia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle con effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico 11 cm lana di roccia</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo acqua stagno esterno</li> </ul>	-	-	-	-
<i>Comfort acustico</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo di sughero per controllare riverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo di sughero per controllare riverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posizionamento in blocco separato e dedicato</li> </ul>		-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posizionamento in blocco separato e dedicato</li> </ul>	-
<i>Modularità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 blocchi prefabbricati</li> <li>- 2 "Isole Tecnologiche"</li> <li>- Possibilità di aggiungere e/p rimuovere blocchi a piacere</li> <li>- Modularità regola organizzazione spaziale e dimensionale dei blocchi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Blocco prefabbricato</li> </ul>	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo</li> <li>- 8 PVT, 13,28 m2</li> </ul>	-

<i>Flessibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Possibilità di disporre i blocchi a piacere, variarne il numero o le funzioni: progettazione customizzata</li> <li>– Variabilità funzionale del patio e adattabilità</li> <li>– Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali di più blocchi</li> <li>– Integrazione Isole Tecnologiche e blocchi prefabbricati</li> <li>– Trasportabilità dei blocchi e adattabilità a diversi siti</li> <li>– Integrazione arredo e servizi tecnologici</li> <li>– Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adattamento alle condizioni di luce esterna</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fan coils integrati nell'arredo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Connessioni indipendenti dei PV e possibilità di espansione del campo solare legata all'aggiunta del modulo</li> <li>– Integrazione architettonica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integrazione architettonica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mandata e ripresa integrata con arredo</li> </ul>
<i>Innovazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reinterpretazione degli spazi abitativi mediterranei e del concetto di patio: spazio di espansione e regolazione climatica</li> <li>– Somma di 4 blocchi prefabbricati molto flessibili (small lofts) con spazio comune centrale (patio) che fa da unione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri</li> <li>– Raffrescamento evaporativo della facciata ventilata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Luce fornita dal patio e non più relazione diretta interno-esterno tramite le chiusure trasparenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilizzo acqua stagno esterno</li> <li>– Raffrescamento evaporativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modularità del pannello e adattamento al blocco</li> <li>– Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sistema di filtraggio per recupero acque grigie</li> </ul>	
<i>Sostenibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali per rispondere al problema della densità</li> <li>– Basso impatto ambientale e facilità di riuso dell'intero blocco (cambiare posto senza cambiare casa)</li> <li>– Comportamento termoregolatore passivo del patio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero</li> <li>– Sistemi prefabbricati o pre assemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>– Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fan coils (risparmio 25%)</li> <li>– Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ridotti valori di EPBT e ERF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riuso acque domestiche grazie a trattamento di filtraggio naturale delle piante</li> <li>– Terminali a risparmio idrico</li> <li>– Riuso acqua da lavandini per bagni</li> </ul>		
<i>Costo di costruzione</i>	€ 159.550								

Tabella 9 – Piano XY – Analisi del progetto Patio 2.12, Andalusia Team

## CAPITOLO III

### SOLUZIONI RICORRENTI

### NEI PROGETTI SOLAR DECATHLON

*“Intelligence is based on how efficient a species became at doing the things they need to survive.”*

Charles Darwin, *The Voyage of the Beagle*, 1839.

#### 3.1. Strumenti preliminari per l'analisi climatica

Uno studio accurato del contesto climatico è il punto di partenza di ogni progettazione bioclimatica: capire quali sono le condizioni di temperatura, umidità, irraggiamento, velocità del vento e tutte le forzanti climatiche della località in esame è essenziale al fine di determinare con quali problematica si ha a che fare, e, di conseguenza, quali strategie di controllo passivo adottare al fine di soddisfare le esigenze dell'utenza. A partire dalla seconda metà del novecento, molti ricercatori hanno cercato di rappresentare graficamente attraverso appositi diagrammi le variabili inerenti al comfort termico, così da poterle mettere direttamente in relazione con le caratteristiche climatiche del sito. L'elemento comune tra tutti è l'individuazione e la rappresentazione di una specifica zona di comfort, così come mostrato nel capitolo introduttivo, con margini di variabilità circa i limiti superiori e inferiori invernali ed estivi, in relazione alle ipotesi fatte dall'autore. L'utilizzo di tali strumenti, seppur in differenti forme, consiste nel riportare sul grafico una serie di punti caratterizzati da una certa temperatura e umidità relativa (questi, di fatto, sono i parametri più influenti nella determinazione del comfort termico): ad esempio, si possono collocare i valori di T e UR di ogni ora o giorno dell'anno oppure i massimi e minimi di ciascun mese e unirli tramite una retta. Tali punti possono essere relativi alle condizioni esterne del sito o a quelle previste all'interno dell'edificio<sup>22</sup>. I punti, o le rette, identificano l'origine del problema climatico: se essi ricadono all'interno della zona di comfort, significa che non vi è la necessità di attuare alcuna misura correttiva; al contrario, a seconda di dove si collocano, è possibile individuare la migliore strategia per mezzo della quale estendere il confine della zona di comfort ed evitare che la specifica correlazione T-UR esaminata generi una sensazione di discomfort.

---

<sup>22</sup> Si tratta di una delle principali differenze tra il diagramma di Olgyay e quello di Givoni o Givoni-Milne.

Uno dei maggiori contributi in questo senso è stato fornito da V. Olgyay: egli fu il primo a introdurre il *diagramma bioclimatico* (figura sottostante), nel quale, su un piano cartesiano, sono rappresentate in ascissa le diverse condizioni di umidità relativa e in ordinata le temperature di bulbo secco; la zona centrale del diagramma è occupata dalla zona di comfort, definita per attività sedentaria (1 met) e per persone con vestiario medio (0,8 clo); al di sopra di essa, in corrispondenza di temperature più elevate, sono riportate delle isocurve che rappresentano diversi valori di velocità dell'aria, mentre al di sotto, al decrescere della temperatura esterna, in maniera del tutto analoga, sono riportate quelle relative alla radiazione solare. Qualora le condizioni climatiche del sito, sovrapposte al medesimo diagramma, ricadessero nell'intorno delle isocurve, queste automaticamente suggerirebbero la quantità d'aria o di sole che è necessario fornire all'edificio, affinché si possano far rientrare tali condizioni climatiche nei valori accettabili di comfort. L'efficacia di tale modello, tuttavia, si è dimostrata limitata solo agli edifici leggeri caratterizzati da scarse capacità termiche, poiché muove dal presupposto che la differenza di temperatura tra interno ed esterno non sia eccessivamente elevata, fatto che si verifica tipicamente per basse latitudini e climi caldo-umidi.

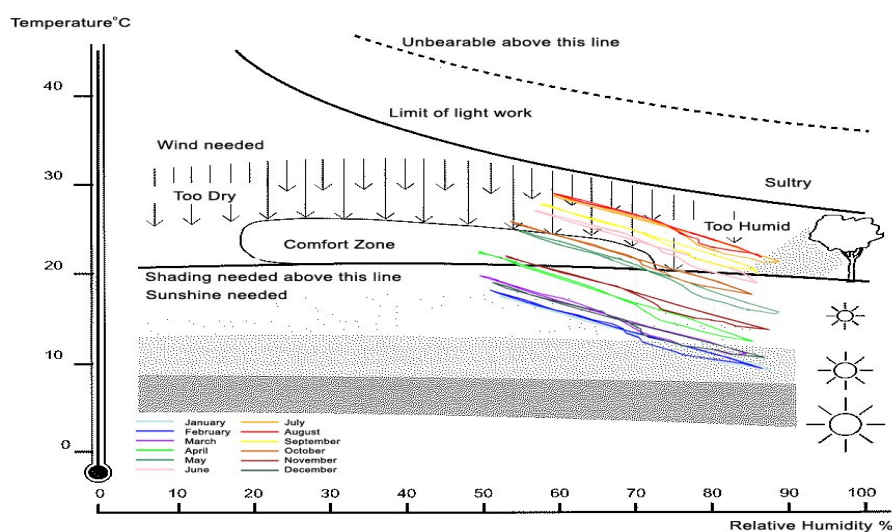


Fig. 27 – Diagramma bioclimatico di Victor Olgyay con il clima relativo alla città di Alessandria, Egitto.<sup>23</sup>

Partendo da questi studi, B. Givoni ha proposto il *BBCC-Building Bio-Climatic Chart*, un grafico elaborato sulla base del diagramma psicrometrico e successivamente perfezionato da lui stesso in collaborazione con M. Milne; la differenza principale, al di là dell'aspetto grafico, sta

<sup>23</sup> Fonte: *A Tool for Design Decision Making - Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates*, Shady Attia

nel considerare gli effetti mitiganti dell'edificio sulle condizioni esterne, prendendo in considerazione le condizioni di temperatura e umidità relativa previste nell'ambiente interno e non più all'esterno. I due autori hanno identificato i limiti delle condizioni interne per ogni contorno di diverse strategie passive, riportandole graficamente sul diagramma: vengono così identificate delle nuove porzioni di area che vanno ad estendere la zona di comfort nel suo intorno. Tali confini, in realtà, come confermano gli autori stessi, possono essere ambigui o non completamente distinti l'uno dall'altro (tali ambiguità sono rappresentate mediante frecce nel grafico): i limiti di questo diagramma giacciono proprio nell'inaccuratezza della delimitazione di ciascuna area di competenza. Le tecniche passive considerate comprendono l'utilizzo di massa termica con e senza ventilazione notturna, ventilazione diurna, guadagni interni, guadagni solari, raffrescamento evaporativo diretto e indiretto, umidificazione, deumidificazione e i sistemi di schermatura. Di nuovo, sovrapponendo tutti i valori di UR e T della località geografica in esame, è possibile identificare quale soluzione passiva ha il miglior impatto in termini di comfort interno. Il diagramma bioclimatico di Givoni-Milne è largamente accettato e utilizzato da molti architetti, specialmente nel panorama statunitense. Negli corso anni, il diagramma di Givoni è stato più volte rivisitato dall'autore stesso e da altri ricercatori, al fine di meglio adattarlo a contesti climatici ampiamente differenti tra loro, tenendo conto di alcune di quelle considerazioni tipiche del modello adattivo, quali l'attitudine ad abituarsi a determinate condizioni dell'aria esterna.

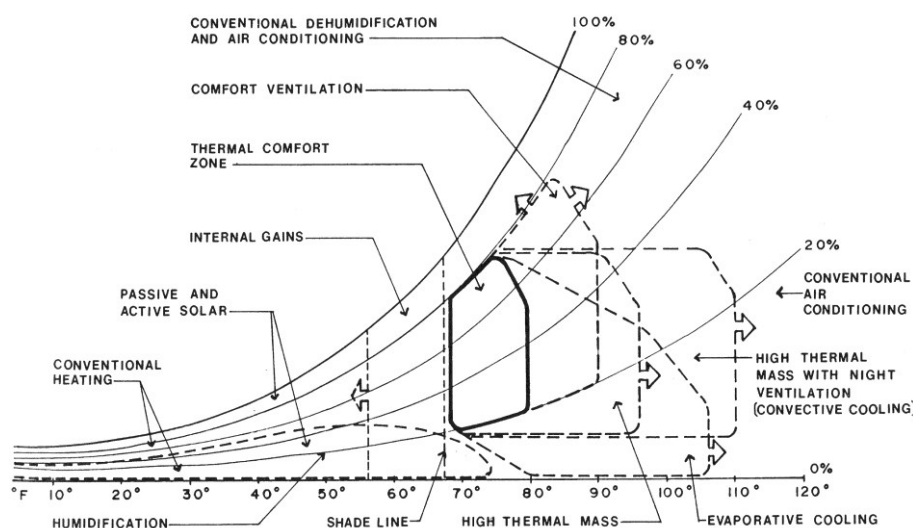


Fig. 28 – Diagramma bioclimatico Givoni-Milne.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Fonte: [http://dada.cca.edu/~rmarcial/bes2007/images/bioclimatic\\_psych.jpg](http://dada.cca.edu/~rmarcial/bes2007/images/bioclimatic_psych.jpg), California College of Art.

Successivi autori hanno proposto altri tipi di diagrammi o metodi a partire da quanto fatto da Givoni e dai modelli di comfort. A titolo esemplificativo, si cita il metodo delle *zone di controllo potenziale*: a partire dal procedimento di costruzione della zona di comfort riportato nell'introduzione, l'autore ha determinato il potenziale contributo in termini di comfort che si può ottenere grazie allo sfruttamento del riscaldamento solare passivo, dell'effetto massa con o senza ventilazione notturna, della ventilazione diurna e del raffreddamento evaporativo diretto o indiretto; questi, sono stati ricavati a partire dalle temperature medie dell'ambiente esterno e, similmente al caso precedente, sono stati riportati sul diagramma psicrometrico. Un contributo più recente, infine, è stato fornito da *M. Decay e G.Z. Brown*: i due autori propongono una rivisitazione del diagramma bioclimatico di Olgyay fondendolo con le zone di comfort presentate da Givoni-Milne.

I più recenti strumenti informatici, partendo dalle teorie di questi autori, hanno implementato i diagrammi descritti tramite il ricorso a database di file climatici ottenuti dalle rilevazioni effettuate nel corso degli anni; uno dei principali tra questi strumenti è il software Climate Consultant, che ripropone il modello di Givoni e consente di verificare l'influenza delle strategie passive sulle zone di comfort definite dall'ASHRAE o dal modello Californiano<sup>25</sup>. Disponibile gratuitamente online, esso è in grado di rappresentare in forma grafica i dati contenuti nei files climatici appartenenti alla banca dati del Dipartimento dell'Energia americano (per l'Italia, archivio IGDG) e di restituirne il diagramma psicrometrico con le strategie di comfort passivo che meglio possono risolvere il problema climatico in esame; le percentuali riportate a fianco di ogni soluzione forniscono un'immediata valutazione qualitativa dell'efficacia di tale strategia passiva sul comfort interno. Tale strumento è particolarmente utile nelle fasi preliminari della progettazione bioclimatica, in quanto esaustivo e di facile comprensione non solo per chi ha confidenza con le tematiche relative al controllo ambientale. Nella figura sottostante si riporta l'esempio del caso di Bolzano, riportando anche tutte le possibili varianti progettuali<sup>26</sup>: in blu la zona di comfort definita dall'ASHRAE 55, il fascio di segmenti unisce i valori di T e UR minimi e massimi per ciascun mese e le varie strategie passive, riportate nel riquadro in alto a sinistra.

---

<sup>25</sup> Questo modello non è stato indagato nella presente trattazione.

<sup>26</sup> Chiaramente, non è possibile attuare contemporaneamente tutte le strategie indicate; il caso riportato è solo a titolo esemplificativo per mostrare le potenzialità del software.

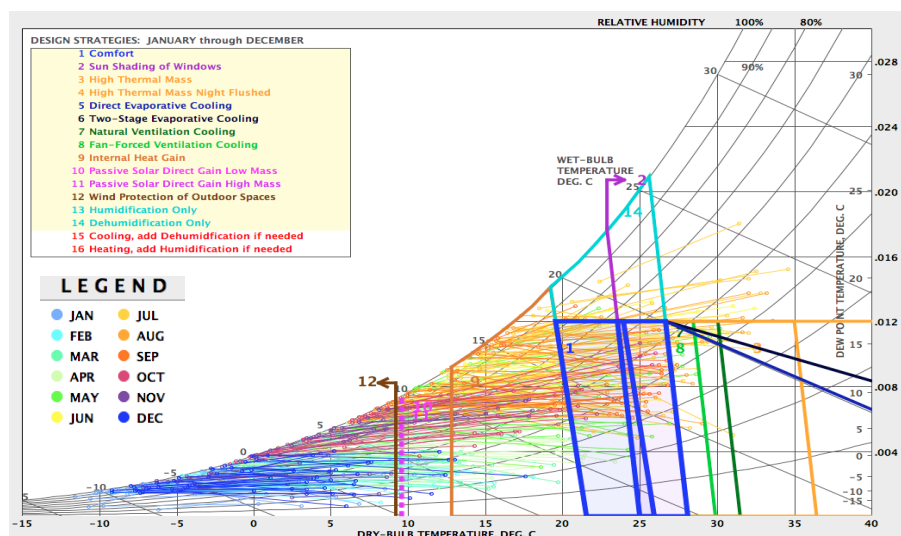


Fig. 29 – Diagramma bioclimatico del software Climate Consultant per la città di Bolzano.

### 3.2. Soluzioni tecnologiche passive in Solar Decathlon

L'analisi dei progetti partecipanti al contest Solar Decathlon ha portato ad evidenziare una stretta correlazione tra questi ed i principi di architettura bioclimatica: l'impiego di strategie passive risulta esser alla base del processo finalizzato a minimizzare i consumi energetici e all'ottimizzazione del comfort interno. Si intende ora esplicitare i principi fondamentali, in relazioni alle osservazioni fatte sui moduli Solar Decathlon, alla base della progettazione bioclimatica.

### 3.3. Influenza del sito di insediamento

Come si è già avuto modo di discutere precedentemente, la progettazione bioclimatica non può prescindere dal considerare le caratteristiche proprie del clima del luogo d'insediamento, con le influenze che esso determina sul comportamento dell'edificio. Le caratteristiche di un sito possono esser suddivise in due macro-categoria: climatiche e morfologico-topologiche. Le prime hanno validità territoriale piuttosto ampia, mentre le seconde hanno carattere puntuale.

Le principali caratteristiche climatiche di cui occorre tener conto in fase progettuale riguardano la quantità di irraggiamento solare e la sua distribuzione del corso dell'anno, la temperatura media e le sue fluttuazioni periodiche, l'umidità relativa, le componenti dominanti di vento. Dall'irraggiamento dipenderà la possibilità di avere guadagni solari gratuiti invernali e, al



tempo stesso, il rischio di surriscaldamento estivo; l'andamento delle temperature è un parametro fondamentale, che deve guidare il progettista nella definizione della tecnologia d'involucro: climi molto freddi richiedono un alto grado di isolamento dell'edificio per minimizzare le sue dispersioni, mentre un clima con forti escursioni termiche giornaliere richiede tecnologie con buona capacità termica, in grado di immagazzinare calore durante le ore più calde e di restituirlo in seguito, determinando di fatto uno smorzamento di tali brusche oscillazioni. La ventosità, valutata nelle sue componenti di direzione prevalente estiva, velocità media e frequenza, gioca un ruolo chiave nella determinazione della posizione e dimensionamento delle aperture in ottica di effettuare ventilazione naturale; non son da trascurare, inoltre, le problematiche connesse al tasso di permeabilità all'aria dell'involucro in relazione alla velocità del vento lungo tutto il corso dell'anno.

Le caratteristiche morfologico-topologiche hanno maggior variabilità territoriale, in quanto determinate dalla conformazione dello specifico sito di insediamento. Considerando la clivometria<sup>27</sup> del sito, bisogna notare che l'orientamento dei pendii può influenzare la temperatura esterna locale: se essi son rivolti a sud, infatti, tendono ad esser soggetti ad una maggior quantità di radiazione solare diretta, che comporta un aumento della temperatura media locale dell'aria esterna; edifici posti su declivi rivolti a sud son a loro volta soggetti a maggior irraggiamento solare. Occorre inoltre prestare attenzione al rischio di ombreggiamenti portati dai pendii stessi o da altri edifici posti su tale superficie inclinata: la distanza minima tra gli edifici da garantire per evitare l'ombreggiamento reciproco è funzione dell'angolo di inclinazione del pendio.

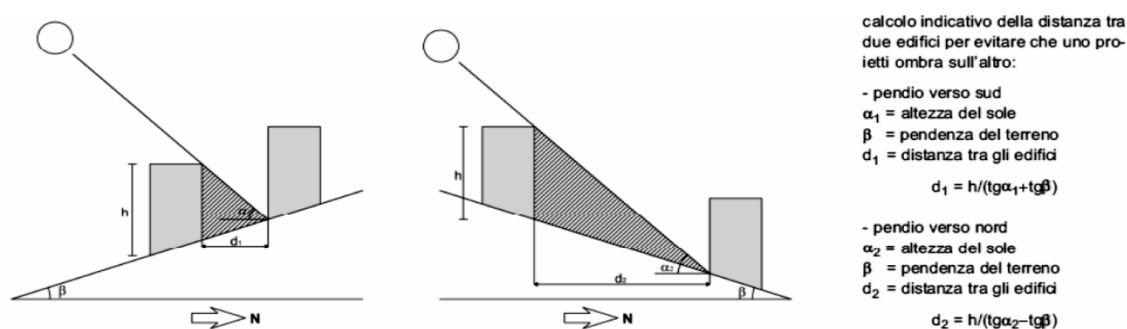


Fig. 30 – Influenza della pendenza di un pendio sulla distanza minima per evitare fenomeni di ombre portate.<sup>2</sup>

La presenza di ostruzioni esterne può rappresentare un altro elemento caratterizzante del sito: altri edifici, alberi, ostruzioni in genere hanno l'effetto di limitare la possibilità di irraggiamento

<sup>27</sup> Si intende per clivometria la pendenza media del terreno rispetto all'orizzontale

di un edificio e possono rappresentare elemento di disturbo locale per il flusso del vento; nella progettazione in un contesto urbano non è possibile prescindere dalla considerazione delle ostruzioni presenti in loco.

La scelta dell'orientamento dell'edificio all'interno del sito può modificare sensibilmente il suo comportamento, in quanto causa variazioni nella quantità di radiazione solare diretta entrante attraverso le componenti trasparenti dell'involucro. Per definire l'orientamento di una facciata viene convenzionalmente impiegato l'angolo azimutale, che indica la deviazione dal sud geografico; all'orientamento sud corrisponde l'angolo azimutale 0°. Dall'orientamento dipende anche la quantità di apporti solari che un edificio può ricevere.

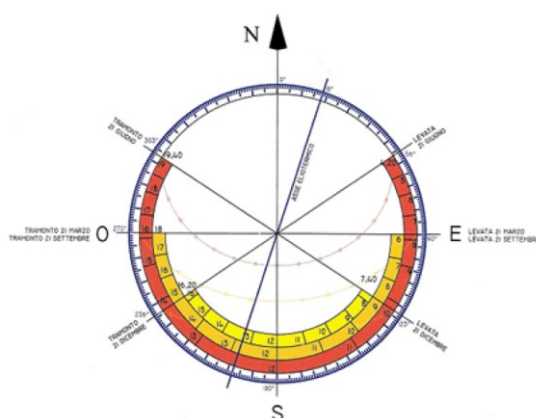


Fig. 31 – Soleggiamento stagionale alle latitudini italiane.<sup>2</sup>

### 3.4. Caratteristiche morfologiche

#### 3.4.1. Forma dell'edificio e rapporto Superficie/Volume

La forma di un edificio può avere grande impatto sul suo comportamento in termini di fabbisogno energetico e di comfort; una geometria che si sviluppa lungo un asse principale, del tipo parallelepipedo, permette di massimizzare i guadagni solari, qualora tale asse sia orientato lungo la direttrice est-ovest; tale configurazione consente di avere una più ampia superficie da destinare a componenti trasparenti rivolta verso sud, garantendo soleggiamento lungo tutto il corso dell'anno.

Un indice universalmente impiegato per descrivere la forma di un edificio è il rapporto superficie/volume: calcolato come rapporto tra il totale della superficie disperdente e il volume lordo dell'edificio, esso è un indicatore di *compattezza*. Un'attenta progettazione mira

a minimizzare l'indice S/V: a parità di volume, la diminuzione di superficie disperdente è da considerarsi vantaggiosa. La configurazione geometrica che meglio ottimizza il rapporto S/V è la sfera, che tuttavia risulta esser una forma poco consona alla produzione edilizia su ampia scala; in campo di architettura bioclimatica è da preferirsi una geometria assimilabile al parallelepipedo.

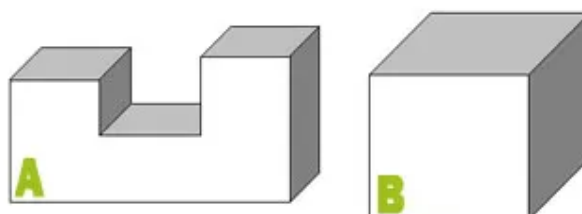


Fig. 32 – Esempio di geometrie solide equivalenti ma con 'area superficiale differente.<sup>28</sup>

I due solidi proposti hanno lo stesso volume, ma appare chiaro che il caso A offra una maggior superficie attraverso cui disperdere calore rispetto al cubo rappresentato nel caso B.

L'analisi dei progetti del contest Solar Decathlon hanno mostrato una generale propensione alla realizzazione di edifici molto compatti; vi sono tuttavia delle eccezioni: gli edifici maggiormente articolati son quelli destinati ad esser reimpiegati, a fine contest, in località tali per cui le dispersioni invernali risultano esser contenute, come ad esempio il caso di DesertSol, Las Vegas.

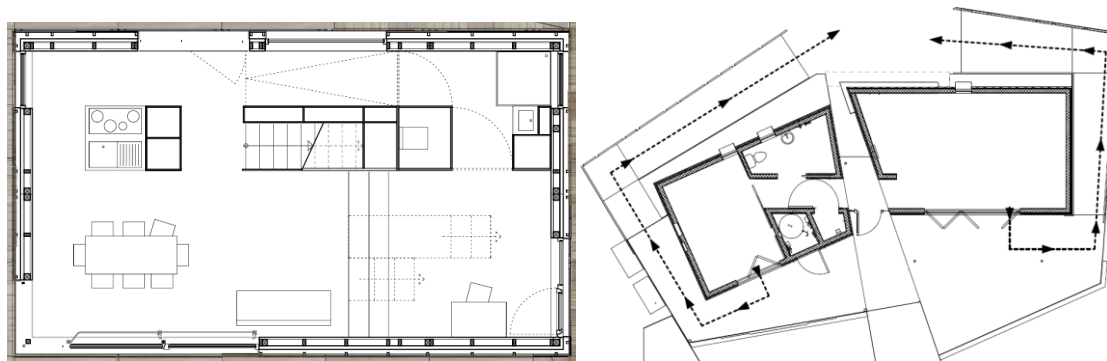


Fig. 33 – Confronto tra compattezza delle geometrie: Team Germany, altamente compatto, e DesertSol, più articolato.<sup>9</sup>

Tramite la progettazione della morfologia dell'edificio, si può intervenire in prima istanza sul controllo solare: la creazione di volumi sporgenti o rientranti, la scelta di posizionare aggetti,

<sup>28</sup> Fonte: <http://www.architetturaecosostenibile.it/images/stories/Compattezza-superficie-disperdente-volume.jpg>.

balconi, logge permette di controllare gli ombreggiamenti sulle porzioni vetrate di involucro, consentendo una corretta schermatura della radiazione solare durante il periodo estivo; si noti, però, che tali soluzioni possono influenzare negativamente il rapporto superficie/volume, in quanto si contrappongono alla compattezza massima.

I rapporti dimensionali di un edificio possono avere grande influenza sul comportamento locale dei flussi d'aria esterna: si possono infatti generare zone di pressione e depressione più o meno forte in relazione all'altezza e alla profondità dell'edificio; ciò ha effetti diretti sulla ventilazione naturale dell'edificio stesso, che in caso di flusso trasversale sfrutta proprio la differenza di pressione esistente tra i due fronti esterni.



Fig. 34 – Effetti del vento in rapporto all'altezza del tetto.<sup>29</sup>

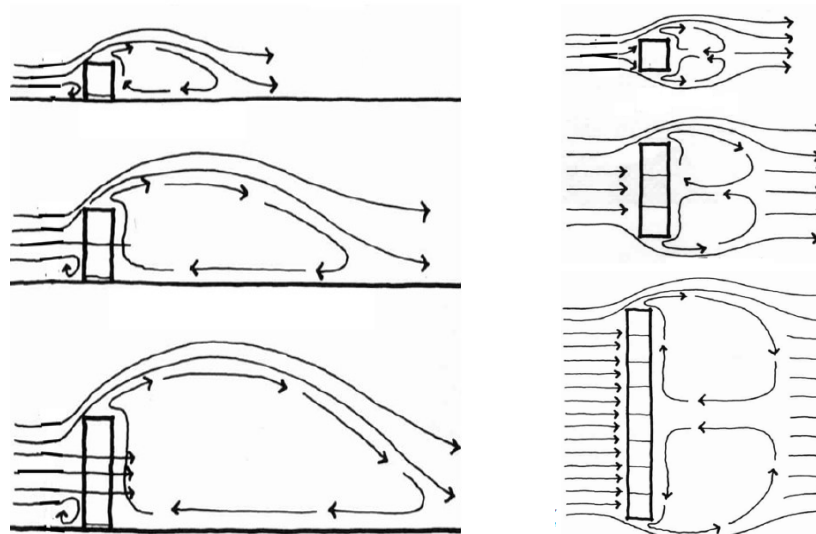


Fig. 35 – Effetti del vento in rapporto all'altezza e alla profondità dell'edificio.<sup>29</sup>

### 3.4.2. Superficie e distribuzione delle aperture

Come si è già avuto modo di accennare, le porzioni trasparenti di involucro rappresentano una caratteristica fortemente influente in ottica di comportamento passivo di un edificio. Attraverso le aperture, infatti, ha luogo un importante flusso bidirezionale di energia: da una parte vi è la radiazione solare entrante nell'edificio, dall'altra il flusso uscente per dispersione

<sup>29</sup> Fonte: *Architettura e clima - Convergenze, analogie, conflitti*, G. De Vecchi.

attraverso tale elemento, che tipicamente è caratterizzato da trasmittanza termica notevolmente inferiore rispetto alle componenti opache d'involucro. Le scelte progettuali che riguardano la dimensione e l'orientamento delle aperture è dunque di cruciale importanza.

Le normative ed i regolamenti locali pongono dei vincoli circa le aperture minime da garantire agli ambienti abitati per garantirvi salubrità e benessere<sup>30</sup>; non esiste però una limitazione superiore per il rapporto tra parti opache e trasparenti dell'involucro. La scelta deve essere guidata da un criterio assimilabile al bilancio energetico attraverso la superficie vetrata: in funzione della località di insediamento e del clima che la caratterizza, infatti, si ricercherà la superficie che massimizza il rapporto tra guadagni solari e disperdimenti. L'osservazione diretta della prassi costruttiva consolidata porta ad evidenziare che in climi più rigidi la superficie di finestre è assai ridotta, mentre risulta aumentare in climi più temperati.

L'influenza del clima ha ripercussione anche sulla posizione preferenziale delle aperture sui prospetti di un edificio<sup>31</sup>; le aperture rivolte a sud offrono una maggior facilità di controllo della radiazione solare entrante su base stagionale: esse possono essere concepite come collettori di radiazione solare nei mesi più freddi, quando il sole risulta essere basso sull'orizzonte, mentre l'impiego di sistemi di schermatura consente un agevole controllo della radiazione entrante durante l'estate, quando il sole ha un percorso più alto nel cielo, evitando così fenomeni di surriscaldamento degli ambienti interni. L'aumento della superficie captante rivolta verso sud incrementa i guadagni solari diretti invernali, che assumono massima efficacia se abbinati ad un involucro opaco ben isolato, che ne consente la conservazione all'interno del volume dell'edificio. Le componenti trasparenti di involucro rivolte verso nord possono essere impiegate per ottenere una buona qualità di illuminazione interna, in quanto in grado di captare la componente diffusa della radiazione solare; è tuttavia consigliabile limitare tali superfici, in quanto, in regime invernale, rappresentano un luogo di disperdimento non compensato da alcun guadagno solare. Le aperture rivolte ad occidente e ad oriente presentano un maggior grado di difficoltà nel controllo della radiazione entrante rispetto all'orientamento a sud: il sole, all'alba e al tramonto, risulta essere basso sull'orizzonte e di conseguenza difficilmente schermabile tramite aggetti; per un efficace controllo della radiazione entrante è necessario

---

<sup>30</sup> Si fa riferimento al RAI, rapporto aeroilluminante, che mette in relazione la superficie di pavimento interna all'area dell'apertura minima da garantire ad ogni locale.

<sup>31</sup> Le considerazioni in merito all'orientamento delle aperture e al loro comportamento mantengono validità nel solo emisfero boreale; per estendere tale ragionamento all'emisfero australe è sufficiente invertire nord e sud.

ricorrere a sistemi di schermatura mobili, possibilmente composti da lamelle verticali o orizzontali, capaci di limitare i fenomeni di abbagliamento connessi alla posizione del sole.

Considerando quanto appena detto, è possibile individuare una linea generale che mette in relazione l'orientamento delle aperture al clima del luogo di insediamento. Per climi freddi, in cui la necessità primaria è massimizzare i guadagni solari, è opportuno localizzare la quota preponderante di aperture verso sud, limitando le superfici vetrate sugli altri fronti. In climi temperati, oltre al prospetto sud, è buona norma prevedere aperture anche sui fronti est ed ovest (senza eccedere) per favorire fenomeni di ventilazione naturale, ma si consiglia di mantenere prevalentemente pieno il fronte nord. In presenza di un clima caldo-secco, nel quale ogni tipo di apporto solare è indesiderato, la predisposizione di piccole aperture a nord e ad est permette di mantenere buoni livelli di illuminazione interna e, al contempo, un buon grado di ventilazione naturale. Per le fasce climatiche più umide, infine, la principale necessità è rappresentata da un alto tasso di ventilazione: si consiglia di prevedere ampie porzioni aperte sui fronti nord e sud, per un'efficace ventilazione trasversale, evitando di avere aperture sui fronti est ed ovest per evitare inutili e indesiderati guadagni solari.

La superficie e la posizione delle aperture ha forte influenza sulla possibilità di effettuare ventilazione naturale all'interno dell'edificio; tramite due finestre contrapposte è favorita la ventilazione trasversale, mentre il posizionamento di lucernari o di piccole finestre nella parte più alta delle chiusure verticali favorisce la ventilazione notturna per effetto camino; si rimanda tuttavia al paragrafo riguardante la ventilazione naturale per una più esaustiva trattazione della questione.

### 3.4.3. Distribuzione interna

Il comportamento di un edificio è influenzato, oltre che dalla morfologia del suo involucro, anche dalla sua geometria e distribuzione interna. Lo studio dei progetti partecipanti al contest Solar Decathlon ha sottolineato la centralità del ruolo della configurazione a pianta aperta: essa permette una buona versatilità degli spazi, se abbinata a partizioni mobili o ad arredo riconfigurabile in funzione delle esigenze dell'utenza; è dunque possibile accorpate più funzioni in un unico ambiente, che consente variazioni di scenario, riducendo di fatto la superficie necessaria per una confortevole permanenza nell'edificio. L'assenza di importanti ostruzioni interne, quali partizioni verticali, risulta essere vantaggiosa ai fini di realizzare un'efficace ventilazione trasversale all'interno dell'edificio; attraverso due aperture

contrapposte ed in assenza di ostacoli, il flusso d'aria può transitare in tutto l'ambiente, risultando efficace nell'asportare l'aria esausta o surriscaldata.



Fig. 36 – Lisi, esempio di configurazione a pianta aperta nel contest Solar Decathlon.<sup>9</sup>

Il mercato immobiliare italiano tende ad esser piuttosto conservativo e legato alla tradizione, con preferenza per le abitazioni suddivise in locali dalle funzioni ben identificabili. È tuttavia possibile individuare uno schema distributivo preferenziale, che lega la funzione di ogni stanza ad un orientamento da prediligersi, in base alle condizioni di illuminazione naturale e di comfort che esso può garantire. Gli ambienti più frequentati e con attività che necessitano di maggior comfort sono quelli della zona giorno: si consiglia una loro esposizione sui lati sud o sud-est, per ottimizzare i livelli di illuminazione naturale e i guadagni solari, limitando al contempo il rischio di abbagliamento. La zona notte può esser esposta sui lati est, sud-est o sud-ovest, mentre si relegano al fronte sud gli spazi di servizio o gli eventuali studi. Le zone che meno richiedono condizioni di comfort ottimali, di riscaldamento e di illuminazione naturale si prestano bene ad occupare il fronte nord dell'edificio: locali tecnici, scale, locali di servizio, garages: essi risultano funzionare come zona di filtro tra le aree più confortevoli dell'edificio e l'ambiente esterno esposto a nord, più freddo.

La presenza di partizioni interne garantisce la possibilità di posizionare elementi con buona capacità termica all'interno degli ambienti: se collocati nelle giuste posizioni, tali partizioni possono assorbire l'energia dei raggi solari entranti durante il giorno e restituirla durante le ore notturne.

Alcuni progetti Solar Decathlon hanno scelto di sfruttare la presenza di partizioni per integrare in esse soluzioni atte al miglioramento del comfort interno: si citano, ad esempio, il progetto INhome, con il suo BioWall, partizione verde a cui è demandato il controllo dell'umidità e della qualità dell'aria interna, o il Liquid Dessicant Waterfall, sistema attivo per il controllo dell'umidità dell'aria inserito in una partizione nel progetto Lisi.

### 3.5. Tecnologie di involucro opaco

Una caratteristica che accomuna tutti i progetti Solar Decathlon analizzati è il ricorso al legno come principale materiale da costruzione, impiegato in tecnologie a secco; tali soluzioni si adattano molto bene alle esigenze proprie del contest, in quanto consentono un ottimo grado di prefabbricazione, che a sua volta implica la possibilità di un rapido montaggio e smontaggio ed un facile trasporto via container. Si riscontra, tuttavia, variabilità nelle soluzioni strutturali e tecnologiche proposte.

La principale e più evidente differenza tra le tecnologie impiegate è correlata alla struttura portante delle pareti: a questo riguardo, come indica anche la letteratura tecnica in merito, può esser fatta una distinzione tra costruzioni di tipo massiccio e di tipo leggero. Nel primo caso lo strato di isolamento termico risulta esser separato dallo strato portante (di norma in posizione più esterna); nel caso di costruzioni leggere, invece, la funzione strutturale e di isolamento termico giacciono sullo stesso piano.

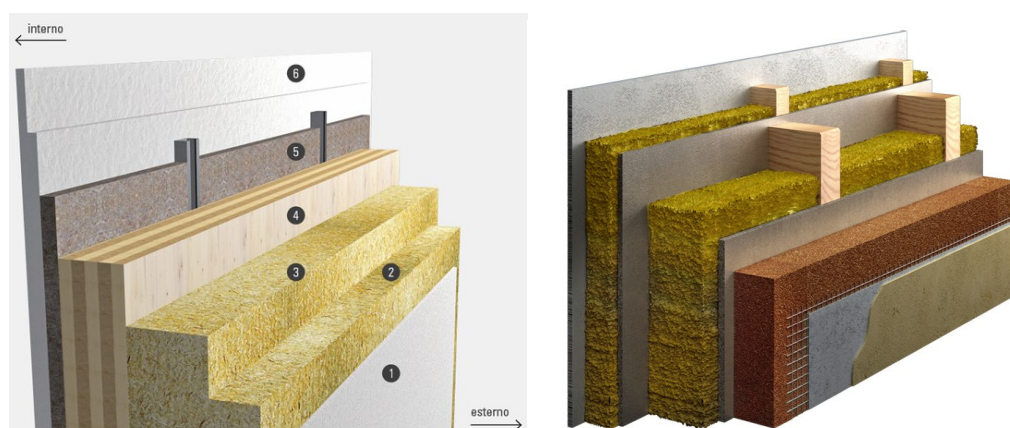


Fig. 37 – Stratigrafia di chiusura in legno: a sinistra costruzione massiccia<sup>32</sup>, a destra costruzione leggera<sup>33</sup>.

<sup>32</sup> Fonte: [http://www.rasom.it/file\\_public/sistema/17/gallery/1.jpg](http://www.rasom.it/file_public/sistema/17/gallery/1.jpg)

<sup>33</sup> Fonte: <http://www.geometrabalzano.it/userfiles/images/TELAIO/sistemaELIOS.jpg>



Le costruzioni di tipo massiccio sono caratterizzate dall'impiego di elementi lignei piani multistrato per cui le dimensioni lungo i due assi principali risultano essere molto maggiori rispetto allo spessore; essi hanno funzione portante, con funzionamento a piastra o a lastra in funzione della tipologia di carico gravante. Gli elementi massicci di parete, solaio e copertura si prestano ad una produzione in stabilimento personalizzata in base alle esigenze della committenza, prevedendo tuttavia sistemi di connessioni semplici e standardizzati: ciò semplifica e velocizza sensibilmente i tempi di montaggio. L'analisi dei progetti partecipanti al contest Solar Decathlon ha mostrato un ricorso poco significativo a questa soluzione; si riporta a titolo d'esempio la stratigrafia della chiusura verticale impiegata dal team francese di Rhone-Alpes nel progetto Canopea. Peculiarità di tale chiusura è l'impiego di pannelli in terra per lo strato di finitura interna: questa scelta risulta essere strategica in un'ottica di controllo del flusso di vapore a vantaggio delle condizioni igrometriche dell'ambiente interno.

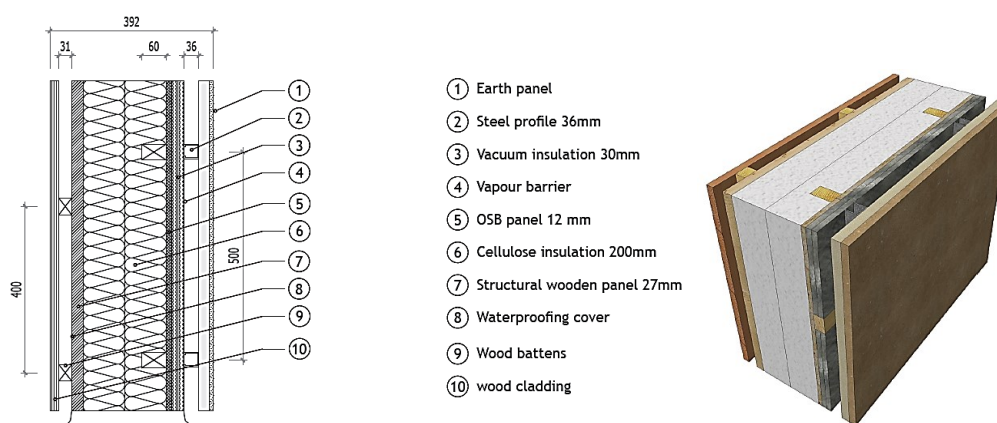


Fig. 38 – Chiusura verticale, Canopea: sistema a parete massiccia.<sup>16</sup>

Al sistema massiccio si oppone la logica tecnologica dell'intelaiatura in legno: assimilando la definizione inglese di "timber frame", ossia di telaio in legno, si definisce costruzione intelaiata un sistema che presenta un'ossatura portante con montanti posti a distanza ravvicinata rivestiti da pannelli in legno dalla duplice funzione di tamponamento ed irrigidimento. La standardizzazione dell'interasse dei montanti e delle dimensioni dei materiali impiegati (pannelli in legno o in gesso, larghezza 125 cm, interasse tra i montanti 62,5 cm) consente la minimizzazione degli sfridi; il sistema si presta, tuttavia, ad una buona flessibilità compositiva e dimensionale, in caso di necessità della committenza. I progetti del contest Solar Decathlon analizzati che hanno impiegato la tecnologia a pareti intelaiate, hanno fatto ricorso ad un doppio strato di isolamento termico, per ovviare ai problemi di discontinuità che l'inserimento dell'isolamento tra un montante e l'altro comporta; le soluzioni più ricorrenti prevedono la

posa di isolamento sfuso (cellulosa) o schiuma di varia natura come strato più interno, in spessore di telaio; esternamente, la soluzione più ricorrente prevede la posa di uno strato di isolamento in pannelli rigidi o pannelli VIP, Vacuum Insulation Panels, che uniscono un alto potere isolante a esigui spessori.

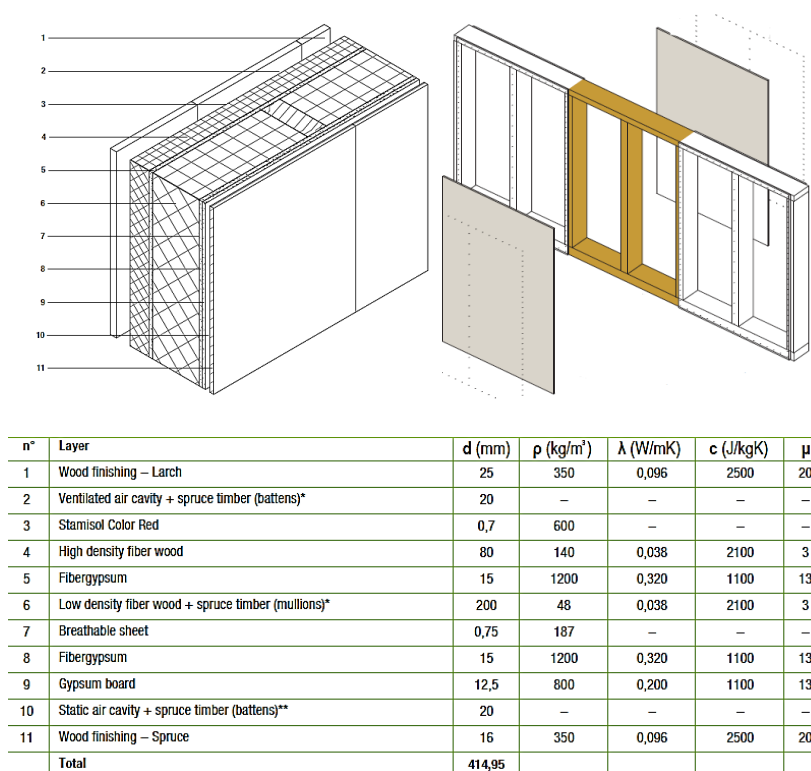


Fig. 39 – Chiusura verticale, Rhome for DenCity: sistema a parete intelaiata.<sup>10</sup>

### 3.6. Tecnologie di involucro trasparente

Come si è già avuto modo di osservare, le componenti trasparenti dell'involucro di un edificio rivestono un ruolo cruciale e assai delicato nella determinazione del comfort interno; attraverso le parti vetrate ha luogo un flusso bidirezionale di energia, che si compone di una frazione entrante nell'edificio, costituita dai guadagni solari, e da una frazione uscente, rappresentata dalle dispersioni. La scelta delle caratteristiche e delle prestazioni delle componenti trasparenti risulta essere una questione di primaria importanza e di grande delicatezza per la regolazione di tale flusso.

In presenza di un clima dal temperato al freddo, il principale problema risulta esser quello del contenimento dei disperdimenti invernali; il parametro che governa questo fenomeno, come noto, è la trasmittanza media del componente vetrato  $U_w$ , che dipende dalle prestazioni

termiche del telaio, del vetro e dalle condizioni che si verificano lungo l'interfaccia tra i due sottocomponenti. Ne deriva che, al decrescere della trasmittanza termica di uno dei due, anche il valore di trasmittanza globale dell'infisso diminuisce; per questa ragione, in tutti i progetti Solar Decathlon analizzati si è riscontrato l'impiego di vetrocamere caratterizzate da  $U_g$  piuttosto basso.

Le soluzioni tecnologiche impiegate all'interno dei progetti Solar Decathlon sono principalmente di due tipi: doppia vetrocamera con vetri chiari oppure vetrocamera singola con impiego di vetri basso emissivi; in entrambi i casi l'intercapedine della vetrocamera risulta essere riempita con gas argon. La tecnologia dei vetri basso emissivi prevede che venga depositata una patina di ossidi metallici su una faccia della lastra in fase di produzione; tale patina ha l'effetto di modificare il comportamento del vetro: esso, infatti, risulta essere trasparente alle onde corte dell'irraggiamento solare entrante ma, grazie al processo di patinatura, ottiene un buon livello di riflessione nei confronti delle onde lunghe dovute all'irraggiamento di calore connesse al fenomeno delle dispersioni invernali attraverso gli elementi trasparenti. Il principale scopo è quello di ottenere bassi valori di  $U_g$ ; tali vetri termicamente performanti, unitamente ad un telaio con taglio termico, forniscono un buon compromesso tra le dispersioni invernali e i guadagni solari.

Per i climi caldo-temperati, la questione si sposta invece sul controllo della radiazione entrante durante la stagione estiva. A tal scopo, la soluzione maggiormente adottata riguarda l'impiego di vetri a controllo solare, o selettivi: essi sono particolari tipi di vetri basso emissivi, caratterizzati dalla capacità di filtraggio della radiazione solare entrante, che riducono l'azione dell'irraggiamento estivo e gli annessi fenomeni di surriscaldamento degli ambienti interni. Per ottenere tali performance, in fase produttiva è applicato sulla lastra un ulteriore film di rivestimento metallico, detto magnetronico: esso permette di filtrare il calore trasmesso dall'irradiazione solare, garantendo al contempo un'elevata luminosità degli ambienti interni; ciò che si determina è una riduzione tra il 40 ed il 70% del calore trasmesso, con una variazione minima nella componente di luce visibile.

### 3.7. Controllo della radiazione solare

Il controllo della radiazione solare è un aspetto fondamentale della progettazione bioclimatica. Alle latitudini caratterizzate da climi freddi e rigidi, sfruttare il potenziale di riscaldamento dell'energia termica proveniente dal Sole che investe l'edificio e minimizzare i disperdimenti,

sono i due punti chiave per raggiungere buoni livelli di comfort invernale, attenuando il carico che grava sull'impianto e, di conseguenza, i consumi energetici; all'opposto, per quelle località in cui le alte temperature risultano essere il problema principale, occorre prevedere efficaci sistemi di schermatura in grado di proteggere l'abitazione dal pericolo di surriscaldamento estivo.

### 3.7.1. Sistemi di controllo passivo per il riscaldamento

I sistemi di controllo passivo finalizzati al guadagno di calore sono principalmente due: la *gestione dei flussi termici* e il *riscaldamento solare*, specialmente se abbinato a *elementi massivi*.

Nel primo caso, il livello di isolamento delle chiusure perimetrali (opache e trasparenti) e la tenuta all'aria dell'involucro sono gli elementi essenziali in grado di ridurre i flussi termici che causano il disperdimento del calore presente in ambiente. La funzione isolante è da ritenersi efficace anche in estate, poiché previene il trasferimento all'interno dell'edificio di calore generato dal surriscaldamento della superficie esterna delle chiusure, a sua volta indotto dalla radiazione solare incidente. Come prevedibile, i valori di trasmittanza termica  $U$  riscontrati nei casi Solar Decathlon analizzati sono considerevolmente bassi: le chiusure opache verticali e orizzontali si attestano intorno a valori compresi tra lo  $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$  e lo  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mentre quelli relativi alle chiusure trasparenti variano tra  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $1,2 \text{ W/m}^2$ . Come si può notare, la differenza tra questi valori è piuttosto marcata, pur trattandosi di soluzioni estremamente performanti: ciò significa che è essenziale bilanciare il rapporto tra le superfici vetrate ed opache per non eccedere con le dispersioni invernali. Differenziare i livelli di isolamento termico in funzione dell'esposizione può risultare particolarmente utile nei casi in cui si hanno notevoli differenze di temperature superficiali tra le zone rivolte a nord e sud, oppure in copertura, dove il flusso disperdente è tendenzialmente maggiore; il progetto Prêt à Loger dell'università di Delft, ad esempio, ha adottato questo tipo di approccio: la chiusura opaca del prospetto rivolto a nord ha subito un incremento dello spessore di isolante rispetto a quanto riscontrabile nelle esposizioni sud, est e ovest, così come la falda di copertura, anch'essa a nord, è stata realizzata con tetto verde, in cui lo strato di terreno incrementa i valori di resistenza termica  $R$  e, al tempo stesso, produce un benefico effetto di abbattimento delle temperature superficiali in stagione estiva. Analoga soluzione in copertura è stata adottata dal progetto WaterShed dell'Università del Maryland.

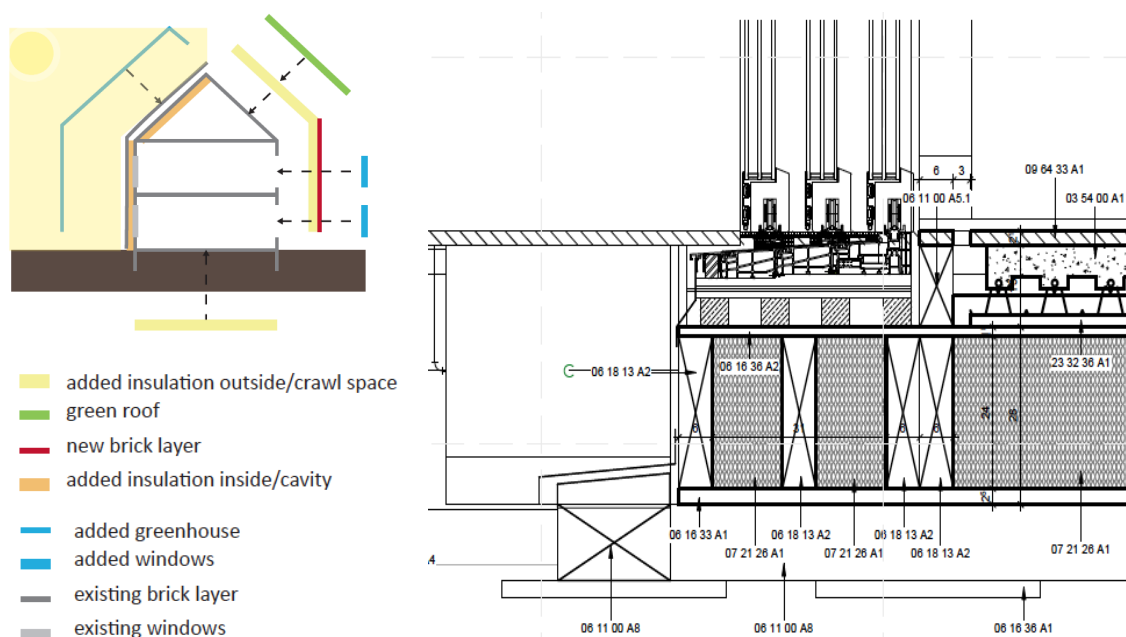


Fig. 40 – A sinistra: schema della composizione dell’involucro, Prêt à Loger, Delft University of Technology.<sup>10</sup> A destra: dettaglio costruttivo dell’attacco a terra, Lisi, Vien University of Technology.<sup>9</sup>

Adottando dei livelli di isolamento termico così performanti, è essenziale limitare al minimo i ponti termici lineari, in quanto in presenza di edifici altamente performanti, elevati coefficienti di trasmittanza lineica  $\psi$  hanno un’incidenza sui disperdimenti globali decisamente elevata; tale problema può essere ovviato tramite un’accurata scelta delle soluzioni tecnologiche e una minuziosa progettazione dei dettagli costruttivi che, in questo senso, risulta essere essenziale al fine di garantire la continuità dello strato isolante esterno. Analizzando gli elaborati di dettaglio dei vari progetti, appare evidente come lo studio di ogni particolare esecutivo sia piuttosto particolareggiato, al fine di ridurre al minimo gli eventuali problemi in fase costruttiva, con lo scopo ultimo di migliorare il comfort interno del prototipo.

Al fine di evitare infiltrazioni indesiderate di aria esterna, un aspetto fondamentale da considerarsi è la tenuta all’aria dell’involucro: i valori ottimali di  $n_{50}$ <sup>34</sup> per edifici di pari pregio tecnologico e prestazionale si attestano al di sotto di 0,6 1/h; ancora una volta, particolare attenzione andrà posta a livello di nodi costruttivi, in particolar modo nelle zone di interfaccia tra gli elementi perimetrali.

L’utilizzo di chiusure così performanti è essenziale per lo sfruttamento dei guadagni interni generati dagli occupanti dell’abitazione, tipicamente il calore prodotto dagli elettrodomestici,

<sup>34</sup> Il parametro  $n_{50}$  esprime il rapporto orario del ricambio d’aria volumetrico dell’edificio per una differenza di pressione pari a 50 Pa.

dai computer, dai dispositivi elettronici e dall'uomo stesso. Essi possono contribuire in buona parte al soddisfacimento delle condizioni interne di comfort, a patto che si riesca a riutilizzare parte di questa energia termica prodotta. Di contro, va sottolineato che un involucro estremamente isolato termicamente e con valori così bassi di ricambio orario può generare due problematiche: la prima relativa alla qualità dell'aria, per cui, in assenza di sufficienti ricambi orari, la concentrazione di sostanze inquinanti può raggiungere rapidamente livelli non tollerabili dal sistema respiratorio umano. Per ovviare al problema, quasi tutti i casi Solar Decathlon presentano sistemi di ventilazione meccanica abbinati a scambiatori di calore per il recupero dell'energia termica generata dai suddetti carichi interni. La seconda problematica concerne il surriscaldamento nel periodo estivo causato dall'ingresso della radiazione solare all'interno dell'edificio: con tecnologie a secco leggere, difficilmente l'involucro è in grado di smaltire il calore in eccesso, vista anche la sua scarsa capacità termica, e considerato che alti spessori di isolamento sono concepiti proprio per limitare al minimo le dispersioni. Da qui, la necessità di installare appositi dispositivi di schermatura in grado di mitigare la radiazione incidente o impianti tecnici a raffrescamento solare.

La seconda strategia di ottimizzazione del riscaldamento passivo di un edificio consiste nello sfruttare direttamente o indirettamente l'energia termica prodotta dal sole, facendo in modo che questa sia trasferita all'interno della zona abitata; come già visto in precedenza, la soluzione più immediata prevede di distribuire le aperture trasparenti sui prospetti caratterizzati da una maggiore area di captazione solare, ovvero a sud. Altri sistemi passivi indiretti utilizzati consistentemente nei progetti analizzati, sono i muri di Trombe-Michel (muri passivi) e le serre solari. Il principio di funzionamento dei due è il medesimo: le chiusure perimetrali sono circondate da un ulteriore strato completamente vetrato, in grado di mitigare il salto termico tra interno ed esterno nel periodo invernale grazie all'effetto di surriscaldamento che si genera all'interno dell'intercapedine di separazione tra i due componenti costruttivi. Per ottimizzarne il comportamento, è auspicabile prevedere un sistema di convogliamento dell'aria di intercapedine, resa più calda dall'effetto serra appunto, tramite due aperture poste alla base e in sommità della chiusura opaca; questo meccanismo genera un gradiente di pressione all'interno dell'intercapedine che attiva il moto convettivo: l'aria più fredda, proveniente dall'interno dell'edificio al piede del muro, spinge verso l'alto l'aria più calda, convogliandola verso l'apertura collocata superiormente. L'effetto che si ottiene ha un duplice riscontro positivo: in primo luogo consente di recuperare parte del calore per il preriscaldamento dell'aria d'immissione (nel caso d'impianti di riscaldamento ad aria), e,

contemporaneamente, di esportare l'aria calda dall'intercapedine migliorando l'efficienza complessiva della soluzione tecnica (più bassa è la temperatura all'interno della serra, minore sarà la dispersione di ritorno attraverso il vetro esterno). Molto spesso, come riscontrato in numerosi progetti Solar Decathlon, le serre solari e/o i muri passivi sono integrati con sistemi BIPV-Building Integrated PhotoVoltaics (celle fotovoltaiche interposte tra due lastre vetrate), impianti solari termici e impianti ibridi che, anche in questo caso, producono incrementi prestazionali in tutti i sistemi coinvolti: questi sistemi attivi<sup>35</sup>, oltre ad assolvere la funzione principale per cui sono previsti (produzione di energia elettrica, di acqua calda o di entrambi), contribuiscono a ridurre la radiazione entrante in ambiente nel periodo estivo, problematica principale legata al funzionamento della serra qualora non sia possibile realizzare serramenti apribili. Il progetto francese Canopea, realizzato dal Team Rhone-Alpes, fa dell'utilizzo di tale sistema l'elemento caratteristico dell'intero edificio, applicandolo a tutti i prospetti verticali del piano superiore e integrandolo in copertura con un sistema BIPV; anche la sopracitata Università di Delft adotta la serra solare con celle integrate in serramenti apribili, posizionandola in aggiunta alla facciata rivolta a sud. È da notare, inoltre, che la serra solare rappresenta una zona di espansione dell'edificio, che permette di usufruire di ulteriore superficie abitativa, specialmente nelle stagioni intermedie, impiegando tali spazi come giardino d'inverno fintantoché le temperature al suo interno si mantengono confortevoli; in quest'ottica, bisogna sottolineare che la tendenza dell'utenza a riscaldare tale spazio per renderlo effettivamente vivibile in ogni periodo dell'anno, è una pratica totalmente errata, in contraddizione con i principi di funzionamento su cui si basa questa soluzione tecnologica, rendendola di fatto inutile al fine del riscaldamento passivo e, al contrario, aumentando ancora di più le dispersioni globali.



Fig. 41 – A sinistra: principio di funzionamento della serra solare di Prêt à Loger, Delft University of Technology.<sup>10</sup> A destra: vista dall'interno del piano superiore del progetto Canopea, Team Rhone-Alpes.<sup>13</sup>

<sup>35</sup> Per sistemi attivi s'intendono quei sistemi impiantistici che sfruttano le fonti rinnovabili per assolvere determinati scopi, quali la produzione di energia elettrica, energia termica per gli impianti di riscaldamento e raffreddamento o per la produzione di acqua calda sanitaria, recupero delle acque piovane, ecc. Qui ci si riferisce ai sistemi citati nella riga superiore.

I sistemi solari passivi, specialmente quelli in cui la radiazione solare viene convogliata direttamente in ambiente (chiamati diretti), risultano essere più efficaci se l'edificio in questione possiede una buona capacità termica. Gli elementi massivi, infatti, sono dotati della capacità di accumulare calore, provocando sia un effetto smorzante, sia uno sfasamento temporale nei picchi di temperatura; ciò significa che un edificio con alta capacità termica è in grado di funzionare come una "pila termica", caricandosi durante il giorno quando le temperature sono più elevate, e scaricandosi durante la notte quando il gradiente termico è maggiore. Questo effetto risulta utile soprattutto nel periodo estivo, ma comunque non trascurabile in quello invernale e nelle stagioni intermedie: sebbene sia necessario un tempo maggiore per riscaldare l'ambiente interno in presenza di involucro capacitivo rispetto al caso di involucro leggero, il muro massivo è in grado di garantire maggior stabilità alle condizioni interne, data la sua capacità di assorbire il calore e rilasciarlo gradualmente. Ciò consente di utilizzare l'impianto di riscaldamento in maniera intermittente, soprattutto nei casi in cui la presenza di persone è costante; al contrario, le soluzioni leggere sono meglio indicate per edifici dove è richiesta una rapida risposta dell'involucro, in quanto occupati solamente in certi intervalli orari giornalieri. Vista la natura del contest Solar Decathlon, non è tecnicamente possibile utilizzare i sistemi tradizionali pesanti; per ovviare il problema della leggerezza delle tecnologie a secco in legno, sono state sperimentate diverse soluzioni stratigrafiche delle chiusure o delle partizioni interne, ottimizzate rispetto al comportamento termico dinamico mediante l'inserimento di uno strato a più alta capacità termica sul lato interno: l'università di Roma, ad esempio, ha adottato un sistema in tubolari metallici riempiti con sabbia che, nel periodo invernale, è particolarmente efficace nello smorzare i picchi di temperatura positivi e negativi, mantenendo condizioni interne di temperatura più vicine a quella di set point.

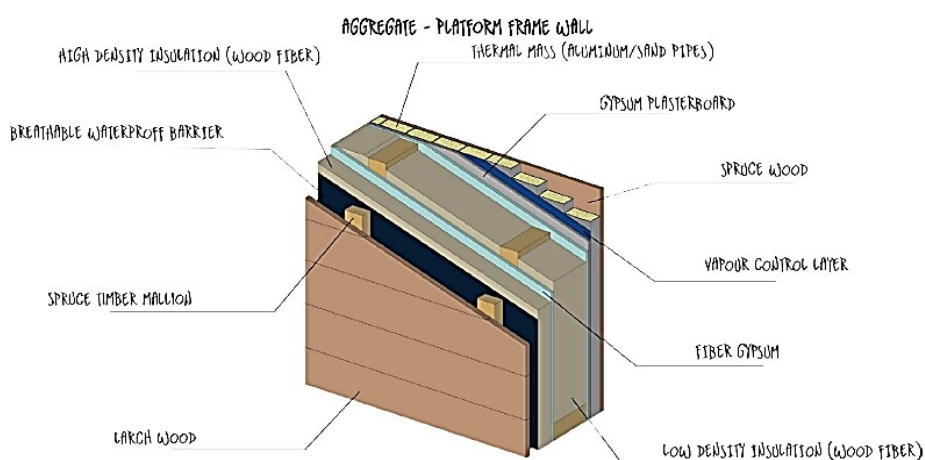


Fig. 42 – Soluzione tecnologica delle chiusure verticali del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3.<sup>10</sup>



### 3.7.2. Sistemi di controllo passivo per il raffrescamento

I vantaggi derivanti dal funzionamento di soluzioni massive è particolarmente apprezzabile nella stagione estiva, quando le proprietà di *accumulo termico* sono maggiormente sollecitate dalle condizioni climatiche esterne; durante l'estate, l'irraggiamento risulta essere più elevato ed è quindi in grado di penetrare più in profondità all'interno dello spessore dell'elemento capacitivo. A tal proposito, Rhome for denCity, ha sperimentato sul suo modello quanto fosse incidente la variazione di spessore del sovracitato strato massivo in sabbia (6, 12 e 24 cm), confrontando i risultati con un sistema privo di tale elemento: i risultati ottenuti dimostrano un progressivo abbattimento delle temperature interne, considerando un giorno tipico del mese di luglio; conseguentemente, prese in considerazione anche le variabili inerenti alla specificità del contest, la scelta adottata dai progettisti è ricaduta su uno strato di spessore pari a 6 cm: l'effetto che produce questa soluzione tecnologica, il 24 luglio, consente di abbassare la temperatura dell'aria interna fino a un massimo di circa 2 °C e sfasarne i picchi di circa 1-2 ore. I benefici dell'isolamento capacitivo sono ulteriormente accentuati se abbinati alla ventilazione naturale (e/o meccanica) notturna, specialmente nei climi in cui si registrano escursioni termiche piuttosto marcate tra il giorno e la notte: non solo il gradiente termico permette una rigenerazione migliore della chiusura, ossia un asporto di una maggior quantità di calore accumulato in fase diurna, ma anche il flusso d'aria stesso contribuisce al successo di tale processo. Per ottimizzare il funzionamento del sistema passivo, è essenziale che l'aria fresca notturna investa tutte le superfici capacitive per poi essere convogliata all'esterno dell'edificio, tipicamente in copertura.

Una soluzione riscontrata nei casi di studio per il miglioramento del comportamento capacitivo in funzionamento estivo, consiste nell'applicare materiali a cambiamento di fase nello strato di finitura interna, ad esempio all'interno di pannelli in cartongesso, come adottato dall'Università tedesca di Darmstadt; la loro applicazione in edilizia è di recente sperimentazione e tuttora in via di sviluppo. Il principio di funzionamento dei PCM (Phase Changing Materials) si basa sull'accumulo di calore latente dovuto alla transizione di fase dallo stato solido a quello liquido di particolari materiali dotati di una modesta temperatura di fusione: tale processo sfrutta la sollecitazione termica proveniente dall'ambiente interno per effettuare la transizione di fase; quando la temperatura dell'ambiente scende al di sotto del punto di fusione del materiale, esso torna al suo stato iniziale, rigenerandosi e rilasciando il calore accumulato. La temperatura di attivazione, per applicazioni edilizie, è intorno ai 23-26 °C: qualora la temperatura dell'aria interna superi questo range, i materiali a cambiamenti di

fase “si attivano”, cambiando fase e assorbendo il calore dall’ambiente interno, generando un effetto di raffrescamento. Durante le ore più fresche, invece, il processo viene invertito, facendo sì che il materiale sia di nuovo pronto per l’accumulo del giorno successivo. Team Germany, nel loro progetto, ha applicato questa tipologia di pannelli sia sullo strato interno di chiusura, sia a controsoffitto, generando una distribuzione ottimale per massimizzarne l’efficacia; anche l’università di Delft ha sperimentato l’uso di PCM, ma in un’applicazione diversa: essi sono collocati all’interno di un box posizionato al di sotto del solaio contro terra, il quale è collegato tramite un condotto interrato ad una presa d’aria esterna realizzata nel giardino antistante l’abitazione; in questo modo, l’aria esterna più calda viene fatta scorrere sotterraneamente e raffrescata mediante interazione con materiali a cambiamento di fase, per poi essere immessa in ambiente a temperature inferiori, compatibili con le condizioni di comfort desiderate.



Fig. 43 – A sinistra: effetto evaporativo della facciata e vasca esterna<sup>36</sup>. A destra: vista dall’interno del patio con la vasca interna e delle lamelle mobili, Patio 2.12, Team Andalusia.<sup>37</sup>

Oltre all’accumulo termico, una buona strategia per il raffrescamento estivo, specialmente nei climi caldo-secchi, è rappresentata dal *raffrescamento evaporativo*, di tipo diretto o indiretto; concettualmente, esso funziona in maniera simile a quanto fanno i PCM, ovvero sfrutta la capacità di assorbimento di calore di un fluido, tipicamente l’acqua, durante la transizione di fase, fino a sua completa vaporizzazione. In questo modo si ottiene un abbassamento della temperatura a parità di entalpia totale scambiata: il processo è da considerarsi adiabatico, cioè senza aumento di quantità di calore totale in ambiente. La differenza tra il raffrescamento evaporativo di tipo diretto e indiretto sta nel contenuto di umidità scambiato con l’ambiente:

<sup>36</sup> Fonte: <http://www.ecointeligencia.com/2012/09/paseo-solar-decathlon-europe-2012-1/>

<sup>37</sup> Fonte: <http://diariodigital.ujaen.es/en/taxonomy/term/3>

nel primo caso, si ha un incremento del contenuto di vapore nell'aria, poiché l'acqua evaporata entra direttamente in contatto con l'aria ambiente; nel secondo, invece, si utilizza uno scambiatore di calore tra l'aria esterna, raffrescata tramite il processo evaporativo diretto, e l'aria presa dall'ambiente, che viene così riemessa in condizioni di temperatura inferiori, ma a parità di contenuto di umidità, dato che non avviene scambio di vapore tra le due miscele, ma solamente di energia. Tipicamente, in ambito edilizio, il raffrescamento evaporativo diretto è ottenuto tramite sistemi impiantistici o, più semplicemente, tramite l'utilizzo di fonti d'acqua quali pozzi, stagni o vasche; in questo caso, se esse sono collocate in ambiente interno devono essere necessariamente abbinate a un sistema di ventilazione in grado di asportare l'umidità in eccesso; per le applicazioni esterne bisogna curarsi di proteggerle dalla radiazione solare che ne causerebbe rapidamente la perdita del potenziale di raffrescamento. Il progetto Patio 2.12, del Team Andalusia spagnolo, ha realizzato il suo prototipo proprio con particolare attenzione a questo tipo di sistema passivo: nella loro revisione in chiave moderna del concetto di patio interno, hanno proposto una zona di comunicazione tra i diversi blocchi funzionali fungente da serra solare per la stagione invernale e da cortile "fresco" estivo, caratterizzata dalla presenza di vasche d'acqua, che creano un ambiente confortevole anche alle temperature spagnole. Le vasche d'acqua vengono riproposte anche all'esterno, al fine di ricreare un microclima più temperato sul perimetro dell'edificio; inoltre, la facciata esterna è realizzata con un sistema ventilato con finitura in blocchi di ceramica, integrato con un impianto d'irrigazione il quale, durante i giorni estivi, le mantiene umide: in tal modo si sfrutta il raffrescamento evaporativo per abbassare le temperature superficiali delle chiusure esterne, senza problemi di aumento di umidità nello spazio confinato. Anche WaterShed, prototipo dell'università del Maryland, fa dell'acqua il fulcro dell'edificio: le piogge e le acque grigie sono collezionate dalla copertura a tetto verde e convogliate in zone umide (*wetlands*) distribuite sul perimetro dell'edificio che le assorbono e le filtrano. L'acqua, quindi, prima di essere riemessa nell'ambiente circostante, circonda costantemente il prototipo e contribuisce a creare un microclima esterno più temperato.

### 3.7.3. Schermature solari

Le schermature solari sono l'elemento tecnologico fondamentale per la regolazione degli apporti solari e per il controllo della radiazione, specialmente quando il problema climatico principale concerne la stagione estiva; un'accurata progettazione e scelta del tipo di sistema di

oscuramento è fondamentale all'interno del contest Solar Decathlon, prova ne sono i variegati sistemi utilizzati da ciascuna squadra, realizzati "ad hoc" per assolvere ogni specificità dei vari progetti. L'efficacia del tipo di soluzione è funzione di molte variabili, ma non può prescindere da uno studio accurato del percorso solare in ogni periodo dell'anno: è necessario, infatti, garantire che l'effetto schermante agisca solamente durante la stagione in cui vi è rischio di surriscaldamento, mentre deve permettere la massima apertura solare in inverno, in modo da massimizzare i guadagni gratuiti diretti o indiretti. Da qui, la propensione di molte squadre a utilizzare schermature mobili e riconfigurabili, che rispondo meglio alla necessità di adattare la risposta dell'edificio alle condizioni climatiche esterne, specialmente per quanto riguarda i fronti est e ovest, in cui la bassa posizione del sole rispetto all'orizzonte dà adito a maggiori disagi; se, invece, si decide di ricorrere a sistemi fissi su tali fronti, si nota che i migliori benefici si ottengono dall'utilizzo di schermature ad elementi verticali. La radiazione incidente sul fronte sud, diversamente, è gestibile in maniera più agevole: è frequente il ricorso ad oggetti fissi orizzontali in grado di schermare l'apertura trasparente in estate, quando il sole è più alto nel cielo, che al contempo non creano ostruzioni nel periodo invernale quando il sole assume una posizione più frontale. In entrambi i casi, la definizione geometrica dell'area di ombreggiamento deve essere particolarmente accurata, soprattutto per i sistemi fissi: a tal fine, è bene ricorrere a strumenti quali i diagrammi solari o a più moderni software per valutare l'efficacia dell'oscuramento adottato.



*Fig. 44 – A sinistra: l'imbotte del serramento, la schermatura fotovoltaica riconfigurabile e l'oggetto in copertura del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3.<sup>38</sup> A destra: lamelle in legno orizzontale e pareti verdi del progetto WaterShed, University of Maryland.<sup>13</sup>*

Come accennato, le soluzioni per realizzare dei buoni sistemi di oscuramento sono molteplici, a partire dalla geometria dell'intero edificio tramite la realizzazione di logge, compenetrazioni di volumi o forme particolari; un esempio è rappresentato da Rhome for denCity, in cui

<sup>38</sup> Fonte: <http://www.territoires.gouv.fr/>

l'elemento loggia riveste un ruolo essenziale per l'intero modulo abitativo. L'effetto schermante dato dalla geometria è integrato con un pannello fotovoltaico scorrevole e inclinabile che consente di aprire totalmente la loggia per massimizzare i guadagni invernali, oscurarla parzialmente nel periodo estivo e totalmente nelle stagioni intermedie. Per la finestra più piccola esposta a sud-ovest, il team romano ha preferito adottare delle ali verticali e orizzontali in modo da creare un'imbotte a protezione dell'elemento trasparente; il fronte sud-est, invece, è protetto completamente dall'aggetto orizzontale in copertura. Altri esempi di soluzioni fisse di oscuramento si riscontrano nel progetto americano WaterShed: qui, il lato esposto a ovest è protetto da una serie di lamelle in legno orizzontali e da due pareti verticali verdi, mentre il lato opposto prevede un lungo aggetto verticale, integrato con un pannello solare termico, a protezione dell'ampio ingresso.



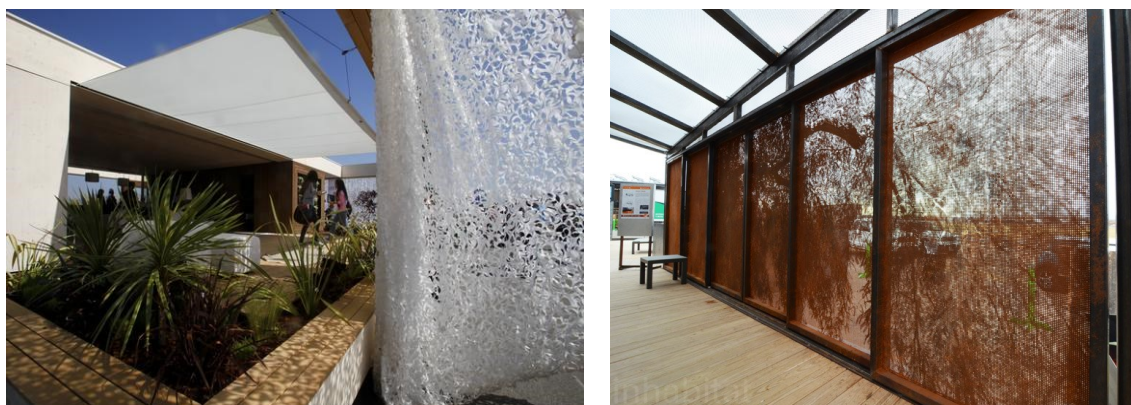
*Fig. 45 – A sinistra: schermatura a lamelle orizzontali fotovoltaica, Team Germany, University of Darmstad.<sup>39</sup> In alto a destra: aggetto verticale integrato con solare termico, WaterShed, University of Maryland.<sup>13</sup> In basso a destra: BIPV mobile dello spazio serra, di Prêt à Loger, Delft University.<sup>13</sup>*

Come si nota nei casi sopracitati, i sistemi di schermatura sono spesso realizzati in abbinamento a impianti solari, così che tramite un singolo elemento tecnico sia possibile assolvere a più funzioni: produrre energia e regolare il flusso di radiazione solare che non si vuole raggiunga lo spazio interno. Sistemi di questo tipo possono creare un effetto schermante

<sup>39</sup> Fonte:

[https://www.eeremultimedia.energy.gov/solar/photographs/thin\\_film\\_photovoltaics\\_solar\\_house](https://www.eeremultimedia.energy.gov/solar/photographs/thin_film_photovoltaics_solar_house)

totale e/o parziale: esempio lampante è il prototipo costruito dal Team Germany dell'Università di Darmstad: l'intero strato di rivestimento esterno dell'involucro è realizzato in pannelli fotovoltaici di colore scuro che, in corrispondenza di alcuni serramenti, si tramutano in lamelle orientabili del tipo bris soleil; la loro orientabilità garantisce un buon controllo sulla radiazione entrante e al tempo stesso permettono l'ingresso della luce naturale quando desiderato. Un buon rapporto tra trasparenza ed effetto schermante può essere ottenuto anche dall'utilizzo dei già menzionati BIPV, che generano particolari ed efficaci giochi di luce e ombra, come dimostrato dai progetti Canopea e Prêt à Loger. Altri sistemi a lamelle movibili, le cui forme e colori richiamano le palminervie della vite, compaiono nel caso spagnolo Patio 2.12, sia per l'applicazione verticale in facciata, sia in copertura.



*Fig. 46 – A sinistra: tende esterne e avvolgibile orizzontale del progetto Lisi, Vien University of Technology.<sup>40</sup> A destra: scorrevoli a rete metallica, DesertSol, University of Nevada.<sup>13</sup>*

Infine, il ricorrere a schermature mobili non meccanicizzate, garantisce una maggiore flessibilità e adattabilità alle esigenze dell'utente nel posizionamento e nel grado di ombreggiamento: tende esterne, avvolgibili o reti metalliche sono soluzioni tipiche riscontrate in diversi progetti che rappresentano un buon compromesso tra i sistemi fissi (più resistenti e durabili, ma meno duttili) e quelli automatizzati (più fragili, ma più adattabili al percorso solare).

### 3.8. Ventilazione naturale

La percezione del movimento dell'aria e la sua capacità di agire sulla traspirazione della pelle contribuiscono in maniera notevole alle condizioni di comfort dell'ambiente durante il periodo

<sup>40</sup> Fonte: <http://articles.latimes.com/2013/oct/12/news/la-lh-solar-decathlon-2013-winner-team-austria-20131012>

estivo; inoltre, come già precedentemente detto, la ventilazione naturale, oltre a contribuire al raffrescamento fisiologico della persona, è in grado di asportare i carichi interni non desiderati. Senza entrare nello specifico dei principi fisici, il moto di flussi d'aria può essere innescato da una differenza di pressione o di temperatura, o dall'azione combinata delle due. Nel primo caso, l'impatto del vento sull'edificio è ciò che genera un gradiente di pressione tra le facce sopravento e quelle sottovento; l'intensità di tale forza motrice è funzione di diversi aspetti: oltre che dalla velocità e dalla direzione dei venti dominanti (se perpendicolari alla faccia esposta gli effetti sono maggiori), dipende anche dalla morfologia dell'edificio; la distribuzione delle aperture e dei locali interni ne determina l'efficacia in termini di velocità dell'aria in ambiente: infatti, è necessario garantire all'interno dello spazio confinato valori delle velocità dell'aria sufficientemente elevati in corrispondenza della superficie corporea dell'uomo, così da rendere efficiente l'asportazione del calore di traspirazione e generare la sensazione di fresco sulla pelle; in questo senso sporgenze, rientranze, spigoli o frammentazione dei volumi possono generare zone locali di sovrappressione o depressione che aumentano l'afflusso di aria. Il meccanismo di *ventilazione trasversale* è quello maggiormente influenzato dalla differenza di pressione: aprendo due superfici sui lati opposti, è possibile garantire che l'aria circoli in ambiente, spinta all'interno dalla forza del vento e aspirata dalla faccia a più bassa pressione; la grandezza delle aperture (oltre che, come detto, la velocità del vento), determina la portata di ventilazione, mentre la posizione in pianta e in altezza ne determina la distribuzione all'interno dello spazio confinato: posizionare le aperture contrapposte a due diverse quote altimetriche o sfalsate in planimetria, consente di ottenere una ripartizione interna più uniforme del flusso, così come la presenza di partizioni può causare la deviazione del flusso o un disturbo tale da renderlo inefficace: per questo motivo sono preferibili piante open space e arredi che non costituiscano un elemento di ostruzione al moto dell'aria. È importante sottolineare che in estate, più che il ricambio d'aria, è consigliabile aumentare la velocità interna, ragion per cui non sempre massimizzare la dimensione delle aperture rappresenta la scelta più vantaggiosa: a tal fine, è opportuno contenere l'area da cui si prevede l'ingresso dell'aria, limitandone l'estensione superficiale o ricorrendo a dispositivi esterni in grado di modularla. Tali elementi, tipicamente lamelle orientabili o bocchette di ventilazione, garantiscono anche un maggior controllo sulla direzionalità: nel progetto Canopea, per contrastare il surriscaldamento estivo generato dall'involucro interamente vetrato al piano superiore, il Team Rhone-Alpes ha adoperato questo tipo di soluzione su tutti e quattro i lati, così da permettere all'utenza di variare l'intensità e la distribuzione del moto d'aria a seconda

della direzione del vento. Quasi tutti i progetti Solar Decathlon hanno posto particolare attenzione alla ventilazione trasversale mediante l'adozione di ampie superfici vetrate collocate in posizione contrapposta.

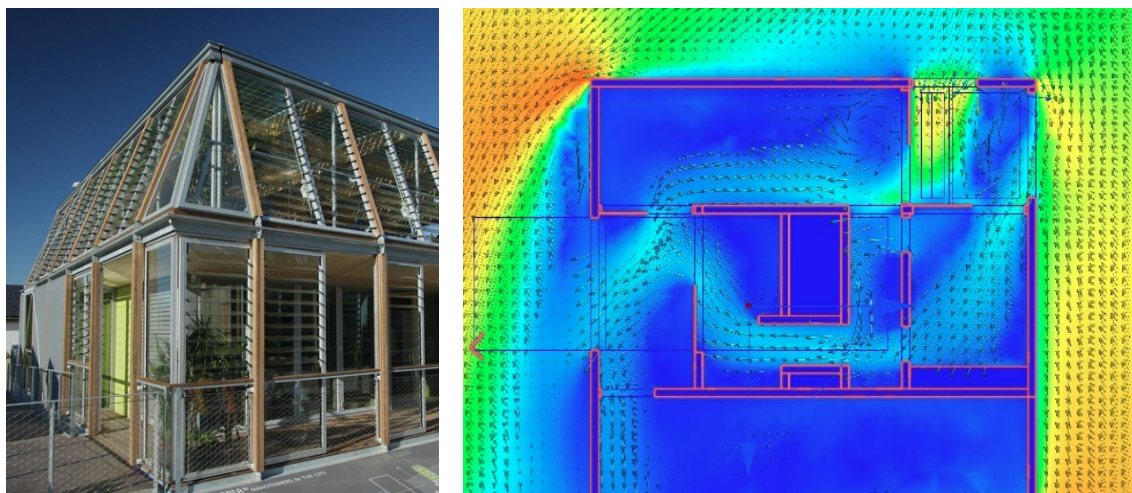


Fig. 47 – A sinistra: la soluzione a lamelle orientabili del progetto Canopea, Team Rhone-Alpes.<sup>41</sup> A destra: analisi fluidodinamica della distribuzione interna dei flussi d'aria del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3.<sup>10</sup>

Il gradiente di temperatura è responsabile dei moti convettivi naturali dell'aria: un fluido caldo, meno denso, tende a dirigersi verso l'alto, mentre uno freddo e più denso tende a spostarsi verso il basso; l'*effetto camino* applicato in edilizia si basa proprio su tale principio: grazie alla presenza di aperture poste in copertura, si mira ad espellere l'aria calda in sommità dell'edificio tramite l'immissione di aria più fresca alla sua base. Per garantire il verificarsi di tale fenomeno, quindi, bisogna realizzare delle aperture anche in copertura o in prossimità del soffitto e, se possibile, convogliare il flusso d'aria in tale direzione tramite l'utilizzo di camini solari o restringendo la sezione trasversale della copertura man mano che ci si allontana dall'estremo inferiore. Maggiore è l'altezza della costruzione, migliore sarà l'efficacia dell'effetto camino; per edifici più bassi, come quelli del contest Solar Decathlon, si ottengono i migliori risultati durante le ore notturne, quando le temperature dell'aria esterna sono decisamente meno elevate e consentono l'instaurarsi di un buon gradiente termico; come descritto nel paragrafo precedente, la ventilazione notturna risulta particolarmente apprezzabile come sistema di rigenerazione della capacità di accumulo termico delle strutture massive, a patto che sia prevista una configurazione ottimale dell'edificio che favorisca la fuoriuscita del calore in copertura. A causa delle pressioni riscontrabili in sommità, dove le

<sup>41</sup> Fonte: <http://tectonicablog.com/?p=56818>



correnti d'aria esterna sono più sostenute, può verificarsi che l'aria da espelle sia spinta verso il basso da quella entrante per effetto del vento, provocando un'inversione del moto naturale, che può causare un ritorno in ambiente del carico termico che si intende disperdere all'esterno. Per questo motivo, bisogna prevedere dei sistemi di aggetto che possano creare depressione locale, o in alternativa, posizionare le aperture in sommità al riparo dal vento; lo studio di queste soluzioni è una parte importante in quasi tutti i casi di studio analizzati, come riscontrato in particolar modo nel progetto INhome dell'Università americana di Purdue: qui, l'ingresso dell'aria è garantito dai serramenti in facciata, mentre il colmo della falda del tetto a nord si innesta a una quota maggiore rispetto alla falda a sud, in modo da consentire la realizzazione di aperture per l'instaurarsi dell'effetto camino, che risulta così migliorato dalla geometria della costruzione. Anche il più volte citato Rhome for denCity pone particolarmente in rilievo il comportamento dell'edificio rispetto alle correnti aeree: la ventilazione trasversale è realizzata tramite le ampie vetrate d'accesso alla loggia e ottimizzata dalla forma geometrica a doppia L della pianta, in cui le logge occupano posizioni contrapposte; l'effetto camino è realizzato mediante lucernari in copertura il cui effetto aspirante è accresciuto dalla geometria della copertura a due falde asimmetriche e dalla struttura di sostentamento inclinata che restringe lo spazio interno in prossimità del serramento.

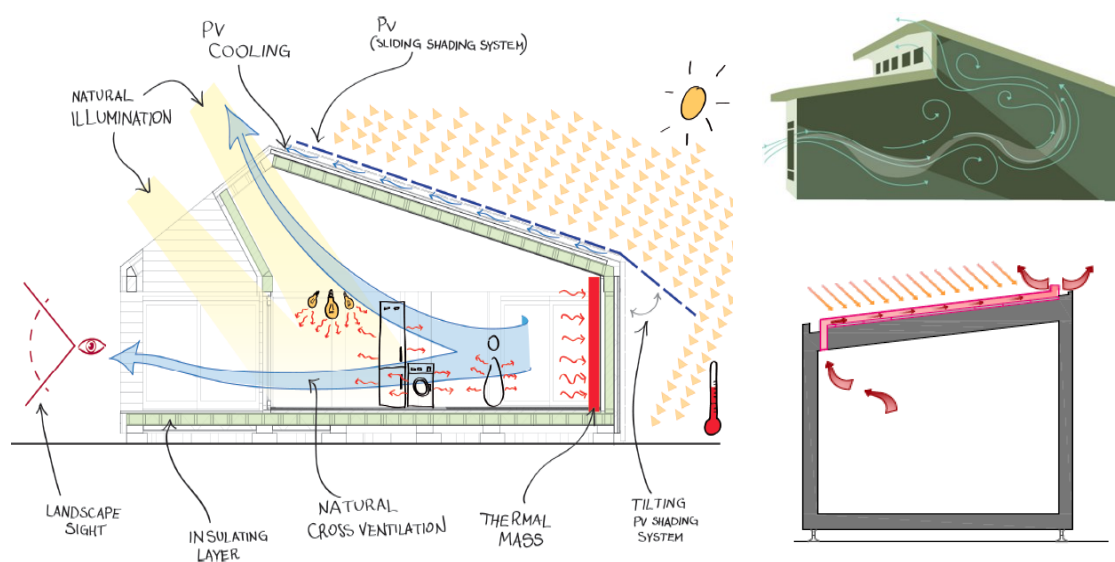


Fig. 48 – A sinistra: schema del comportamento passivo del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3.<sup>10</sup> In alto a destra, schema dell'effetto camino nel progetto INhome, Team Purdue.<sup>9</sup> In basso a destra: schema di funzionamento del camino solare del progetto Patio 2.12, Team Andalucia.<sup>16</sup>

Infine, l'utilizzo di camini solari è soluzione tecnica studiata per ottimizzare l'asporto di calore per effetto camino: nel progetto Patio 2.12, la copertura inclinata dei blocchi di cui è composto

l'edificio ospita dei piccoli condotti di dimensioni 10x30 cm che consentono di espellere l'aria aspirata tramite delle bocchette installate a soffitto; il funzionamento è massimizzato grazie all'utilizzo di una piastra in pietra che, per merito della sua capacità termica, riscalda l'aria in uscita, così da creare un maggior salto termico con l'aria proveniente dall'interno.

### 3.9. Soluzioni impiantistiche

Per raggiungere gli elevati standard di efficienza energetica richiesti da Solar Decathlon, è necessario affiancare ad un'attenta progettazione bioclimatica e ad un involucro performante un insieme di impianti meccanici che lavorino sinergicamente tra loro e con tutte le parti dell'edificio. Il presente elaborato non intende soffermarsi sulle soluzioni impiantistiche, ma si concentra solamente su quanto descritto in maniera esaustiva nei paragrafi precedenti; di conseguenza, non si approfondisce ulteriormente il tema dei servizi tecnologici, ma ci si limita a riportare una brevissima sintesi delle caratteristiche generali riscontrate nei casi di studio.

Per minimizzare i consumi energetici, non è possibile prescindere da un sistema di recupero del calore in espulsione dall'edificio. Si osservano diverse tipologie di recuperatori: entalpici, operanti sui flussi d'aria in transito attraverso l'impianto di ventilazione, oppure acqua-acqua per preriscaldare l'acqua della doccia con quanto appena utilizzato.

Data la versatilità di impiego e l'elevata efficienza del sistema, la maggioranza degli esempi analizzati risulta essere dotata di pompe di calore per il riscaldamento ed il raffrescamento estivo: differenti sono, invece, le soluzioni adottate e le tipologie di pompe impiegate.

Le pompe di calore si prestano ad integrazione con sistemi di generazione di energia da fonti rinnovabili quali pannelli fotovoltaici, solare termico o pannelli ibridi: data la natura strettamente temporanea degli edifici destinati alla competizione Solar Decathlon, non sono stati riscontrati esempi di impianti per lo sfruttamento dell'energia geotermica.

Un fattore comune a molti progetti risulta essere il recupero idrico: esso può essere inteso come accumulo di acqua piovana per l'irrigazione di spazi verdi, oppure come reimpiego di acqua domestica per lo scarico dei wc, fino a soluzioni di totale indipendenza idrica e completo recupero grazie a innovativi sistemi di filtraggio e purificazione.

## CAPITOLO IV

### CARATTERIZZAZIONE DEL MODELLO DI ANALISI

*“Determine that the thing can and shall be done,  
and then we shall find the way.”*

*Abraham Lincoln, Speech in United States House of Representatives on  
Internal Improvements, 1848.*

#### 4.1. L'importanza dei modelli energetici

Al giorno d'oggi, il concetto di energia e risparmio energetico in ambito edile è un tema di primaria importanza ormai da diversi anni in tutto il panorama internazionale; si tratta, infatti, di uno dei principali aspetti, se non il primo in assoluto, a cui ogni progettista deve prestare attenzione durante le fasi di progettazione di ogni edificio; prova ne sono le sempre più stringenti normative in materia di contenimento dei consumi: in Italia, il primo passo verso la definizione di parametri di controllo relativi al risparmio energetico degli edifici risale al 1976 tramite l'emanazione della legge 373/76, cui hanno fatto seguito, in particolar modo a partire dagli anni '90, una serie di modifiche e raffinamenti del quadro normativo fino alla definizione delle attuali certificazioni energetiche. A conferma dell'importanza del tema, l'Unione Europea ha da sempre indirizzato i Paesi membri verso l'adozione di politiche mirate alla salvaguardia dell'ambiente, mediante la definizione di direttive finalizzate al risparmio energetico e alla promozione dell'utilizzo di fonti rinnovabili: dapprima, limitando l'uso di tutto ciò che ha un potenziale impatto distruttivo o inquinante sull'ambiente, in seguito ponendosi obiettivi sempre più ambiziosi per quanto concerne la produzione energetica non legata all'utilizzo di combustibili fossili e minerali. Esempificazione di questo concetto è la Direttiva 2009/29/CE, meglio nota come “Piano 20-20-20”: ridurre del 20% i consumi di fonti primarie, ridurre del 20% l'emissione di gas climalteranti, utilizzare almeno il 20% di fonti rinnovabili per la copertura del fabbisogno energetico finale; il tutto da attuare entro il 2020. In questo contesto, il settore delle costruzioni gioca in ruolo essenziale, essendo uno dei maggiori responsabili dello sfruttamento delle risorse naturali e dell'emissioni di gas serra: ciò significa che, ottimizzando il comportamento energetico degli edifici, l'edilizia può essere il settore trainante verso il raggiungimento dei targets imposti dalla UE.

Progettare, ma soprattutto realizzare, un edificio con ottime prestazioni termiche e dai bassi consumi, non è per nulla un processo semplice, viste le numerose variabili che concorrono alla definizione di un sistema edilizio efficiente: caratterizzazione prestazionale dei materiali costituenti l'involucro, durabilità degli stessi, accorgimento nei dettagli progettuali, integrazione impiantistica con sistemi di sfruttamento delle energie rinnovabili, correlazione reciproca tra i componenti, gestione dell'edificio da parte dell'utenza, sono solamente alcuni dei tanti fattori che determinano il buon funzionamento dell'organismo edilizio nel suo insieme. Il modo migliore per garantire l'efficacia prestazionale dell'architettura da realizzarsi, è simularne il comportamento in opera tramite l'ausilio di modelli energetici digitali: fortunatamente, la recente evoluzione tecnologica ha messo a disposizione una serie di strumenti informatici che, se correttamente gestiti dall'uomo, possono permettere di prevedere in maniera abbastanza accurata quale sarà la risposta dell'edificio alle forzanti climatiche cui è sottoposto. Per questi motivi, è sempre più rilevante e diffuso il ricorrere a software di modellazione energetica in regime dinamico che ben approssimano, in linea teorica, il reale comportamento delle costruzioni. È importante, di contro, che tali strumenti, dal potenziale piuttosto elevato, siano gestiti in maniera conscia da parte di coloro che li utilizzano, in quanto piccoli errori in fase di modellazione possono comportare risultati estremamente discordanti con quanto atteso o con quanto effettivamente si potrà verificare in situ; l'analisi critica dei risultati ottenuti, quindi, rappresenta un momento di vitale importanza nella fase di progettazione energetica, in quanto indice di eventuali imprecisioni in cui si è incappati, al fine di evitare che tali errori si ripercuotano in opera, quando è molto più oneroso correggerli.

#### **4.2. Il modello architettonico di base**

Per valutare l'efficacia delle strategie e delle tecnologie maggiormente applicate all'interno dei prototipi di Solar Decathlon è stato definito un modello architettonico basandosi sulla seguente strategia: cercare di trasferire i principi architettonici tipici di Solar Decathlon a una delle tipologie abitative più diffuse in Italia, ovvero la villa monofamiliare su due piani (tipicamente abitazioni unifamiliari isolate o villette a schiera); per questo motivo, sono stati abbandonati gli standard dimensionali costruttivi imposti dal contest per orientarsi verso quelli

stabiliti dai regolamenti edilizi italiani<sup>42</sup>, cercando tuttavia di salvaguardare la compattezza dell'intero edificio al fine di contenere le dispersioni invernali, consci dell'influenza del rapporto S/V sul comportamento energetico<sup>43</sup>.

In prima battuta è stato necessario definire un modello architettonico che fungesse da riferimento per le analisi da eseguire; al variare delle diverse soluzioni oggetto d'indagine, sono stati confrontati i risultati ottenuti dalle varianti di modello<sup>44</sup>, paragonandoli alla configurazione di base. Di seguito si riportano in breve le caratteristiche salienti del modello di partenza; in questa prima fase non vengono specificate le caratteristiche prestazionali dell'involucro, in quanto rappresentano un parametro variabile a seconda delle soluzioni tecnologiche adottate; si riportano solamente i parametri geometrici e gli aspetti generali riguardanti il modello architettonico. Si rimanda ai successivi paragrafi per informazioni più dettagliate.

<i>Superficie netta</i>	69,6	m <sup>2</sup>
<i>Superficie lorda</i>	108	m <sup>2</sup>
<i>Superficie disperdente</i>	281,22	m <sup>2</sup>
<i>Volume interno netto</i>	187,9	m <sup>3</sup>
<i>Volume esterno lordo</i>	241,4	m <sup>3</sup>
<i>Rapporto S/V</i>	1,17	-
<i>Area superfici opache</i>	267,98	m <sup>2</sup>
<i>Area superfici trasparenti</i>	13,24	m <sup>2</sup>
<i>Strategia impiantistica riscaldamento</i>	Sistema a pannelli radianti o a radiatori <sup>45</sup> ; sistema di generazione non specificato	
<i>Strategia impiantistica raffrescamento</i>	Non previsto	

Tabella 10 – Caratteristiche generali del modello architettonico di base.

### 4.3. Caratteristiche essenziali del modello

Il modello vuole rappresentare la tipologia italiana della tipica villetta monofamiliare su due piani, pensata per esser collocata in posizione isolata rispetto ad altri edifici. Va precisato che,

<sup>42</sup> Ogni comune fissa determinati limiti; dovendo in seguito analizzare il modello in differenti località italiane, si è verificato che la geometria del prototipo rispettasse i regolamenti edilizi di ogni città considerata.

<sup>43</sup> Il rapporto S/V non è oggetto di indagine; si è deciso di concentrarsi su altre soluzioni a parità di tale valore, seppur consci dell'incidenza della geometria sui disperdimenti totali.

<sup>44</sup> Per variante di modello si intende un prototipo che risulta esser difforme rispetto al caso base per una sola caratteristica morfologica o tecnologica.

<sup>45</sup> In realtà, non verrà specificato quale dei due si è utilizzato viste le semplificazioni apportate all'impianto, vedasi sottoparagrafo relativo alla modellazione impiantistica.

data la natura dell'indagine da svolgersi, non si è riservata una speciale cura agli aspetti estetici dell'edificio in esame, ne si è pensato di caratterizzare un specifico lotto d'insediamento.

Il modello di edificio proposto si sviluppa su due livelli: un piano terra concepito per la zona giorno, composto da un salotto open space con angolo cottura, un bagno di servizio e una zona portico; il piano primo, invece, ospita la zona notte e consta di una camera matrimoniale, una camera singola, un bagno e una terrazza a servizio di tutti gli occupanti. L'impronta planimetrica è rettangolare con dimensioni di 6 x 9 m, per uno sviluppo in altezza totale pari a 6,33 m rispetto al piano di calpestio esterno; l'orientamento della configurazione di base prevede che l'asse maggiore dell'edificio si collochi lungo la direttrice est-ovest, in modo da rivolgere la più ampia superficie possibile a sud, in previsione di sfruttare al meglio gli apporti solari della stagione invernale. Per quanto riguarda le aperture, il modello base è stato dotato di serramenti la cui area risulta essere funzione dei requisiti minimi d'illuminazione e aereazione dei locali interni (RAI pari a 1/8); la distribuzione delle finestre in funzione dell'esposizione ha seguito la logica della minimizzazione della superficie vetrata rivolta a nord, sempre in previsione di limitare i disperdimenti, mentre si è cercato di non eccedere con le aperture sul fronte ad ovest in quanto risulta più complicata la gestione degli apporti solari nella stagione estiva; tuttavia, al fine di massimizzare gli effetti della ventilazione trasversale al piano terra, sono state previste delle aperture su tutti i lati ad eccezione del nord, ove trova collocazione solo la porta d'accesso all'edificio. Inoltre, per garantire l'accesso al portico e al terrazzo al piano superiore, è stato necessario prevedere due portefinestre, motivo per cui il prospetto est è quello che ha il maggior rapporto tra superficie trasparente e totale.

	A m <sup>2</sup>	A <sub>o</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>f</sub> m <sup>2</sup>
Prospetto NORD	57,15	55,26	1,89
Prospetto SUD	57,15	53,15	4,00
Prospetto OVEST	38,1	35,9	2,20
Prospetto EST	38,1	32,95	5,15
Controtterra	45,36	45,36	0,00
Copertura	45,36	45,36	0,00
<b>Totale Prospetto</b>	<b>190,5</b>	<b>177,26</b>	<b>13,24</b>
<b>Totale Controtterra</b>	<b>45,36</b>	<b>45,36</b>	<b>0,00</b>
<b>Totale Copertura</b>	<b>45,36</b>	<b>45,36</b>	<b>0,00</b>
<b>TOTALE</b>	<b>281,22</b>	<b>267,98</b>	<b>13,24</b>

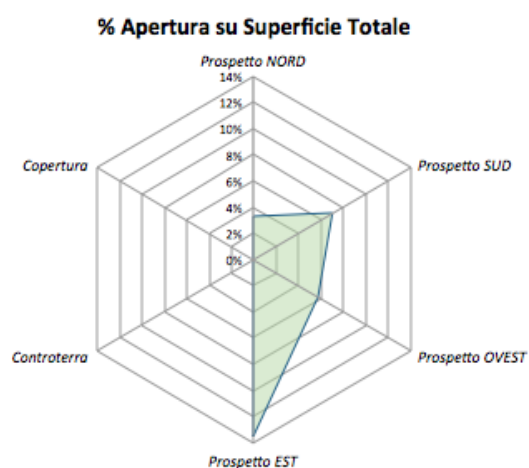


Tabella 11 – Distribuzione superfici d'involucro.

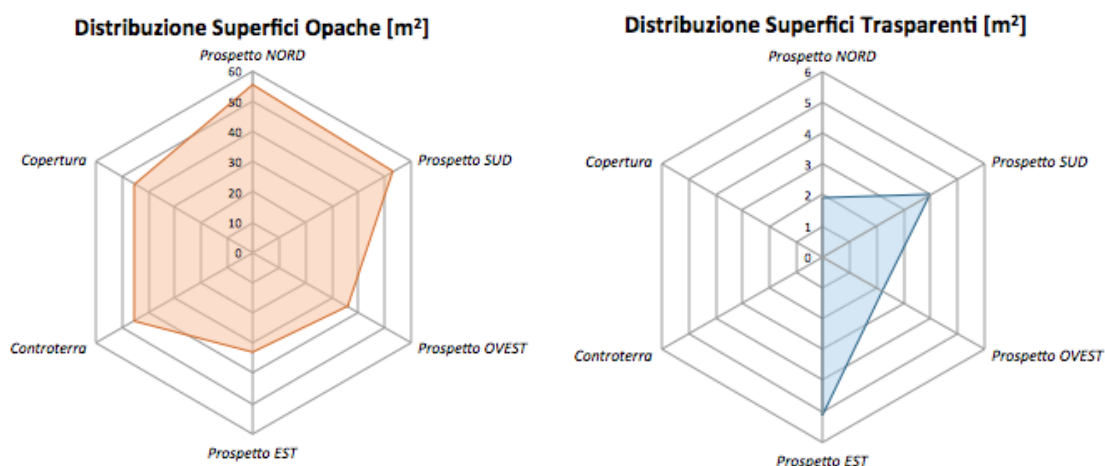
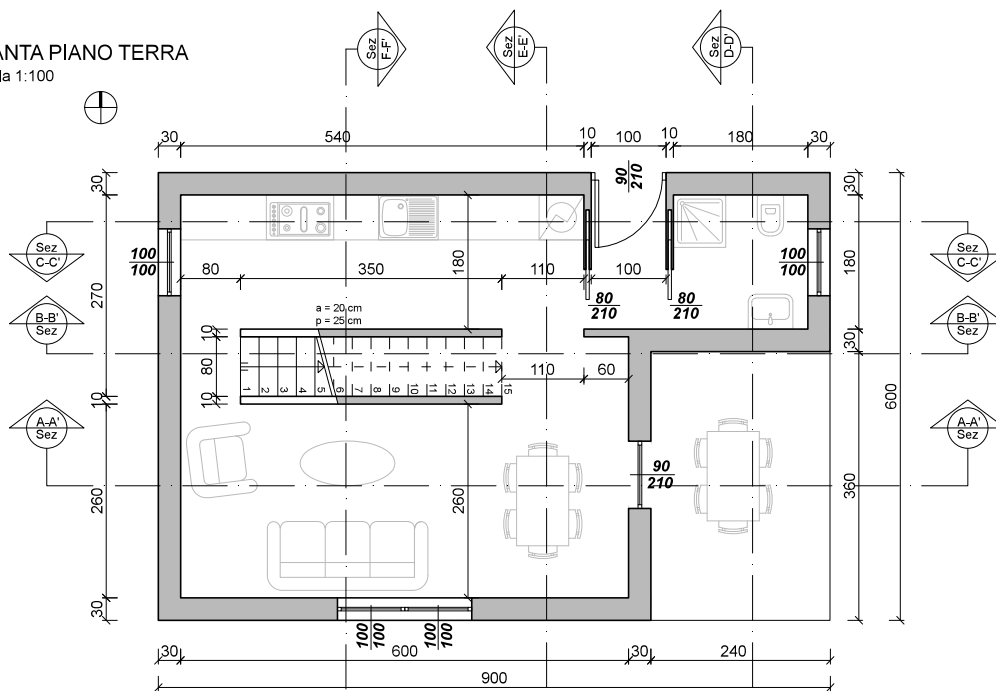


Grafico 1 – Distribuzione superfici opache e trasparenti.

Per quanto concerne il piano terra, la scala è l'elemento che separa funzionalmente l'edificio in due blocchi, uno a servizio dell'altro: la distribuzione impiantistica è infatti pensata per essere contenuta in un controsoffitto ribassato realizzato solamente nel blocco rivolto a nord, comprendente la zona cucina e il bagno, lasciando a tutt'altezza il resto della zona giorno. Il portico, accessibile dal salotto, è stato realizzato poiché oggetto di studio in due diverse configurazioni: sia come zona esterna all'involucro, quindi aperto sui due lati, sia come spazio serra completamente vetrato, in modo tale da indagarne il contributo nella stagione invernale; analogamente avviene per il terrazzo collocato al piano superiore, accessibile dal disimpegno antistante le camera da letto.

L'intera costruzione è stata pensata in un'ottica di prefabbricazione con tecnologie in legno, così da minimizzare gli impatti di cantiere in termini di tempistiche e scarti di lavorazione, nonché diminuire gli impatti ambientali, conferendo maggior sostenibilità alla costruzione, tema di notevole attualità e aspetto fondamentale dei progetti Solar Decathlon; per questo motivo, le dimensioni delle chiusure perimetrali ruotano attorno a un modulo fondamentale di lunghezza pari a 1,2 m e altezza pari a 2,70 m; tale modularità, garantisce anche una buona funzionalità in termini di trasporto degli elementi stessi, in quanto le dimensioni del modulo ne consentono il collocamento all'interno di container e/o autocarri standard.

PIANTA PIANO TERRA  
Scala 1:100



PIANTA PIANO PRIMO  
Scala 1:100

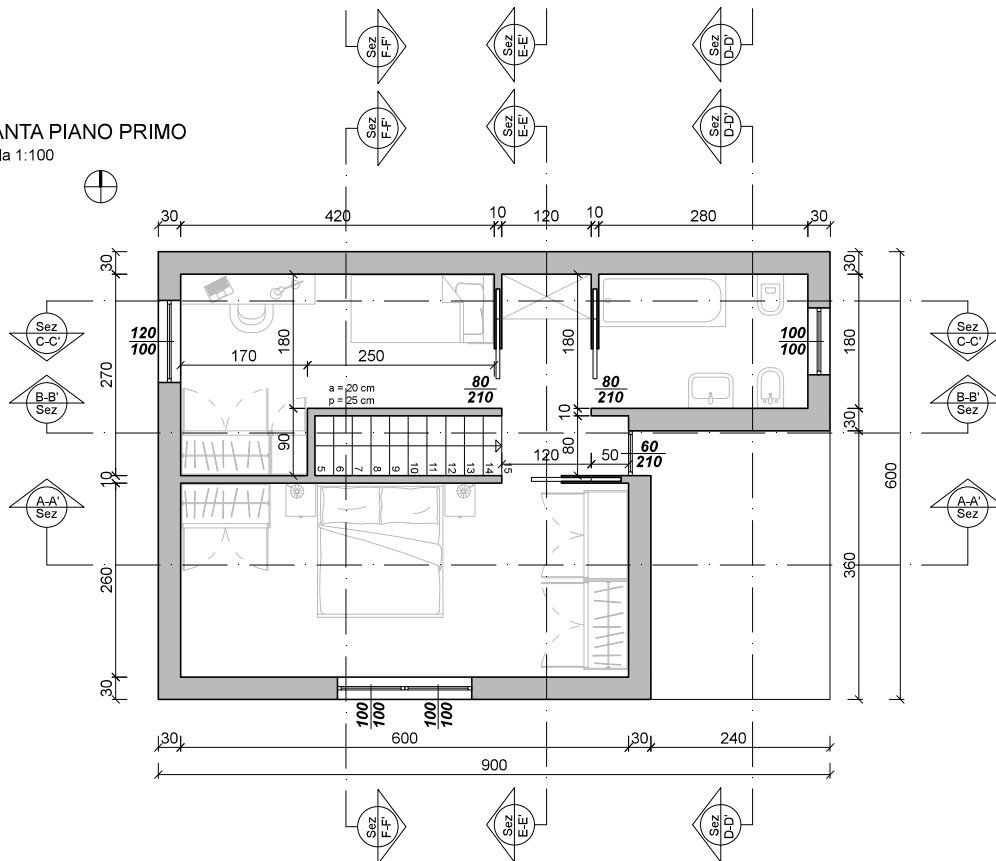
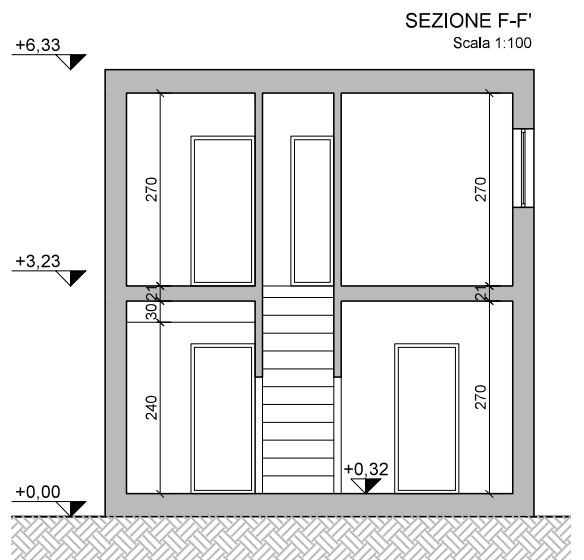
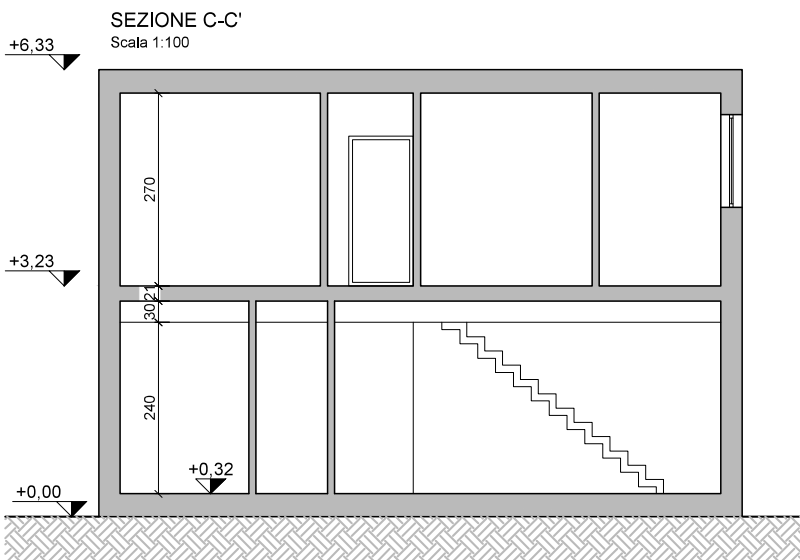
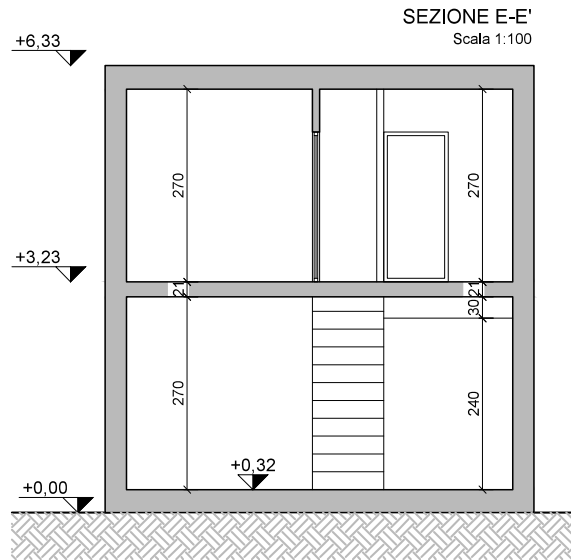
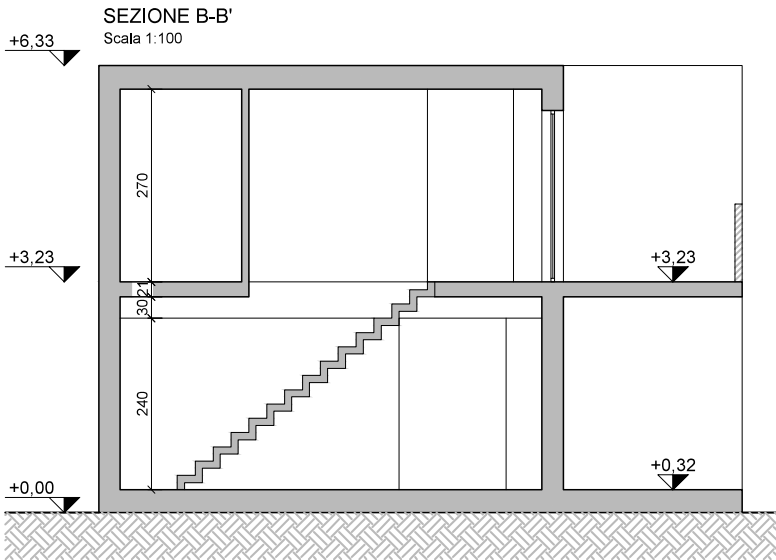
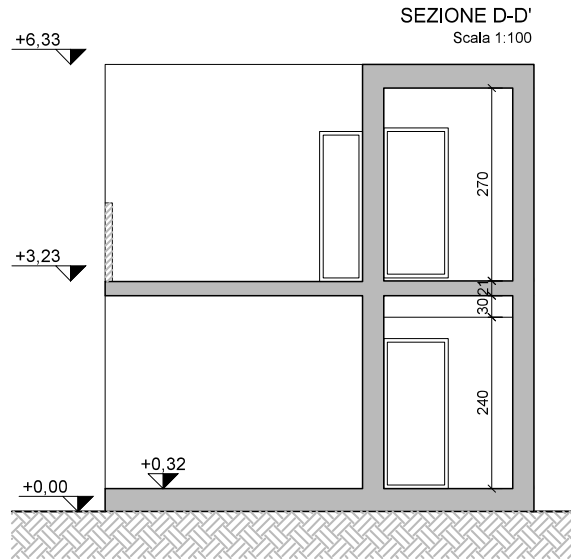
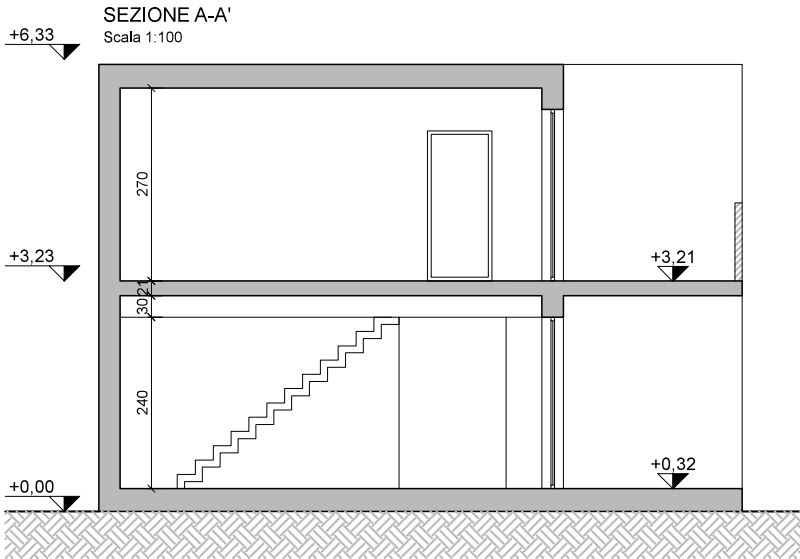


Fig. 49 –Pianta piano terra e piano del modello architettonico.  
Fig. 50 –Sezioni del modello architettonico (pagina successiva)





#### 4.4. Breve descrizione del software Design Builder

Lo strumento informatico utilizzato per indagare il comportamento del modello architettonico precedentemente descritto è il software Design Builder, rilasciato dall'azienda britannica Design Builder Software Ltd; la prima versione fu rilasciata nel 2005 come interfaccia grafica del più diffuso e noto EnergyPlus, potente motore di calcolo parametrico per la simulazione in regime dinamico di edifici creato dal Dipartimento dell'Energia americano (DOE); anche Design Builder sfrutta le potenzialità dei EP per effettuare le simulazioni, garantendo però un approccio più "user friendly", con conseguente risparmio in termini temporali, sia per quanto riguarda la fase di modellazione geometrica, sia per la l'impostazione di tutti i parametri tecnologici e impiantistici. Nella sua versione attuale, giunta alla v.4.2.0.054, Design Builder consente di:

- modellare l'edificio in 3D in maniera rapida e intuitiva;
- generare semplici viste renderizzate;
- eseguire simulazioni in regime stazionario nelle condizioni invernali peggiori per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento;
- eseguire simulazioni in regime dinamico nelle condizioni estive peggiori per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento;
- eseguire simulazioni dinamiche per periodi temporali definiti dall'utente (annuali, stagionali, mensili, giornaliere, orarie e sotto-orarie);
- eseguire analisi fluido dinamiche dettagliate per l'ambiente esterno e interno;
- valutare degli aspetti economici e analisi LCA delle soluzioni modellate;
- confrontare diverse soluzioni progettuali e ottimizzare la costruzione in funzione di diversi parametri definibili dall'utente.

Inoltre, l'utente può gestire il grado di dettaglio con il quale intende settare le diverse impostazioni relative agli aspetti tecnologici, impiantistici, i carichi interni, gli scenari di occupazione, il vestiario degli occupanti e numerosi altri parametri che influiscono sul comportamento energetico dell'edificio; il tutto è facilmente gestibile tramite l'utilizzo di *templates* di default o personalizzabili dall'utilizzatore. La suddivisione in moduli specifici riguardanti diversi aspetti della costruzione (layout, attività, costruzione, aperture, HVAC,

generazione, analisi economica, outputs, CFD-Computational Fluid Dynamics) consente di individuare in maniera semplice dove andare a impostare i parametri d'interesse tramite modalità di settaggio intuitiva. L'esaustiva database di dati climatici, messa a disposizione del DOE<sup>46</sup>, con circa 2500 località in tutto il mondo, consente di effettuare simulazioni in ogni giorno dell'anno; è inoltre possibile importare nuovi file climatici o modificare quelli preesistenti, personalizzandoli. Di particolare rilievo è la modellazione impiantistica, che consente di selezionare tre diversi livelli di dettaglio a seconda dello scopo delle analisi: si può definire in maniera dettagliata qualsiasi tipo di schema d'impianto in tutte le sue componenti, considerando le ipotesi di funzionamento in base a diversi scenari di programmazione dello stesso; è inoltre possibile simulare il comportamento dell'edificio in assenza di impianto, per valutarne il comportamento passivo, specialmente se in accoppiamento con soluzioni tipicamente bioclimatiche quali serre, muri di Trombe-Michels, ventilazione naturale con effetti camino, ecc. Interessante, infine, è l'output dei dati: essi possono essere visualizzati in forma grafica e tabellare, avendo accesso a dati climatici, parametri di comfort ambientale, consumi energetici, temperature ambiente, sia in relazione all'intero edificio sia ad una sua specifica parte; è possibile visualizzare grafici in funzione di variabili parametriche e ottimizzazione, ecc. Infine, tramite il sito ufficiale, è possibile accedere a diversi tutorial esplicativi del funzionamento del programma, nonché all'esaustiva guida online, il tutto messo a disposizione gratuitamente direttamente dagli sviluppatori del software.

Di contro, la difficoltà principale sta nella comprensione della gerarchia di selezione dei dati che governa il modello ed il software stesso, non sempre immediata a priori, almeno nelle prime fasi di approccio al suo utilizzo: in maniera nascosta e automatica, Design Builder gestisce diversi parametri a differenti livelli di dettaglio, col rischio di inficiare notevolmente i risultati, se non correttamente settati. Tuttavia, è possibile esportare il file .idf<sup>47</sup> e esaminarne la struttura dati tramite l'IDF Editor di EnergyPlus, in modo tale da individuare i valori di parametri effettivamente utilizzati da Design Builder nelle simulazioni. Sebbene l'output dei dati sia esaustivo, la gestione degli stessi, l'esportazione e la visualizzazione grafica sono piuttosto vincolate alle scelte del programma, lasciando poco libertà all'utente di selezionare ciò che più gli interessa. Altro elemento a sfavore è sicuramente il costo: a differenza di

---

<sup>46</sup> I dati climatici italiani sono estrapolati dalla collezione italiana "Gianni De Giorgio" (IGDG), basati sulle rilevazioni effettuate dal 1951 al 1970.

<sup>47</sup> Il file .idf è un formato di file testuale che contiene tutte le informazioni del modello; tale file, su cui si basano le simulazioni E+, è formattato in una maniera gerarchica tale per cui vengono richiamate nel corretto ordine le informazioni in esso contenuto.

EnergyPlus, freeware e open-source, questo software è disponibile gratuitamente solo per un periodo di prova pari a 30 giorni, sebbene la versione fornita risulta essere tutto sommato priva limitazioni rispetto alla versione a pagamento<sup>48</sup>.

Riassumendo, si può dire che la scelta di utilizzare Design Builder ha rivelato le ottime potenzialità di questo software, grazie all'affidabilità di un motore di calcolo consolidato e un'interfaccia grafica più intuitiva; una volta apprese le logiche di funzionamento, si possono facilmente analizzare e comparare diverse soluzioni progettuali ai fini di ottimizzare il comportamento dinamico degli edifici.

## 4.5. Il modello energetico di base

### 4.5.1. Modellazione geometrica

Come detto nel precedente paragrafo, Design Builder consente di comporre le geometrie del modello grazie al modellatore 3D: nella sezione *layout*, è possibile costruire l'edificio a partire dall'importazione di un formato CAD in 2D, importare un modello BIM già completo oppure disegnare direttamente la planimetria della costruzione grazie agli strumenti messi a disposizione dal software. Vista la semplicità del caso di studio, l'intero modello è stato facilmente generato con i tools forniti dal programma.

In prima istanza, è importante capire i diversi livelli su cui lavora il programma, ovvero le gerarchie di base dalle quali vengono ereditati i valori relativi ai differenti parametri impiegati per le simulazioni:



Fig. 51 – Gerarchia di selezione dati nel software Design Builder.

- *sito*: consente di assegnare la località scelta per le analisi, i relativi dati climatici e le normative di riferimento. Le analisi verranno eseguite per le località di Bolzano, Roma e Palermo, utilizzando i dati climatici contenuti nella banca dati fornita dal DOE;

<sup>48</sup> In realtà vi sono limitazioni sul numero massimo di zone analizzabili, sull'esportazione dei dati dalle analisi CFD e sulle viste renderizzate; tuttavia, risultano ininfluenti ai fini delle analisi del presente elaborato.

- *edificio*: riassume tutte le caratteristiche del modello e consente di gestire a livello globale le soluzioni o scelte adottate; di conseguenza, utilizzando questo livello, vengono settate le stesse soluzioni per l'intero edificio;
- *blocco*: ogni edificio è composto da uno o più blocchi, ad esempio i diversi piani; lavorando a questo livello, vengono settati i parametri relativi al singolo blocco. I blocchi si dividono per tipologia in "blocchi edificio", "blocco di outline" e "blocco componente" Nel caso in esame, sono stati creati due blocchi edificio, uno per il piano terra e uno per il piano primo, i quali contengono le informazioni relative all'ambiente interno (definite a livello di zona, vedi punto successivo) e un blocco componente per simulare gli effetti schermanti del terrazzo;
- *zona*: è ciò che caratterizza il comportamento termico dell'edificio in quanto vengono assegnate a questo livello le condizioni termiche interne; è possibile avere diverse zone termiche all'interno dello stesso edificio, come ad esempio locali non riscaldati. Nella configurazione di base<sup>49</sup>, sono state considerate due zone termiche, una per ogni blocco, dalle caratteristiche termiche omogenee e tra loro identiche.
- *superficie*: riassume i settaggi delle singole superfici componenti l'intero edificio, divise per esposizione e tipologia di chiusura (muri perimetrali, solaio contro terra, solaio di copertura, partizioni interne); a questo livello è possibile specificare le caratteristiche di ogni singolo elemento costruttivo. Il modello energetico, a differenza di quello architettonico, è stato previsto privo di partizioni interne verticali e inclinate, mentre è stata obbligatoriamente definita quella orizzontale;
- *aperture*: a questo livello vengono individuate le singole aperture in ciascuna chiusura perimetrale e consente di specificarne le caratteristiche.

---

<sup>49</sup> Quello senza serra.

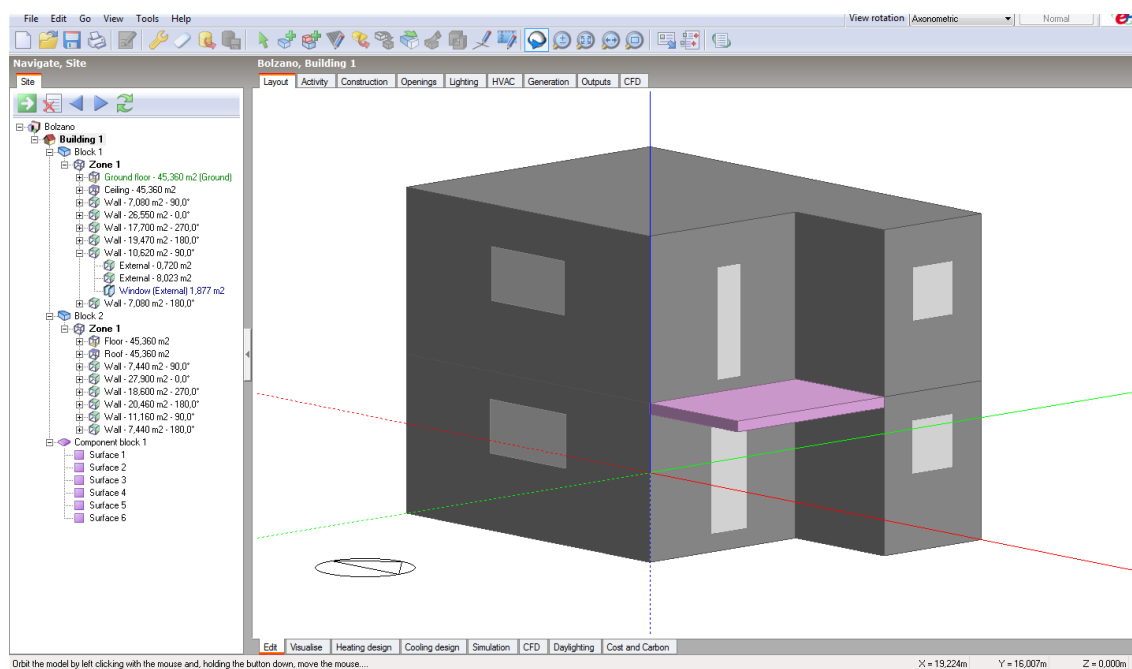


Fig. 52 – Finestra “layout” del modello realizzato in Design Builder; a sinistra, i diversi livelli gerarchici.

#### 4.5.2. Ipotesi di gestione dell’edificio

Alla modellazione geometrica del prototipo è seguita la definizione, attraverso la schermata *attività*, delle ipotesi di utilizzo dell’edificio in esame; a seconda del grado di precisione richiesto, è possibile settare, più o meno dettagliatamente, diversi parametri tra cui l’indice di affollamento, il tasso metabolico degli occupanti, il vestiario stagionale, i parametri di controllo ambientale interno (temperature di set point, tasso di ventilazione, ecc), i consumi di acqua calda sanitaria e i carichi interni. Inoltre, tramite gli *schedules*, è possibile ipotizzare i periodi temporali nei quali fare “attivare” i parametri sopracitati (ad esempio, gli orari in cui si ha presenza di persone in casa); a differenza di quanto può avvenire con un ufficio, in cui la presenza di persone è concentrata nella fasce orarie lavorative ed i guadagni interni sono fortemente influenzati dalle ore di utilizzo delle apparecchiature interne, per il modello in esame, trattandosi di edificio residenziale, si è deciso di semplificare la gestione degli *schedules*: non è banale stabilire a priori delle ipotesi di gestione da parte dell’utente, in quanto possono essere fortemente influenzate dal tipo di utenza che vi si insedierà e dal modo con il quale l’utente stesso adopererà la costruzione. Per questo motivo, è stata creata un apposito *schedule* denominato “AA\_On”, in cui l’edificio è stato considerato costantemente occupato per tutti i giorni dell’anno; analogamente, il contributo degli apporti interni è stato

valutato tramite un valore univoco fissato convenzionalmente per l'intero arco temporale di simulazione.

Di seguito, si riportano i valori impostati nella scheda *attività*; quelli non specificati, alcuni dei quali si possono intravedere nella figura sottostante, non sono stati presi in considerazione nelle analisi effettuate:

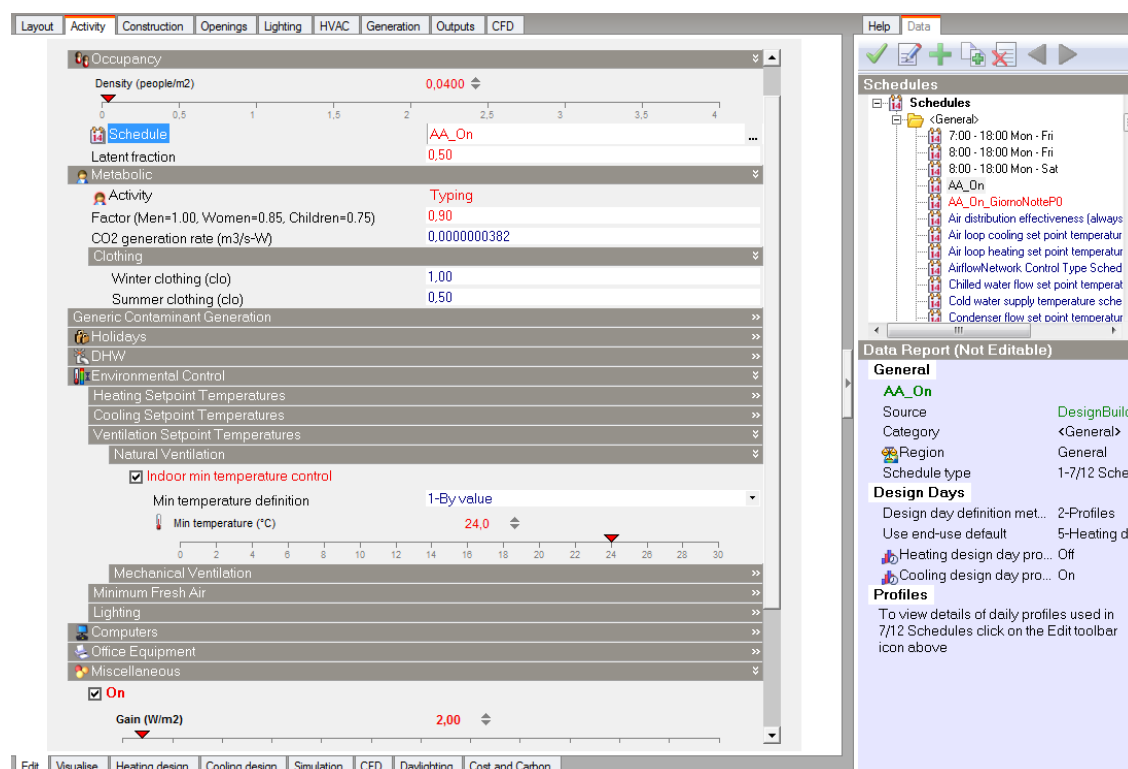


Fig. 53 – Finestra “attività” del modello realizzato in Design Builder. A destra gli schedules.

Indice di affollamento <sup>50</sup>	0,04	Pers/m <sup>2</sup>
Schedule	Presenza costante per l'intero anno	AA_On
Tasso metabolico	0,9	Met
Vestiario	1 (Invernale)	0,5 (Estivo)
Apporti interni apparecchiature <sup>51</sup>	2	W/m <sup>2</sup>
Schedule	Presenza costante per l'intero anno	AA_On

Tabella 12 – Dati relativi all'occupazione e ai contributi interni.

<sup>50</sup> Valore da norma UNI 10339.

<sup>51</sup> In via semplificativa, si è soliti fissare un valore pari a 4 W/m<sup>2</sup> che comprende sia gli apporti interni di persone sia quelli delle apparecchiature; dopo una prima analisi con il suddetto indice di affollamento, si è visto come gli apporti delle persone, calcolati in funzione dell'indice di affollamento, fossero circa la metà dei totali, di conseguenza il valore è stato ridotto a 2 W/m<sup>2</sup>.

#### 4.5.3. Caratteristiche tecnologiche delle superfici opache

Attraverso la scheda *costruzione*, è possibile gestire tutte le caratteristiche tecnologiche e prestazionali dei componenti opachi, compreso il livello di tenuta all'aria dell'intero involucro; innanzitutto, è necessario definire specificamente la composizione stratigrafica dei pacchetti, assegnando i corretti materiali forniti dall'ampia banca dati (o eventualmente creandone di nuovi) e i relativi spessori, così che il programma possa automaticamente calcolare tutti i parametri necessari per le simulazioni (trasmittanze termiche, coefficienti di assorbimento, permeabilità al vapore, analisi di condensa interstiziale, ecc.). Inoltre, è possibile raggruppare in *templates* diverse soluzioni tecnologiche, assegnando agli elementi presenti nel modello le corrispondenti alternative progettuali: ogni *template*, quindi, rappresenta differenti ipotesi con le quali si intende realizzare le chiusure, i solai, le partizioni, e via dicendo; in questo modo, ogni volta che si applica un certo *template*, automaticamente vengono attribuiti agli elementi costruttivi differenti pacchetti tecnologici, operazione che garantisce un notevole risparmio in termini temporali. Nella figura sottostante si vede come il *template* denominato "AA\_Legno" associ le tecnologie "AA\_Cappotto" ai muri esterni, "AAB\_01\_FeltroBitumato" alla copertura piana, "AAC\_01\_Legno" al solaio contro terra e "AAC\_01\_LegnoPO" al solaio interno; tutte gli altri elementi sono stati lasciati con i pacchetti di default in quanto non presenti nel modello e, quindi, ininfluenti ai fini delle simulazioni; nella parte destra dell'immagine si vede il diagramma ad albero contenente le possibilità di pacchetti tecnologici di copertura tra cui scegliere (in rosso quelli definiti dall'utente, in blu quelli già presenti nella banca dati) con le corrispondenti caratteristiche geometriche e prestazionali.



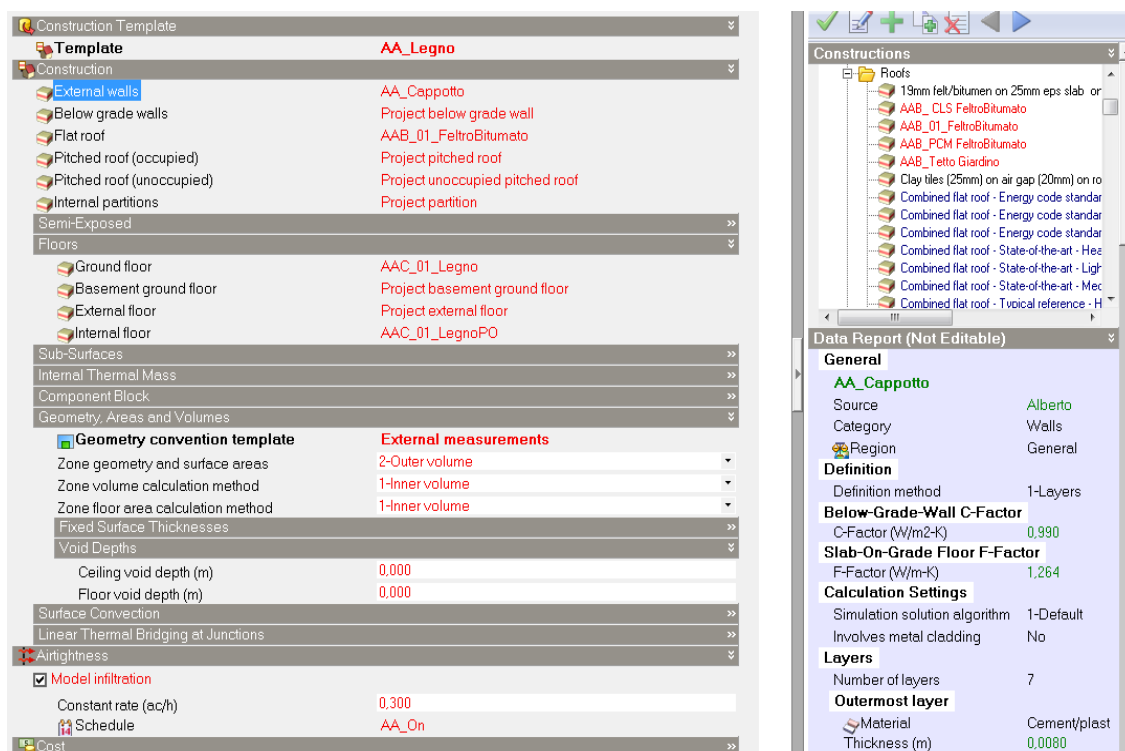


Fig. 54 – Finestra “costruzione” del modello realizzato in Design Builder; a destra le soluzioni tecnologiche con le relative caratteristiche.

Il modello di base, in tutti i suoi elementi, è stato realizzato con una tecnologia in legno fortemente isolata, gestito attraverso il *template* riportato sopra; di seguito si riportano le caratteristiche delle chiusure adottate:

### Chiusure verticali opache

Strato	sp. (m)	$\lambda$ (W/mK)	$c_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$f$	$\Phi$ (h)	Km (KJ/m <sup>2</sup> K)	sp. tot (m)
Intonaco calce e cemento	0,008	0,8	840	1600						
Isolamento in fibra di legno	0,08	0,038	840	140						
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Isolamento in fibra di legno	0,12	0,038	840	140	<b>0,143</b>	0,014	0,099	13,68	47,34	0,317
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Isolamento in fibra di legno	0,04	0,038	840	140						
Cartongesso	0,025	0,16	840	800						

Tabella 13 – Caratteristiche delle chiusure verticali opache.

**Chiusura orizzontale contro terra**

Strato	sp. (m)	$\lambda$ (W/mK)	$c_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	f	$\Phi$ (h)	Km (KJ/m <sup>2</sup> K)	sp. tot (m)
Gres	0,013	1,3	840	2300						
Massetto in perlite	0,05	0,061	840	240						
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Isolamento in fibra di legno	0,2	0,038	840	140	<b>0,148</b>	0,03	0,207	13,74	61,27	0,329
OSB	0,044	0,13	1700	650						
Gres	0,013	1,3	840	2300						
Massetto in perlite	0,05	0,061	840	240						

Tabella 14 – Caratteristiche della chiusura orizzontale controterra.

**Chiusura orizzontale copertura**

Strato	sp. (m)	$\lambda$ (W/mK)	$c_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	f	$\Phi$ (h)	Km (KJ/m <sup>2</sup> K)	sp. tot (m)
Membrana bituminosa	0,008	0,5	1000	1700						
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Isolamento in fibra di legno	0,25	0,038	840	140						
Barriera al vapore	0,0002	-	-	-	<b>0,136</b>	0,039	0,287	12,55	61,26	0,334
OSB	0,044	0,13	1700	650						
Tavolato in abete	0,01	0,12	1380	510						
Membrana bituminosa	0,008	0,5	1000	1700						

Tabella 15 – Caratteristiche della chiusura orizzontale di copertura.

**Partizione orizzontale interna**

Strato	sp. (m)	$\lambda$ (W/mK)	$c_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	f	$\Phi$ (h)	Km (KJ/m <sup>2</sup> K)	sp. tot (m)
Gres	0,013	1,3	840	2300						
Massetto in perlite	0,05	0,061	840	240						
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Isolamento in fibra di legno	0,1	0,038	840	140	<b>0,241</b>	0,093	0,387	9,2	39,25	0,217
OSB	0,022	0,13	1700	650						
Tavolato in abete	0,01	0,12	1380	510						
Gres	0,013	1,3	840	2300						

Tabella 16 – Caratteristiche della partizione orizzontale interna.

All'interno della medesima scheda, occorre definire il grado la tenuta all'aria dell'involucro al fine di valutare i disperdimenti dovuti ad infiltrazioni indesiderate attraverso le chiusure perimetrali; a differenza di quanto consiglia la norma UNI TS 11300-1, che fornisce valori che tengono conto sia delle infiltrazioni, sia dei ricambi d'aria per ventilazione, il software consente di considerare separatamente i due contributi. Tuttavia, l'output dei risultati sintetizza tutte le dispersioni in unico valore, rendendo di fatto ininfluyente la anzidetta suddivisione; inizialmente, si era previsto di non scindere i contributi dovuti alle infiltrazioni e quelli dovuti all'aria esterna immessa in ambiente: tale procedura è valida solamente ai fini della validazione del modello, riportata nel paragrafo 4 del corrente capitolo; tuttavia, vista la necessità di modellare gli effetti della ventilazione naturale (vedasi paragrafo relativo alla modellazione impiantistica), il software non consente tali valutazioni con impostazione di un valore univoco, bensì procede al calcolo delle infiltrazioni in funzione delle qualità delle fessure, espressa tramite dei *templates* preimpostati che stanno ad indicare il grado di tenuta all'aria dell'edificio: povero, scarso, medio, buono ed eccellente. Visto che, come già specificato, non ci interessa una valutazione dei reali consumi dell'edificio, si è adottato lo standard "buono" definito automaticamente dal programma, senza approfondire in maniera specifica quale fosse l'effettivo grado di tenuto all'aria, solitamente espresso dal parametro  $n_{50}$ ; tale scelta è giustificabile in quanto, a parità di tenuta, possono essere maggiormente messi in risalto gli effetti del contesto climatico, visto che le perdite per infiltrazione così calcolate risultano essere funzione dell'intensità e della direzione dei venti in ogni specifica località. La valutazione dettagliata degli effetti e dell'influenza delle infiltrazioni esula dagli scopi di questo elaborato.

Infine, vanno menzionati i ponti termici; contrariamente alla maggior parte dei software di simulazioni dinamiche, Design Builder consente di inserire i valori dei coefficienti di trasmittanza lineica  $\psi$  relativi ad alcuni dei nodi tipici; tuttavia, si è deciso di non sfruttare tale potenzialità del software, ritenendone trascurabile l'incidenza. Tale scelta è giustificata dai seguenti motivi: il primo è la mancanza di un'accurata indagine per determinare tali valori in funzione delle scelte adottate (sarebbe stato necessario valutare i coefficienti  $\psi$  per ogni soluzione progettuale oggetto di analisi); il secondo è inerente alle tecnologie adottate che, grazie alla continuità dell'isolamento esterno, unita a un'attenta progettazione dei nodi costruttivi, consentono di ridurre al minimo le discontinuità dello strato isolante.

#### 4.5.4. Caratteristiche tecnologiche delle superfici trasparenti

In maniera del tutto analoga con quanto fatto per le chiusure opache, sono state definite le caratteristiche dei serramenti tramite la scheda *aperture*; il software presenta diverse opzioni di settaggio, suddivise per tipologia di apertura (serramenti esterni o interni, lucernari, porte e bocchette di ventilazione); esso consente di modellare le dimensioni dei davanzali e del telaio, la presenza e la eventuale tipologia di schermature solari o flussi d'aria controllati. Le caratteristiche geometriche delle aperture possono essere impostate in diversi metodi: tramite inserimento grafico, ossia disegnandole direttamente, o gestendole le dimensioni in funzione della percentuale di apertura rispetto alle superfici dell'involucro opaco, fissandone se necessario un'altezza preferita, o prestando altezza e larghezza delle aperture, ecc; anche per le tipologie di vetro è presente una banca dati esaustiva che rimanda direttamente alla caratteristiche tecniche di alcuni dei maggiori produttori di vetro, mentre la scelta delle tipologie di telaio riscontra maggiori limiti. Ugualmente a quanto spiegato in precedenza, possono essere generati *templates* per una comoda gestione di diversi ipotesi progettuali.

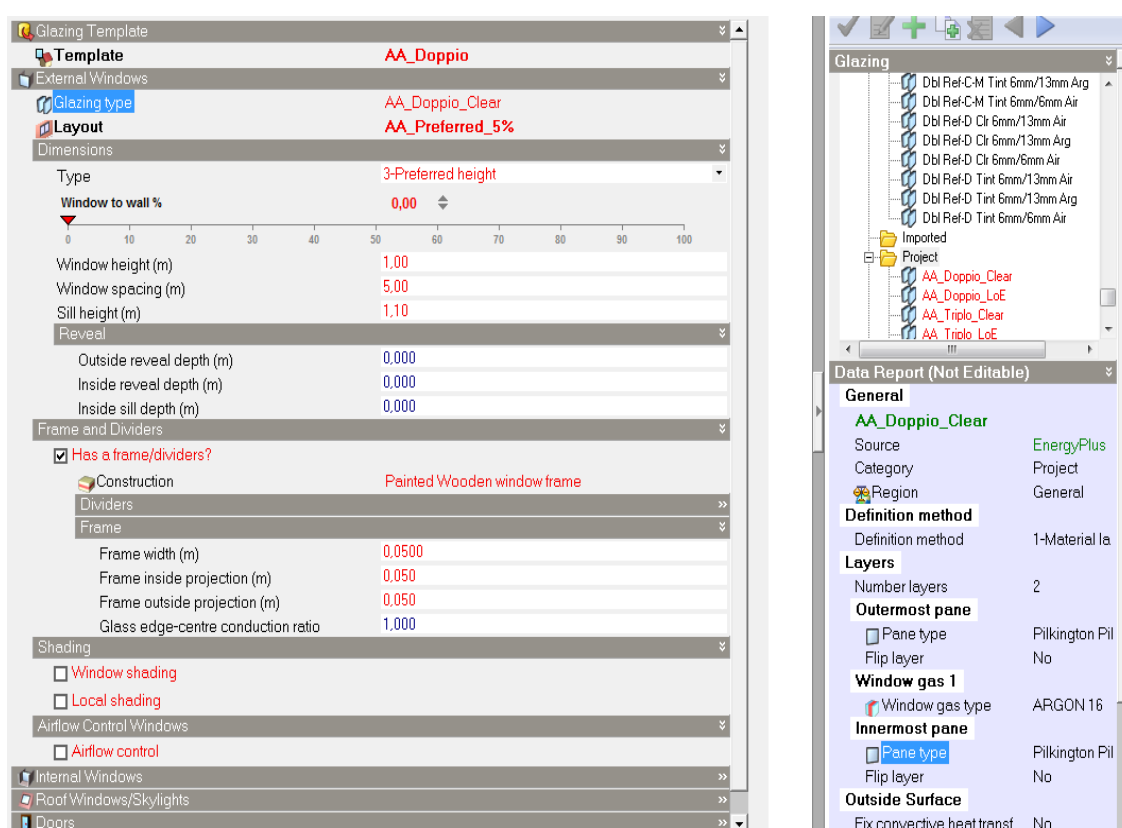


Fig. 55 – Finestra “apertura” del modello realizzato in Design Builder; a destra le soluzioni tecnologiche con le relative caratteristiche.

Nella configurazione di base del modello, si è deciso di impostare le dimensioni dei serramenti in funzione della percentuale di apertura fissando un'altezza preferita, piuttosto che disegnarle direttamente sul modello 3D nella scheda *layout*. Avendo in previsione di valutare diverse configurazioni di modello con percentuali di area vetrata via via crescente, risultava essere più comodo e veloce gestire il dimensionamento delle aperture tramite la suddetta opzione, in modo tale da non dover ripetere l'operazione manuale di disegno al variare delle sue dimensioni; di contro, tramite questa procedura, si ha minor controllo sulla posizione del serramento e dell'effettiva area, sebbene l'ordine di errore sia contenuto e ininfluente al fine delle nostre simulazioni.

Data la volontà di distribuire le aperture in maniera non uniforme in funzione dell'orientamento, è stato necessario intervenire, dal punto di vista gerarchico, a livello di superficie in modo tale da specificare in quale chiusura vi è presenza o meno di un serramento; se il dimensionamento per percentuale di superficie vetrata fosse stato fatto a livello di edificio, si sarebbe ottenuta una uniforme distribuzione di aperture su tutte le chiusure verticali, indipendentemente dal loro orientamento.

Per quanto riguarda la tipologia di serramento utilizzata in questo modello, si è deciso di utilizzare una vetrocamera con vetri chiari 4-16-4 con intercapedine riempita di Argon e telaio in legno, dalle seguenti caratteristiche:

<i>U vetro</i>	2,568	W/m <sup>2</sup> K
<i>U telaio</i>	3,633	W/m <sup>2</sup> K
<i>Trasmissione Radiazione Diretta</i>	0,69	-
<i>Trasmissione Luminosa</i>	0,808	-
<i>Trasmissione Totale SHGC</i>	0,753	-

*Tabella 17 – Caratteristiche dei serramenti utilizzati nel modello base.*

Infine, per il modello di base, non è stata prevista la presenza di sistemi di schermatura della radiazione solare.

#### 4.5.5. Definizione del sistema impiantistico

La definizione del sistema impiantistico avviene tramite l'apposita scheda *HVAC*; esistono tre livelli di dettaglio, dal più semplificato al più specifico, che consentono di descrivere quali componenti fanno parte dell'impianto; senza dubbio, si tratta della parte più complessa da gestire e da modellare. Occorre innanzitutto stabilire se e quando il sistema impiantistico è

strettamente necessario ed, eventualmente, a che grado di approfondimento si intende lavorare. Scopo del presente elaborato, come accennato, è quello di indagare l'incidenza di determinate soluzioni d'involucro e di configurazioni morfologiche in relazione alle condizioni di comfort interni, in modo tale da ottimizzare il comportamento dell'intero edificio a prescindere dal tipo di impianto utilizzato; quindi, non si mira a ottenere dei risultati del reale consumo globale, ragion per cui non si è prevista la modellazione di nessun sistema impiantistico per lo svolgimento di tutte le simulazioni riportate nel capitolo successivo. Tuttavia, allo scopo di verificare la qualità del modello e validarne il funzionamento tramite confronto con la norma UNI TS 11300-1, come spiegato meglio nel successivo paragrafo, è stato necessario definire una tipologia d'impianto di base del tutto generica; in questo modo è stato possibile capire di quanto i risultati ottenuti dal software tramite calcolo dinamico si discostino dal procedimento consigliato dalla normativa italiana. Si è deciso di lavorare al livello di dettaglio più semplificato possibile, dove la scheda HVAC, suddivisa in ventilazione meccanica, riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione naturale, tubo interrato, distribuzione delle temperature dell'aria e costi, limita l'impostazione dei settaggi a parametri basilari e generici necessariamente vincolati al *template* e agli *schedules* di funzionamento dell'impianto.

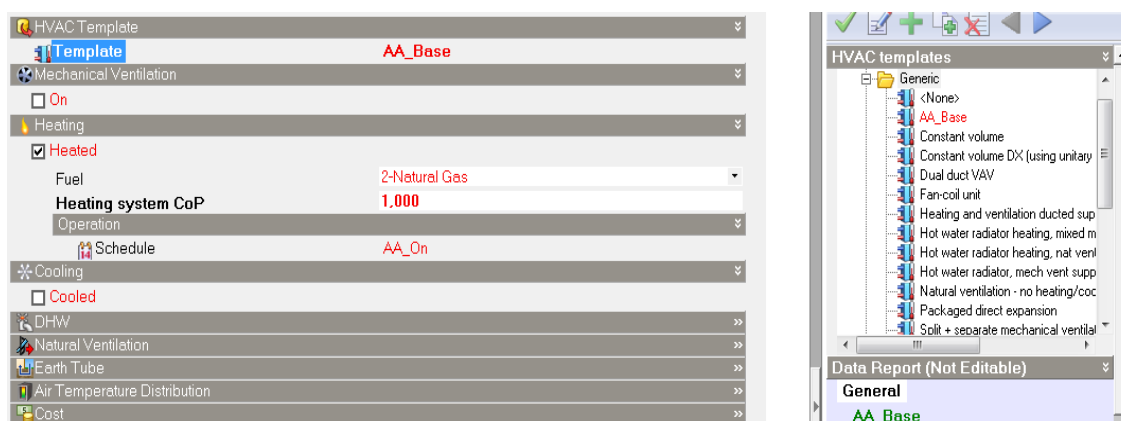


Fig. 56 – Finestra “HVAC” del modello realizzato in Design Builder; a destra i templates d'impianto.

Al fine di ottenere i risultati necessari per il raffronto con il bilancio energetico redatto secondo normativa italiana, è stato modellato il solo impianto di riscaldamento, in quanto il confronto si è limitato al solo periodo invernale; viste le semplificazioni adottate, la tipologia di impianto di riscaldamento è stata definita tramite il comando *unitary single zone*, il quale si riferisce a tutti quei generici sistemi che non utilizzano l'immissione di una portata d'aria in ambiente (tipicamente radiatori o pannelli radianti), con coefficiente di prestazione pari al 100%. Come si

evince dalla figura soprastante, lo *schedule* adottato è la “AA\_On”, lo stesso descritto nella scheda di gestione dell’edificio: ciò significa che l’impianto è considerato in funzionamento continuo per l’intera giornata e per tutti i mesi della stagione di riscaldamento. Questa, chiaramente, si tratta di una semplificazione piuttosto forte che non rispecchia il comportamento reale dell’edificio in esame e, di conseguenza, i consumi energetici attesi: di nuovo, si vuole specificare che tale procedura è servita solo per la validazione del modello di calcolo, per questa ragione, anche il calcolo manuale da norma è stato redatto sotto le medesime ipotesi.

Tramite la medesima scheda impiantistica, come si intravede dalla figura soprastante, è possibile impostare i parametri di ventilazione naturale, essenziali per le valutazioni in regime estivo in ottica di strategie passive di raffrescamento; il software consente di lavorare a due diversi livelli di dettaglio, selezionabile dall’utente, a seconda delle informazioni a sua disposizione: il primo prevede l’inserimento manuale di tutti i parametri necessari per il calcolo, in quanto ogni zona termica è definita da un tasso massimo di ricambi orari, mentre il secondo stima l’effetto della ventilazione in base alla quantità di serramenti considerati aperti, alle differenze di pressione generate dal vento, la dimensione delle fessure, ecc. Per un efficace controllo del fenomeno della ventilazione naturale ed una sua modellazione più realistica, è necessario definire le condizioni della sua “attivazione”, nonché la quantità e le modalità in cui deve essere tenuta in conto: ciò significa il settaggio di una temperatura minima<sup>52</sup> al di sopra della quale il software decide di considerarne il contributo, il periodo di tempo definito tramite *schedule* e in funzione della quantità di aperture effettivamente aperte:

<i>Temperatura di controllo minima dell’aria interna</i>	24	°C
<i>Piano Terra: Schedule</i>	AA_GiornoNotteP0	-
<i>Piano Terra: Percentuale di area apribile diurna</i>	100	%
<i>Piano Terra: Percentuale di area apribile notturna</i>	30	%
<i>Piano Terra: Schedule</i>	AA_On	-
<i>Piano Terra: Percentuale di area apribile diurna</i>	100	%
<i>Piano Terra: Percentuale di area apribile notturna</i>	100	%

Tabella 18 – Settaggi relativi alla ventilazione naturale.

Per il piano terra, si è deciso di considerare i serramenti totalmente aperti durante le ore diurne dalle 8:00 alle 23:00, poiché si è assunta una presenza costante di persone all’interno dell’edificio che durante il periodo estivo tenga spalancati tutti i serramenti; per le ore

<sup>52</sup> In realtà, questo settaggio si trova nella scheda “attività”.

notturne, invece, l'area di apertura è stata assunta pari al 30% del totale dell'area vetrata del piano terra, in quanto si presuppone che le finestre non vengano lasciate totalmente aperte per motivi di sicurezza alle intrusioni. In questo modo si è voluto simulare il comportamento passivo del raffrescamento notturno, con speciale attenzione alla valutazione del funzionamento delle soluzioni capacitive, le quali richiedono di essere raffrescate durante le ore più fresche al fine di asportare il calore accumulato durante il giorno; per quanto concerne il piano primo, invece, si è considerato il 100% di area regolarmente aperta, sia durante la notte, sia durante il giorno. Va inteso che, sebbene gli *schedules* definiti per il funzionamento delle aperture siano considerati sempre attivi, ciò che regola l'intervento della ventilazione naturale è, gerarchicamente, la temperatura dell'aria interna: al superamento dei 24 °C interni si suppone l'apertura delle finestre, al contrario, appena il valore scende al di sotto di tale soglia, per ragioni di conservazione del benessere interno, si esclude temporaneamente la ventilazione naturale dalle strategie passive dell'edificio. Non avendo a disposizione parametri ragionevoli per il settaggio di tutte le impostazioni, si è deciso di demandare al programma l'onere di calcolare gli effetti della ventilazione naturale, partendo dai dati climatici relativi alla direzione e all'intensità del vento e alle differenze di temperature tra interno ed esterno generate sulle porzioni di edificio in pressione o depressione.

#### 4.5.6. Le simulazioni

Una volta definite tutte le caratteristiche dell'edificio e determinati tutti i parametri nelle diverse schede, è possibile procedere verso la generazione dei risultati desiderati; nella parte bassa della schermata di lavoro, sono presenti ulteriori otto schede:

- edita: è la scheda di gestione delle impostazioni dell'edificio, ovvero di tutti i procedimenti spiegati nei precedenti paragrafi;
- visualizza: mostra le viste renderizzate;
- progetto di riscaldamento: avvia il calcolo nel giorno invernale di progetto per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento;
- progetto di raffrescamento: avvia il calcolo nel giorno estivo di progetto per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento;



- simulazione: viene simulato il comportamento energetico dell'edificio in regime dinamico lungo un arco temporale definito dall'utente;
- illuminazione naturale: avvia il calcolo per l'analisi del fattore di luce diurna e la distribuzione interna dell'illuminazione naturale;
- CFD: avvia il calcolo fluidodinamico interno e/o esterno delle distribuzioni dei flussi d'aria;
- costi ed emissioni: avvia il calcolo dei costi di costruzione e le valutazioni circa l'impatto ambientale inerenti alle tecnologie adottate.

Ad eccezione di quanto eseguito il confronto, dove si è utilizzata anche la scheda di progetto di riscaldamento ed è stata necessaria la limitazione del periodo di analisi al periodo più freddo, tutte le altre analisi sono state indagate su base annuale utilizzando la scheda simulazioni; da questa, è possibile definire la raffinatezza del calcolo (il numero di step temporali per ora) e il tipo di output, sia in termini di qualità del dato (ovvero valori su base annuale, mensile, giornaliera, oraria e sub-oraria), sia in termini di visualizzazione grafica e tabellare; è possibile visualizzare diversi risultati e personalizzare la schermata a seconda di quello che si vuole indagare, selezionando a piacere ciò che più interessa. All'interno del contesto dei risultati, è possibile ottenere dei report riassuntivi in forma tabellare, piuttosto esaustivi, nei quali sono riportati tutti i dati impiegati e ottenuti dal calcolo: anche in questo caso, è possibile selezionare quale tipo di risultato deve essere riportato, scegliendo tra numerose possibili opzioni.

Di particolare interesse sono due ulteriori schede all'interno del campo di simulazione: la valutazione parametrica e l'ottimizzazione. Queste consentono di effettuare delle valutazioni comparative tra varianti di modello determinate secondo variabili costruttive settate nel modello, risultando particolarmente utili nelle fasi iniziali di progettazione al fine di valutare quale tra le opzioni variabili supposte meglio risponde ai requisiti richiesti dall'utente. La differenza tra le analisi parametriche e l'ottimizzazione sta nel numero di variabili che possono essere considerate contemporaneamente dal software: il primo caso consente un'analisi solamente per due variabili (ad esempio, una variabile può essere rappresentata da diverse tipologie di involucro opaco, l'altra dalle percentuali di aperture vetrate, per valutare l'incidenza sui costi di costruzione di ogni configurazione possibile); la seconda è estesa a più variabili e, al tempo stesso, restituisce il fronte di Pareto dal quale è possibile ottenere la configurazione ottimale tra quelle generate dalle ogni combinazione. Purtroppo, l'output di

queste analisi è risultato un po' troppo vincolante, non lasciando possibilità all'utente di gestire in maniera più dettagliata i risultati ottenuti, motivo per il quale si è abbandonato il tentativo iniziale di impiegare questi strumenti.

#### 4.6. Confronto con una valutazione semi-stazionaria (UNI TS 11300-1)

Prima di procedere con ulteriori analisi e confronti, considerato anche che si tratta del primo approccio a un software di modellazione energetica, è sembrato opportuno eseguire dei controlli basilari sul modello realizzato, per verificare la correttezza di quanto eseguito durante le fasi di modellazione, analizzando poi di quanto i risultati ottenuti tramite il programma si discostano dai calcoli manuali. Si è deciso di calcolare il fabbisogno di energia termica del modello base, descritto in precedenza, tramite l'ausilio di fogli di calcolo elettronici per poi confrontare tali risultati con gli output restituiti dalla simulazione dinamica del programma; chiaramente, non si avrà una perfetta congruenza tra i due calcoli proprio per la maggior raffinatezza del metodo dinamico, ma in funzione degli scostamenti tra i risultati sarà possibile capire se la modellazione dell'edificio e delle sue caratteristiche in Design Builder è stata eseguita correttamente e, in caso positivo, analizzare le differenze che sussistono tra le due metodologie.

La normativa italiana di riferimento che definisce il procedimento di calcolo univoco che per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici, in particolar modo per quanto riguarda il calcolo del fabbisogno di energia termica, è la norma UNI TS 11300-1 del 2008<sup>53</sup>: *Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*. Tramite l'utilizzo di fogli elettronici di calcolo del programma Excel sono stati calcolati i disperdimenti e i guadagni dell'edificio in due differenti periodi temporali: il primo relativo al giorno invernale di progetto (condizioni peggiori), il secondo su tutto l'arco della stagione invernale di riscaldamento<sup>54</sup>. Nel primo caso, si è effettuato un semplice confronto in regime stazionario, poiché anche il software impiega tali presupposti per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento; nel secondo, invece, Design Builder ha effettuato il calcolo in regime dinamico. Non è stata presa in considerazione la stagione estiva: questo perché le analisi in regime dinamico, effettuate dal software, possono essere ragionevolmente comparate a quelle in regime statico, suggerite dalla norma, solamente nei periodo in cui l'oscillazione di temperatura non è così elevata durante l'arco delle 24 ore; gli effetti delle

---

<sup>53</sup> Purtroppo non è stato possibile reperire la versione aggiornata al 2014.

<sup>54</sup> La validazione è stata effettuata supponendo che il prototipo fosse sito a Bolzano; ne deriva che il periodo di riscaldamento, secondo normativa, va dal 15 ottobre al 15 aprile

analisi in regime variabile, infatti, sono particolarmente apprezzabili durante la stagione estiva e, chiaramente, possono discostarsi sensibilmente da codici di calcolo semplificati come quelli a regime costante.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dai diversi procedimenti. Va fatto notare che si sono constatate delle differenze nei dati climatici sia per quanto riguarda le temperature medie mensili, sia per quanto riguarda i valori di irraggiamento solare: i valori estrapolati dalla norma UNI 10339, rispetto a quelli forniti dal database del software, risultano essere, in linea di massima, sempre superiori rispetto all'archivio IGDG; si è deciso, quindi, di utilizzare anche nel calcolo stazionario i valori di temperatura come da database di Design Builder, mentre si fa riferimento alla UNI per i valori di irradiazione globale su superfici verticali utilizzati nei calcoli, sapendo che si ha un errore di circa il 25-30% tra i due, che può inficiare il contributo dovuto ai guadagni solari:

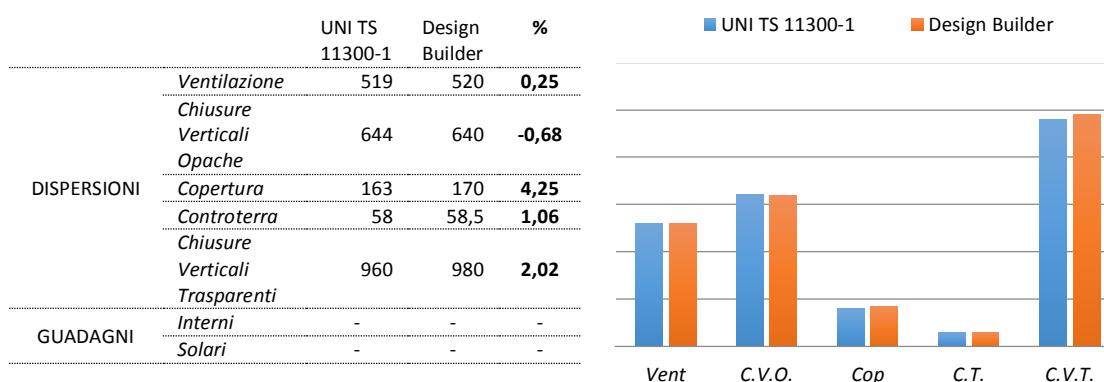


Tabella 19 – Risultati del confronto UNI TS 11300-1 e Design Builder nel giorno di progetto invernale.

La tabella e il grafico soprastanti mostrano i risultati ottenuti dai due procedimenti: si può notare come i dati ricavati secondo UNI si discostino di poco rispetto a quelli ottenuti tramite Design Builder; è interessante rilevare che, ad eccezione delle chiusure opache, il procedimento della normativa italiana tenda a sottostimare leggermente i disperdimenti. Il motivo risiede essenzialmente nella differenza riscontrata tra i dati climatici. I guadagni gratuiti non sono stati presi in considerazione nel caso del giorno di progetto invernale, poiché il software esegue il calcolo al fine del dimensionamento dell'impianto di riscaldamento che, tipicamente, a favore di sicurezza, esclude il contributo degli apporti interni e degli apporti solari per porsi nella condizione più sfavorevole.

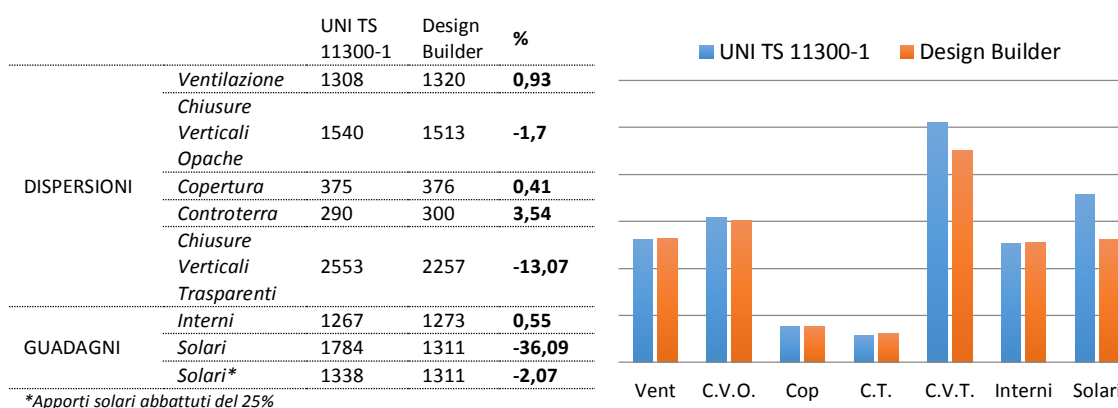


Tabella 20 – Risultati del confronto UNI TS 11300-1 e Design Builder sulla stagione di riscaldamento.

Anche in questo caso, si nota che esiste una buona approssimazione tra i risultati ottenuti mediante i due procedimenti; le uniche eccezioni sono rappresentate dai guadagni solari e dai disperdimenti attraverso le chiusure verticali trasparenti: nel primo caso, il problema da ricondursi nuovamente alla differenza esistente tra i dati climatici considerati; se si abbattessero i valori degli apporti solari di circa il 25%, i due risultati tenderebbero a essere in linea con gli scostamenti ottenuti negli altri casi; nel secondo, invece, lo discostamento è da attribuirsi con ogni probabilità al calcolo dinamico effettuato dal software.

In conclusione, dopo aver effettuato il confronto, si può affermare come i due metodi di calcolo abbiano restituito dei risultati che concordano in quasi tutte le voci indagate, fatta eccezione per i problemi inerenti alle differenze nei dati climatici di partenza e nei valori stagionali delle dispersioni attraverso i componenti vetrati dell'involucro edilizio. Quindi, si è deciso di validare il modello realizzato e procedere con le analisi di ottimizzazione riportate nel successivo capitolo.

## CAPITOLO V

### ANALISI DELLE STRATEGIE PASSIVE

*“The most dangerous phrase in the language is,  
‘We’ve always done it this way’”.*

Grace M. Hopper, 1987.

#### 5.1. Metodo di comparazione

Il presente capitolo intende esaminare alcune delle soluzioni adottate dai partecipanti alle diverse edizioni di Solar Decathlon e rivelatesi vincenti ai fini della competizione; l’analisi di tali strategie e soluzioni tecnologiche, che verranno esplicitate in maggior dettaglio in seguito, consiste nell’indagare il comportamento del modello precedentemente descritto in regime dinamico e verificarne l’efficacia in termini di comfort interno. In altre parole, dopo l’esauritivo processo d’indagine dei progetti di Solar Decathlon, sono state estrapolate le migliori caratteristiche riscontrate nei casi di studio al fine di individuare l’incidenza di ciascuna soluzione, tramite la realizzazione di un modello energetico con il software Design Builder. Va specificato, tuttavia, che il modello realizzato non rappresenta la totalità delle tipologie edilizie, di conseguenza i risultati ottenuti non potranno essere validi in ogni ambito, ma saranno da considerarsi effettivi esclusivamente per il modello in esame o, al limite, per edifici dalle caratteristiche simili<sup>55</sup>: in ambito edile, ogni edificio è un prototipo di se stesso, unico e irripetibile, influenzato da una moltitudine di variabili che danno adito a risultati sensibilmente diversi a seconda dei casi. Per questo motivo, è spesso molto difficile ottenere dei risultati oggettivi e applicabili universalmente.

Il lavoro si è principalmente focalizzato sull’indagine di determinate caratteristiche d’involucro, con l’obiettivo di ottimizzare il comportamento delle chiusure perimetrali al fine di mantenere le migliori condizioni dell’ambiente interno; prendendo in considerazione un certo numero d’ipotesi tecnologiche e differenti soluzioni tecniche, si è indagato il comportamento del modello in funzione delle scelte adottate e, al tempo stesso, in relazione alla località indagata: nell’ottica di una progettazione bioclimatica, le forzanti esterne dovute alle differenti

---

<sup>55</sup> Definire “simili” due edifici è generalmente complesso e spesso non praticabile, soprattutto per quanto riguarda il panorama esistente; tuttavia, in fase progettuale, si può far riferimento a tipologie e caratteristiche generali sulla base del quale indirizzare la progettazione, per poi verificare l’effettivo comportamento della soluzione per lo specifico caso o dell’intero edificio.

condizioni climatiche giocano un ruolo fondamentale nell'individuazione delle caratteristiche prestazionali da adottarsi nell'edificio e, di conseguenza, nel suo globale funzionamento.

Sebbene l'involucro di un edificio rappresenti solamente una parte di ciò che è un complesso sistema, si è deciso trascurare altri aspetti che concorrono alla caratterizzazione energetica del modello in analisi, quali i possibili sistemi impiantistici; l'obiettivo non è quello di eseguire una stima del reale consumo dell'edificio, bensì di valutare come le soluzioni adottate, a prescindere dal tipo d'impianto e dal funzionamento, siano passivamente in grado di smorzare gli effetti climatici in ogni contesto. In altre parole, la bontà delle soluzioni indagate è stata valutata in funzione di quanto fosse in grado di avvicinarsi alle condizioni ideali di comfort senza che intervenisse un impianto, qualora ve ne fosse la necessità. Per tutte le analisi riportate nel presente capitolo, quindi, l'edificio è da considerarsi privo di qualsiasi tipo di impianto per la climatizzazione estiva ed invernale.

Riassumendo, la metodologia adottata nello svolgimento delle analisi riportate in seguito può essere così sintetizzata:

- definizione degli indici di comfort;
- caratterizzazione dei diversi contesti climatici e delle diverse soluzioni da sperimentare;
- analisi delle soluzioni estrapolate da Solar Decathlon in regime dinamico per la stagione di riscaldamento e di raffrescamento e valutazione dell'incidenza in termini di comfort interno.

## 5.2. Gli indici di comfort

Nei concorsi Solar Decathlon, il soddisfacimento di specifici requisiti di comfort ambientale riveste un ruolo di primaria importanza, così come il contenimento dei consumi energetici per il mantenimento di tali condizioni interne. In altre parole, ciò a cui si aspira è un edificio in grado di sfruttare le condizioni esterne a proprio vantaggio, al fine di minimizzare il ricorso ad impianti meccanici per la climatizzazione invernale ed estiva. Per questa ragione, si è deciso di affrontare il processo di analisi del modello energetico sotto l'ipotesi di assenza di impianti meccanici; pur non essendo una premessa realistica, essa ha permesso di analizzare il comportamento del modello in relazione alla sua capacità di risposta agli stimoli esterni.

L'assenza di impianti meccanici, tuttavia, rende impossibile l'impiego di indicatori normalmente utilizzati nella valutazione delle performance di un edificio, come ad esempio l'EPgl [kWh/m<sup>2</sup> anno]. Si è dunque deciso di caratterizzare le prestazioni del modello energetico mediante indici di comfort, legati alle condizioni previste nell'ambiente interno.

Gli indici di comfort, presi in analisi e definiti come segue, sono:

- $\Delta T = T_{op,int} - T_{BS,ext}$ <sup>56</sup>

La differenza media su base giornaliera tra la temperatura operante interna e la temperatura esterna a bulbo secco permette di capire quanto la configurazione del modello analizzato sia in grado di mitigare le condizioni esterne. Le ottimizzazioni ricercano valori di  $\Delta T$  crescenti per quanto riguarda il periodo invernale: ciò significa che, a parità di temperatura esterna, l'aumentare dell'indice considerato comporta un aumento della temperatura operante interna e quindi un avvicinamento alle condizioni ideali di comfort. Viceversa, per il periodo estivo la ricerca sarà finalizzata all'individuazione delle condizioni che minimizzano il  $\Delta T$ , il che si traduce in un abbassamento della temperatura operante interna ed un allontanamento dal rischio di surriscaldamento; la condizione ideale sarebbe il raggiungimento di valori estivi di  $\Delta T < 0$ , cioè temperature operanti interne inferiori a quelle esterne.

- **Gradi Ora di Discomfort (GhD);**  $Ghd = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (T_{set,w} - T_{op,int})_i \cdot h_{d,i} \\ \sum_{i=1}^n (T_{op,int} - T_{set,s})_i \cdot h_{d,i} \end{cases}$ ;

L'indice viene calcolato su base giornaliera come la sommatoria tra la i-esima differenza tra il valore orario di temperatura l'operante e quella di set point ( $T_{set,w}=20$  °C,  $T_{set,s}=26$  °C), moltiplicato per la frazione oraria durante la quale si registrano condizioni di discomfort.<sup>57</sup> Esso risulta esser un buon indicatore per comprendere quanto le condizioni di temperatura e di umidità interna risultino essere lontane dai range considerati confortevoli e per quanto tempo tali condizioni perdurano. Valori di GhD molto piccoli suggeriscono piccoli discostamenti dai valori di benessere, mantenuti per brevi intervalli

<sup>56</sup> Le analisi energetiche tramite il software Design Builder hanno permesso di ricavare i valori orari di temperatura operante e di  $\Delta T$ ; è stata successivamente calcolata la differenza di temperatura media giornaliera come

$\Delta T = \frac{\sum_{i=1}^{24} \Delta T_i}{24}$ , ed è il valore medio giornaliero ad essere impiegato come indice di prestazione.

<sup>57</sup> Le ore di discomfort sono calcolate come periodo di tempo durante il quale le condizioni interne non rientrano entro i limiti di comfort così come fissati dalla norma ASHRAE Standard 55-2010. Tali valori sono estrapolati dalle analisi tramite Design Builder.

di tempo; il crescere dell'indice GhD, invece, segnala un generale peggioramento delle condizioni ambientali, con un allontanamento duraturo dal set point ideale. A differenza del  $\Delta T$  che, in quanto indice di prestazione, fa riferimento a valori medi giornalieri, non considerando eventuali picchi di temperatura, il GhD viene calcolato come somma di quantità orarie: ciò rende tale indice più preciso nella valutazione, poiché evita il fenomeno di livellamento tra valori positivi e negativi tipico dell'operazione di media, ma al contrario tiene conto di ogni scostamento dal valore ideale di set point stagionale.

- **Predicted Mean Vote (PMV):** il PMV, così come definito da Fanger nel 1970, intende essere un'espressione della sensazione media di benessere percepita dagli occupanti di una stanza. Esso si basa sul presupposto che la condizione di comfort termico per la maggior parte degli individui si ottiene quando il bilancio termico del corpo umano è in equilibrio e la temperatura interna ed il calore dissipato dalla persona variano entro limiti ben ristretti. I valori di PMV impiegati come indici di comfort nel presente elaborato sono quantità medie giornaliere, calcolate come  $PMV = \frac{\sum_{i=1}^{24} (PMV_h)_i}{24}$ , con  $PMV_h$  valori orari del Predicted Mean Vote.<sup>58</sup> Si intende esprimere, tramite questo indice, il livello medio di soddisfazione per le condizioni dell'ambiente interno, tenendo presente che esso non è soggetto a climatizzazione invernale o estiva: ciò che si valuta è la capacità del modello di garantire benessere, mitigando le condizioni esterne. Le analisi così effettuate hanno mostrato valori che, specialmente per i climi più freddi o umidi, quando le temperature esterne si discostano molto dalla soglia inferiore di 10 °C e l'umidità relativa raggiunge valori prossimi o pari al 100%, raggiungono picchi estremamente lontani dai valori limiti suggeriti dalle normative: in questi casi tale indice esprimerà solamente un andamento qualitativo e non sarà preso come effettivo indicatore di comfort interno.

### 5.3. Input per le analisi

Come si è già avuto modo di spiegare all'interno del presente elaborato, la progettazione in ottica di architettura bioclimatica non può prescindere dal considerare il luogo di insediamento e le condizioni climatiche che caratterizzano tale sito. Per questa ragione si è ipotizzato che il modulo abitativo oggetto di analisi fosse destinato all'insediamento in tre diverse città italiane, rappresentative per i principali climi della penisola: Bolzano, Roma e Palermo; ciò ha permesso

---

<sup>58</sup> I valori di PMVh sono stati ricavati dalle analisi energetiche tramite software Design Builder.



di valutare la risposta dell'edificio alle forzanti esterne, a parità di configurazione morfologica e tecnologica.

Tenendo come linea guida i risultati delle analisi svolte con matrice tridimensionale sui progetti vincenti di Solar Decathlon (Cap. II), si è deciso di selezionare alcune caratteristiche del modello di edificio di base e di farle variare a seconda della soluzione indagata; le variabili esaminate possono essere suddivise in tre gruppi logici di appartenenza:

### Variabili di insediamento

- *Orientamento*: l'edificio, così come progettato, prevede che la giacitura dell'asse principale sia sulla direzione est-ovest: si intende indagare i possibili benefici/svantaggi di un differente orientamento, nello specifico di una rotazione di 45° e di 90° in direzione est ed ovest (per un totale di 4 alternative rispetto al caso base).
- *Orientamento in caso di edificio specchiato*: il modello architettonico presenta una asimmetria tra le superfici trasparenti totali su fronte est ed ovest; si è deciso di creare una variante al caso base applicando una specchiatura all'edificio stesso, così che la loggia risultasse collocata nell'angolo sud-ovest del prototipo (nel caso base è a sud-est). Analogamente a quanto detto al punto precedente, è stato fatto ruotare l'asse principale di 45° e di 90° in direzione est ed ovest.

### Variabili morfologiche

- *Percentuale di aperture*: calcolata come  $\%_{Aperture} = \frac{\sum A_{finestra}}{\sum A_{CV}^{59}}$ . Oltre al caso del modello di base, nel quale le aperture son state dimensionate secondo i valori minimi calcolati tramite rapporto aero illuminante (a fronte di un'area di superficie trasparente di 13,24 m<sup>2</sup>, la percentuale di aperture risulta esser dell'8,81%), son state ipotizzate percentuali di apertura pari al 15% (pari a 22,53m<sup>2</sup> di superficie trasparente), 20% (30,05 m<sup>2</sup>), 30% (45,07 m<sup>2</sup>), 40% (60,09 m<sup>2</sup>), 50% (75,11 m<sup>2</sup>), 60% (90,14 m<sup>2</sup>), 70% (105,16 m<sup>2</sup>), 80% (120,18 m<sup>2</sup>). All'aumentare dell'area di chiusure trasparenti si suppone un aumento gli apporti solari gratuiti ma, al contempo, anche una crescita le dispersioni termiche ( $U_w \gg U_{opaco}$ ); le condizioni al contorno (i.e. le caratteristiche climatiche del sito di

---

<sup>59</sup> Si intende con  $A_{CV}$  l'area totale delle chiusure verticali misurata all'esterno dell'edificio, senza escludere la porzione trasparente

insediamento) son un fattore determinante al variare del quale muterà anche la percentuale ottimale di apertura, al fine di raggiungere il massimo comfort interno.

- *Presenza di una serra:* le analisi sui progetti Solar Decathlon hanno rivelato l'importanza di dotare l'edificio di uno spazio cuscinetto, che mitighi l'intensità delle forzanti esterne, portando l'ambiente interno verso gli standard di comfort. Per questa ragione, è stata sostituita l'area destinata a loggia aperta con una zona vetrata non riscaldata, a modello di una serra. La modellazione in Design Builder ha previsto la creazione di nuovi blocchi, caratterizzati dall'esser spazi semi esposti non climatizzati, sui quali è stata imposta la massima percentuale di superficie vetrata, anche in copertura; in prima istanza, si ipotizza che tutte le chiusure trasparenti siano realizzate con un doppio vetro chiaro.
- *Serra ad ovest:* analogamente al discorso affrontato pocanzi, riguardante il posizionamento della loggia a sud-ovest invece che a sud-est, è stata creata un'altra variante di progetto che prevede il posizionamento dello spazio cuscinetto verso occidente.
- *Sistemi di oscuramento:* Il modello architettonico di base non prevede alcun sistema di schermatura solare; la scelta della tipologia di oscuranti più performanti, cioè che meglio garantiscono comfort abitativo, è da effettuarsi, all'interno di questo elaborato e con gli obiettivi dichiarati, tramite confronto delle prestazioni, a prescindere da scelte di carattere estetico-architettonico. Le tipologie di oscuramento indagate sono: un sistema basato su elementi aggettanti della lunghezza di 60 cm, presenti su tre lati di ogni apertura; un sistema di frangisole a lamelle orizzontali fisse in legno; un sistema con avvolgibili esterni. Ogni sistema di oscuramento è stato caratterizzato mediante un indice di frazione solare trasmessa  $f_{S_i}$ , così definito:  $f_{S_i} = \frac{\sum \text{Apporti solari}_i}{\sum \text{Apporti solari}_{BASE}}$ , valutato su base stagionale e su base annua; esso risulta esser il rapporto tra la sommatoria degli apporti solari effettivi in presenza dell'i-esimo sistema di schermatura, calcolati sulla stagione estiva o invernale, e la corrispettiva sommatoria degli apporti solari in caso di assenza di schermature (ossia, calcolati nella configurazione di base).

#### **Variabili tecnologiche**

- *Spessore globale dello strato di isolamento termico:* il modello di base presenta un involucro basato su tecnologia a secco in legno, con cappotto esterno e copertura piana con tetto caldo; questa configurazione prevede la presenza di 24 cm di materiale

termoisolante (fibra di legno) nelle chiusure verticali, 25 cm di materiale termoisolante in copertura e 20 cm nel pacchetto contro terra. Si è ipotizzato di far variare lo spessore dello strato termoisolante per identificare le prestazioni ottimali dell'involucro al fine di massimizzare il comfort abitativo. Ogni variante di modello è stata caratterizzata da un indice univoco, ovvero dalla trasmittanza media dell'involucro  $\bar{U}$ <sup>60</sup>.

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

A scopo puramente speculativo sono stati valutati modelli con spessori di isolante irrisonori, non sufficienti per rispondere ai requisiti minimi imposti dalle normative vigenti. Si riporta di seguito, in forma tabellare, la sintesi delle caratteristiche delle differenti varianti al modello base, identificate con la sigla I.OX

	CV - S <sub>IS</sub> cm	U <sub>CV</sub> W/m <sup>2</sup> K	CO <sub>sup</sub> - S <sub>IS</sub> cm	U <sub>COsup</sub> W/m <sup>2</sup> K	CO <sub>inf</sub> - S <sub>IS</sub> cm	U <sub>COinf</sub> W/m <sup>2</sup> K	A <sub>w</sub> m <sup>2</sup>	U <sub>w</sub> W/m <sup>2</sup> K	$\bar{U}$ W/m <sup>2</sup> K
BASE	24	0,143	25	0,136	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,260</b>
I.01	6	0,444	5	0,485	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,504</b>
I.02	10	0,302	10	0,296	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,385</b>
I.03	15	0,216	15	0,213	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,318</b>
I.04	20	0,168	20	0,166	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,280</b>
I.05	30	0,117	30	0,116	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,241</b>
I.06	35	0,101	35	0,1	20	0,147	13,24	2,568	<b>0,228</b>

Tabella 21 - Caratteristiche medie dell'involucro in funzione dello spessore di isolante termico.

- *Tecnologia costruttiva*: un'altra variabile selezionata per ricercare l'ottimo nel comportamento del modello ha riguardato la tipologia di sistema costruttivo con cui realizzare l'unità abitativa. L'involucro di base, sebbene sia caratterizzato da valori soddisfacenti di trasmittanza termica, risulta esser piuttosto leggero e con scarse performance per quanto riguarda il comportamento dinamico (sfasamento, trasmittanza termica periodica, ecc..). Prendendo spunto da quanto appreso dalle analisi dei progetti di Solar Decathlon, sono state create stratigrafie alternative, con l'inserimento ad esempio di intercapedini di ventilazione o di strati di materiale capacitivo. Le diverse tecnologie son state poi combinate in *templates*, al fine di generare varianti dell'intero sistema involucro. Si riportano in primis le caratteristiche delle stratigrafie;

<sup>60</sup> Nel calcolo di  $\bar{U}$  son state prese in considerazione anche le superfici trasparenti, secondo la configurazione del modello base: percentuale di apertura minima per il soddisfacimento del RAI e infissi con doppio vetro chiaro.

successivamente, le caratteristiche globali dell'involucro, in base alle combinazioni delle opzioni tecnologiche selezionate.

Si ricorda che:

- $\lambda$ : conducibilità termica del materiale in esame [W/mK];
- $C_p$ : calore specifico [J/kgK];
- $\rho$ : densità del materiale [kg/m<sup>3</sup>];
- $U_{tot}$ : trasmittanza termica dell'elemento tecnico così come designato [W/m<sup>2</sup>K];
- $R_T$ : resistenza termica dell'elemento tecnico [m<sup>2</sup>K/W];
- $Y_{ie}$ : trasmittanza termica periodica dell'elemento tecnico [W/m<sup>2</sup>K];
- $f$ : fattore di attenuazione [-];
- $\varphi$ : ore di sfasamento caratteristiche per l'elemento tecnico in esame [h];
- $m$ : massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>];
- $C_m$ : capacità termica interna [J/m<sup>2</sup>K].

**CHIUSURE VERTICALI**

Denominazione	Strati	Spessore (m)	$\lambda$ (W/mK)	$C_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$R_T$ (m <sup>2</sup> K/W)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$f$	$\phi(h)$	$m$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	Spessore tot (m)
<b>Cappotto</b>	Intonaco calce e cemento	0,008	0,8	840	1600	0,143	6,991	0,014	0,099	13,68	95	47,343	0,317
	Isolamento in fibra di legno	0,08	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,12	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,04	0,038	840	140								
	Cartongesso	0,025	0,16	840	800								
<b>Sabbia Cappotto</b>	Intonaco calce e cemento	0,008	0,8	840	1600	0,142	7,019	0,007	0,047	17,03	207	113,82	0,367
	Isolamento in fibra di legno	0,08	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,12	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,04	0,038	840	140								
	Sabbia	0,05	1,74	840	2240								
Cartongesso	0,025	0,16	840	800									
<b>Ventilata</b>	Rivestimento in piastrelle di ceramica	0,008	0,85	840	1900	0,14	7,17	0,13	0,093	13,89	97	47,343	0,357
	Air Gap con flusso ascendente	0,04	-	-	-								
	Isolamento in fibra di legno	0,08	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,12	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,04	0,038	840	140								
Cartongesso	0,025	0,16	840	800									
<b>Laterizio Cappotto</b>	Intonaco calce e cemento	0,008	0,8	840	1600	0,146	6,839	0,009	0,06	17,63	319	87,528	0,498
	Isolamento in fibra di legno	0,22	0,038	840	140								
	Regolarizzazione con intonaco cemento	0,005	0,72	840	1760								
	Blocco alveolato	0,25	0,3	840	1000								
	Intonaco base gesso	0,015	0,51	960	1120								
<b>PCM Cappotto</b>	Intonaco calce e cemento	0,008	0,8	840	1600	0,139	-	-	-	-	-	38,398	0,354
	Isolamento in fibra di legno	0,08	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,12	0,038	840	140								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,04	0,038	840	140								
	BioPCM M91/Q25	0,037	0,2	1970	235								
Cartongesso	0,025	0,16	840	800									

Tabella 22 - Composizione e caratteristiche delle chiusure verticali in esame

### CHIUSURE ORIZZONTALI SUPERIORI

Denominazione	Strati	Spessore (m)	$\lambda$ (W/mK)	$C_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$R_T$ (m <sup>2</sup> K/W)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$f$	$\phi$ (h)	$m$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	Spessore tot (m)
<b>Tetto caldo</b>	Guaina ardesiata per impermeabilizzazione	0,008	0,5	1000	1700	0,136	7,326	0,039	0,287	12,55	97	61,26	0,3342
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,25	0,038	840	140								
	Barriera al vapore	0,0002	-	-	-								
	OSB	0,044	0,13	1700	650								
	Tavolato in abete	0,01	0,12	1380	510								
<b>Tetto Giardino</b>	Terreno di coltura	0,09	1,18	1250	1800	0,137	7,2	0,015	0,108	18,02	432	61,26	0,4942
	Ghiaia di drenaggio	0,08	1,8	840	2240								
	Membrana impermeabilizzante	0,008	0,25	1000	1150								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,24	0,038	840	140								
	Barriera al vapore	0,0002	-	-	-								
<b>Tetto caldo PCM</b>	Guaina ardesiata per impermeabilizzazione	0,008	0,5	1000	17000	0,133	-	-	-	-	-	74,038	0,3712
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,25	0,038	840	140								
	Barriera al vapore	0,0002	-	-	-								
	BioPCM M91/Q25	0,037	0,2	1970	235								
	OSB	0,044	0,13	1700	650								
<b>Tetto caldo CLS</b>	Guaina ardesiata per impermeabilizzazione	0,008	0,5	1000	1700	0,136	7,364	0,015	0,113	15,72	221	100,992	0,423
	Isolamento in fibra di legno	0,25	0,038	840	140								
	CLS alleggerito	0,15	0,25	960	1040								
	Intonaco base gesso	0,015	0,51	960	1120								

Tabella 23 - Composizione e caratteristiche delle soluzioni di copertura in esame.

### CHIUSURE ORIZZONTALI INFERIORI

Denominazione	Strati	Spessore (m)	$\lambda$ (W/mK)	$C_p$ (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_{tot}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$R_T$ (m <sup>2</sup> K/W)	$Y_{ie}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$f$	$\phi$ (h)	$m$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	Spessore tot (m)
<b>CO standard</b>	Gres Porcellanato	0,013	1,3	840	2300	0,148	6,811	0,03	0,207	13,74	113	93,96	0,329
	massetto in perlite	0,05	0,061	840	240								
	OSB	0,022	0,13	1700	650								
	Isolamento in fibra di legno	0,2	0,038	840	140								
	OSB	0,044	0,13	1700	650								

Tabella 24 - Composizione e caratteristiche delle chiusure contro terra in esame.

I pacchetti tecnologici così composti sono stati combinati per creare le seguenti soluzioni di involucro, raccolte in *templates* (per completezza delle informazioni si riportano anche i dati relativi alla configurazione di base).

BASE: CV= Cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Caldo; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.01: CV= Cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Giardino; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.02: CV= Sabbia Cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Caldo; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.03: CV= Ventilata; CO<sub>sup</sub>= Tetto Caldo; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.04: CV= Ventilata; CO<sub>sup</sub>= Tetto Giardino; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.05: CV= PCM cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Caldo PCM; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.06: CV= Sabbia Cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Giardino; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

TT.07: CV= Laterizio Cappotto; CO<sub>sup</sub>= Tetto Caldo CLS; CO<sub>inf</sub>= CO Standard

	$\bar{U}$ W/m <sup>2</sup> K	$\hat{Y}$ W/m <sup>2</sup> K	$C_m$ kJ/m <sup>2</sup> K	$\varphi$ h	$m$ kg/m <sup>2</sup>	$f$ -
BASE	0,260	0,0211	51,15	11,20	98,50	0,150
TT.1	0,260	0,0169	51,15	12,16	157,17	0,119
TT.2	0,259	0,0166	94,34	13,26	171,26	0,117
TT.3	0,258	0,0205	51,15	11,22	99,80	0,146
TT.4	0,258	0,0163	51,15	12,18	158,47	0,115
TT.5	0,257	-	47,58	-	-	-
TT.6	0,259	0,0124	94,34	14,22	229,94	0,085
TT.7	0,262	0,0137	84,22	14,20	265,75	0,095

Tabella 25 - Caratteristiche medie dell'involucro nelle diverse configurazioni supposte.

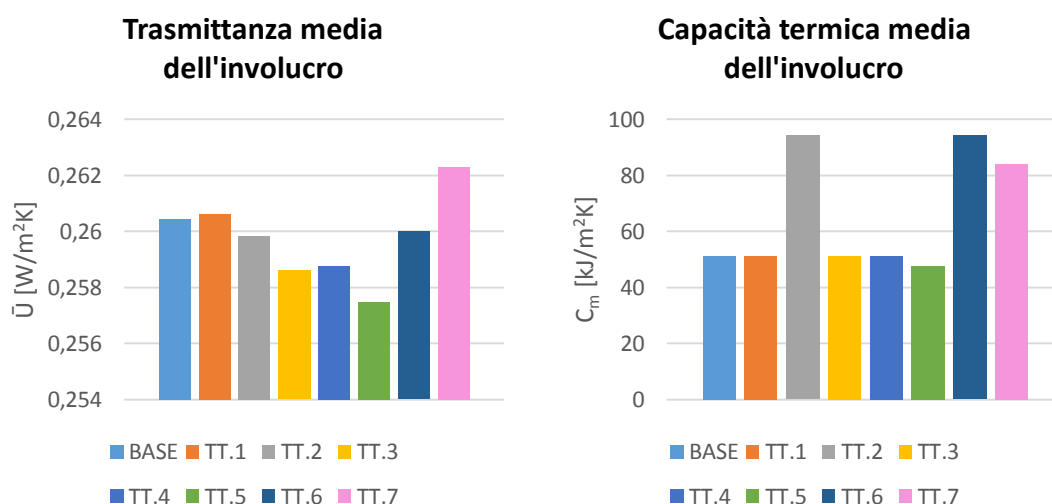


Grafico 2 - Trasmittanza termica media e capacità termica interna media per le diverse configurazioni d'involucro.

Si noti l'impiego di diverse soluzioni per migliorare la capacità termica dell'involucro (impiego di materiali densi, quali la sabbia, o di materiali a cambiamento di fase, PCM).

- **Tipologia di vetro:** nel modello base, si prevede che i serramenti siano dotati di doppio vetro chiaro. Data il grosso divario presente tra le prestazioni degli elementi trasparenti dell'involucro e le componenti opache, si è deciso di variare la tipologia di vetro negli infissi (a parità di telaio) per valutare il miglioramento delle condizioni interne all'edificio, monitorando gli indici di comfort precedentemente discussi.

Denominazione	Composizione	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	g
Dp Clear	4+16+4 Vetro float chiaro + gas argon + vetro float chiaro	2,586	0,753
Dp Low E	4+16+4 Vetro bassoemissivo + gas argon + vetro float chiaro	1,469	0,609
Tp Clear	4+16+4+16+4 Vetro chiaro + argon	1,603	0,674
Tp Low E <sup>61</sup>	4+16+4+16+4 Vetro bassoemissivo + argon + vetro float chiaro	1,014	0,547

Tabella 26 - Proprietà dei vetri presi in esame.

- **Tipologia di vetro per la costruzione della serra:** prendendo in considerazione sia la configurazione con serra a sud-est sia a sud-ovest, si è voluto analizzare il potenziale

<sup>61</sup> La sigla Dp e Tp stanno, rispettivamente, per Double Pane e Triple Pane



beneficio ottenibile mediante la sostituzione degli elementi vetrati, nella costruzione dello spazio cuscinetto, con soluzioni più performanti. Le tipologie di vetri prese in esame risultano essere le stesse del caso precedente, a cui si rimanda. Si specifica che la variazione del tipo di vetro è stata applicata alla sola serra, mentre le componenti trasparenti della restante parte di involucro non hanno subito cambiamenti durante questa fase di simulazioni (rimanendo conformi alla configurazione di base, ossia doppio vetro chiaro).

#### 5.4. I contesti climatici analizzati

Per analizzare le differenze nella risposta del modello d'analisi al variare delle forzanti esterne, si è deciso di ipotizzare una sua collocazione in tre città campione, rappresentatrici dei tre macro-climi italiani.

La città di Bolzano è stata scelta come rappresentativa per il clima più rigido tipico del nord Italia o delle zone montane; con i suoi 2791 GG, rientra in zona climatica E, attestandosi quindi tra i capoluoghi più freddi d'Italia. Roma è stata scelta come città rappresentativa per il clima "intermedio", più mite rispetto a quello prealpino ed alpino ma non così caldo come quello del sud Italia. Con i suoi 1415 GG, essa si colloca in fascia climatica D. Come terza ed ultima città presa in esame, Palermo rappresenta tutta l'area mediterranea del meridione italiano; con i suoi 751 GG, risulta essere una delle città più calde d'Italia, collocandosi in zona climatica B.

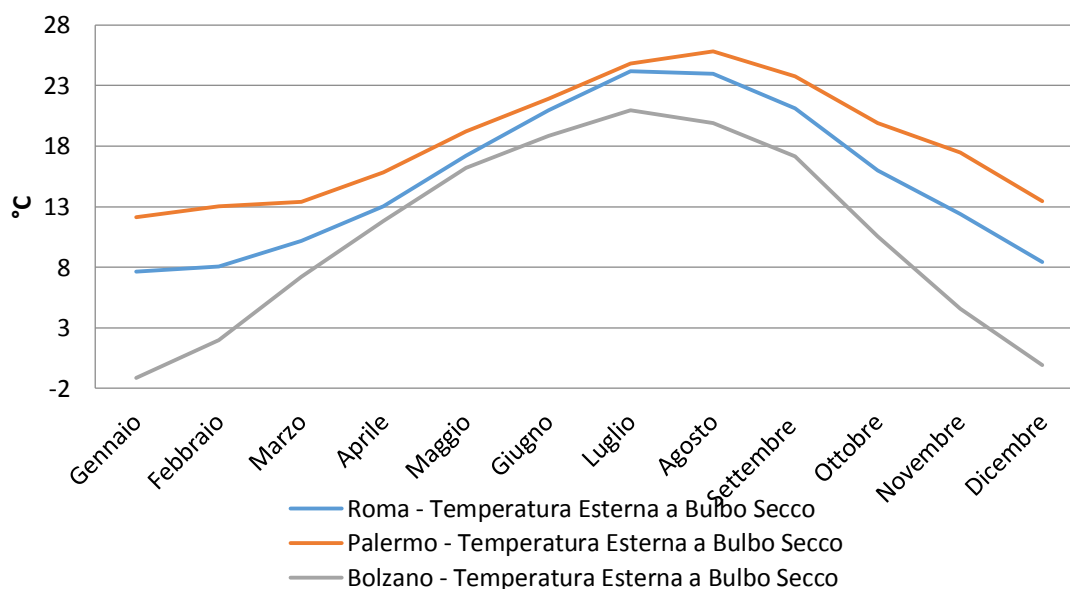


Grafico 3 - Andamento dei valori medi mensili di temperatura esterna di bulbo secco nelle città in esame.

Ciò che si può osservare dalla comparazione tra i valori medi mensili delle temperature esterne di bulbo secco è una sostanziale disparità tra le stagioni: nei mesi invernali si registrano le differenze più sostanziali, con valori di  $\Delta T$  tra Bolzano e Palermo pari a circa 15 °C; nel periodo che comprende la primavera e l'inizio dell'estate, invece, la differenza di temperatura tra i siti esaminati si riduce enormemente, con  $\Delta T \approx 3$  °C, per tornare ad aumentare con l'avanzare dell'estate.

Gli andamenti riscontrati rispecchiano in pieno i valori attesi, mostrando inverni rigidi ed estati miti a Bolzano, estati calde ed inverni temperati a Palermo e condizioni intermedie a Roma.

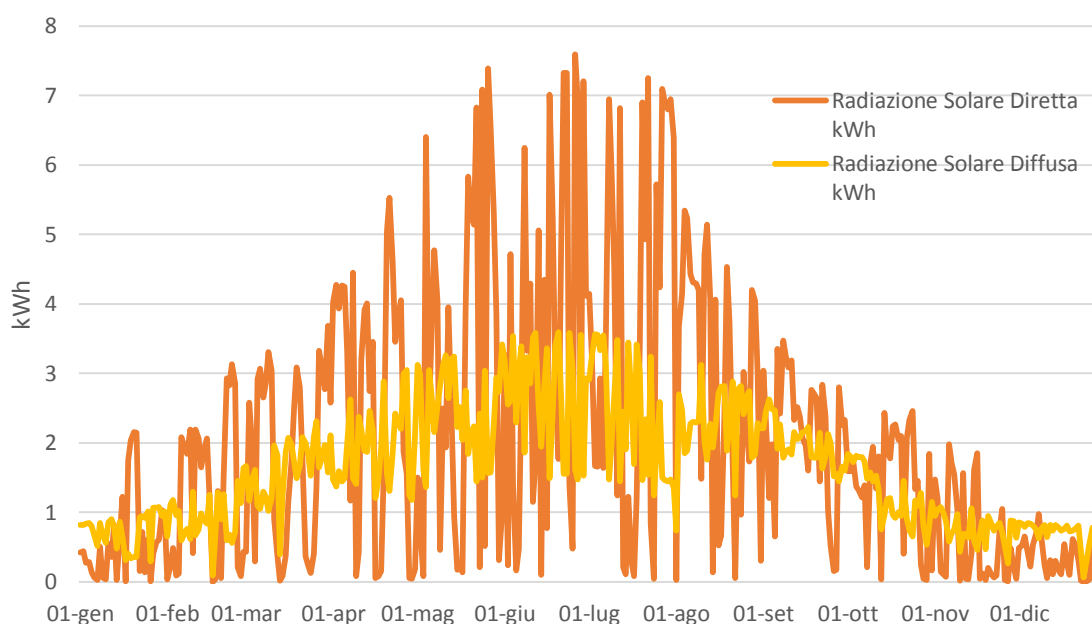
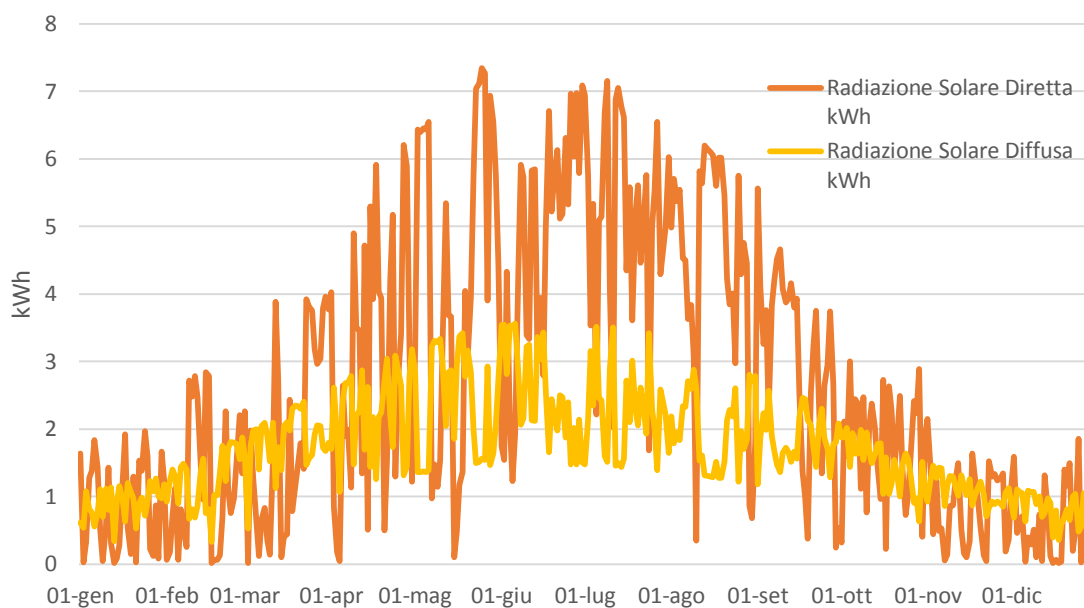


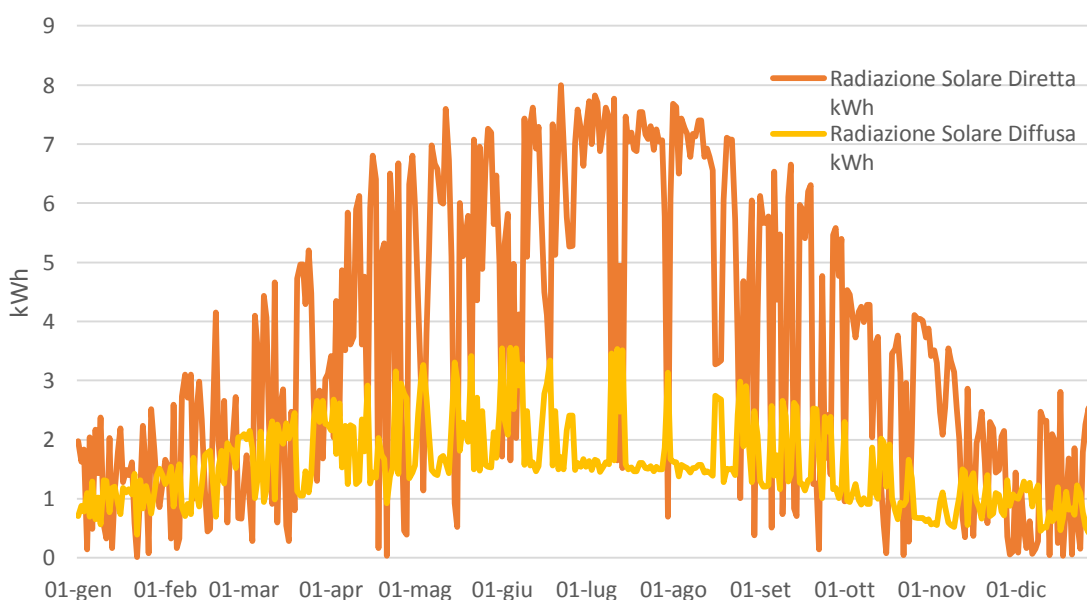
Grafico 4 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Bolzano.

Il grafico relativo alla radiazione solare che caratterizza Bolzano rivela un probabile alto tasso di nuvolosità del cielo: mentre la radiazione solare diffusa subisce piccole oscillazioni sul breve periodo, la componente diretta subisce brusche variazioni: ciò è spiegabile solo con la presenza di nubi che limitano il passaggio di radiazione diretta; essendo il fenomeno osservabile lungo tutto il grafico, se ne deduce che il sito presenta un alto tasso di nuvolosità lungo tutto il corso dell'anno.



*Grafico 5 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Roma.*

Come si può evincere dal grafico, la questione della copertura della volta celeste risulta esser molto meno annosa a Roma, soprattutto durante il periodo estivo: lo si deduce dalla scarsità di bruschi crolli nell'andamento della radiazione solare media diretta giornaliera. Si può inoltre leggere un generale aumento della radiazione diretta che raggiunge il suolo durante il periodo invernale, con valori circa doppi rispetto al caso altoatesino.



*Grafico 6 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Palermo.*

Dalla lettura del grafico, si deduce che la percentuale di nuvolosità nei mesi estivi a Palermo risulta essere piuttosto bassa; si nota, rispetto ai casi precedenti, un generale aumento della quota di radiazione diretta che raggiunge il suolo, sia durante il periodo invernale sia estivo. L'andamento della radiazione solare diffusa rimane, al contrario, pressoché invariato nei tre casi studio.

### 5.5. La strategia di indagine

Il processo di analisi del modello è stato impostato come costante raffronto tra prestazioni, tramite gli indici di comfort, tra l'edificio nella configurazione di base e la variante in esame. Per agevolare il processo di simulazione e di esame dei risultati, ogni variante di modello presenta una sola caratteristica mutata, mentre tutti gli altri aspetti morfologici e tecnologici rimangono fedeli alla versione base; in altre parole, ogni variante è una copia del modello base, ma con la variazione di una sola caratteristica: l'orientamento dell'asse principale, la presenza della serra vetrata al posto della loggia, la tecnologia costruttiva dell'involucro, ecc..

Per monitorare le prestazioni dei modelli con varianti, sono analizzati gli indici di comfort precedentemente definiti, facendone un costante confronto con il caso base per valutare miglioramenti o peggioramenti delle condizioni interne, in relazione alle aspettative di benessere che si vogliono raggiungere. Ogni *i*-esima variante di modello è stata valutata, mediante software, nei tre climi precedentemente descritti; si vuole, infatti, indagare quale soluzione sia la più performante in ogni clima, escludendo a priori la possibilità di trovare una configurazione universalmente identificabile come "migliore"; si cerca, inoltre, di determinare la correlazione esistente tra variabili di progetto e risposta dell'edificio, in termini di comfort interno, in relazione alle condizioni climatiche esterne.

Si riporta ora, a titolo d'esempio, l'analisi dei risultati riguardanti le varianti di progetto connesse al parametro "Spessore globale dello strato di isolamento termico", con collocazione del modello a Bolzano.

Si rimanda alla tabella seguente per la completa caratterizzazione delle varianti I.OX; si riporta in sintesi, per comodità, indicazioni riguardanti lo spessore di isolante e la trasmittanza termica media dell'involucro corrispondente ad ogni caso.

Denominazione	Spessore isolante [cm]	$\bar{U}$ [W/m <sup>2</sup> K]
I.01	5	0,504
I.02	10	0,385
I.03	15	0,318
I.04	20	0,280
BASE	25	0,260
I.05	30	0,241
I.06	35	0,228

Tabella 27 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello I.OX.

Le simulazioni energetiche in regime dinamico hanno permesso di valutare l'andamento della temperatura operante media oraria all'interno dell'edificio. Per evitare che i risultati fossero affetti da singolarità presenti negli input, ovvero nei file climatici, si è deciso di valutare la media mobile della temperatura operante media giornaliera calcolata su intervalli di tempo di 10 giorni. Si presentano di seguito, in forma grafica, l'andamento delle temperature operanti medie giornaliere al variare dello spessore di isolamento termico presente nell'involucro; il primo grafico riporta l'andamento durante tutto il corso dell'anno, mentre i due successivi si concentrano sul periodo nel quale si prevede sia necessario riscaldamento (15 ottobre-15 aprile) e periodo di raffrescamento (16 aprile-14 ottobre).

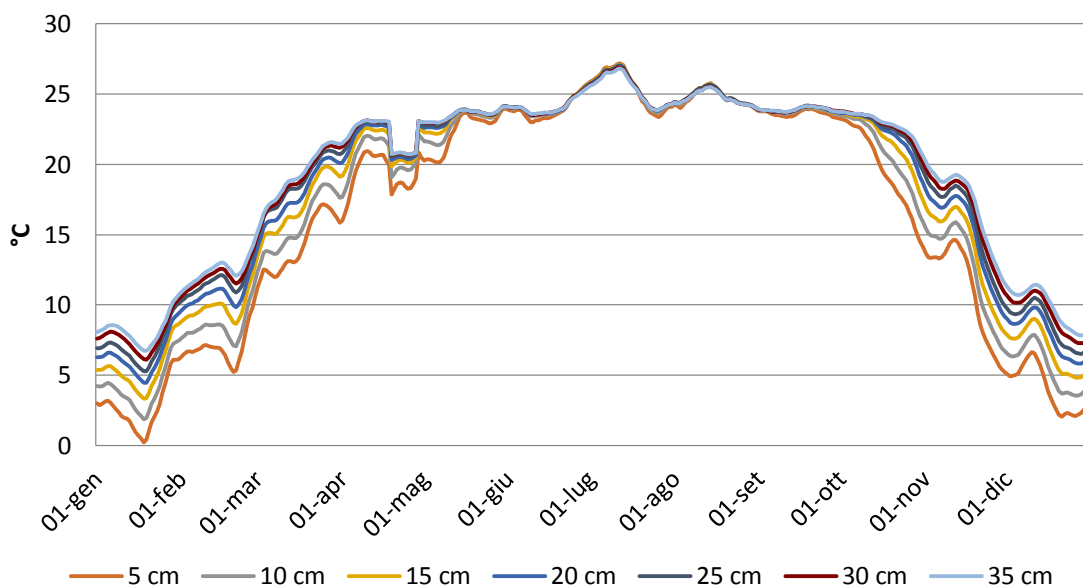


Grafico 7 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Bolzano.

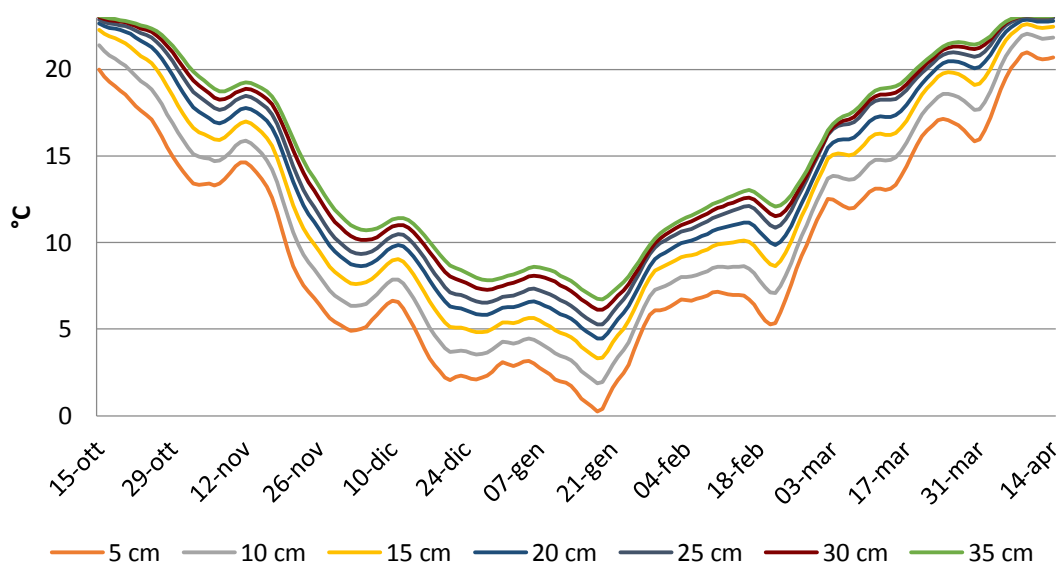


Grafico 8 - Andamento della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.

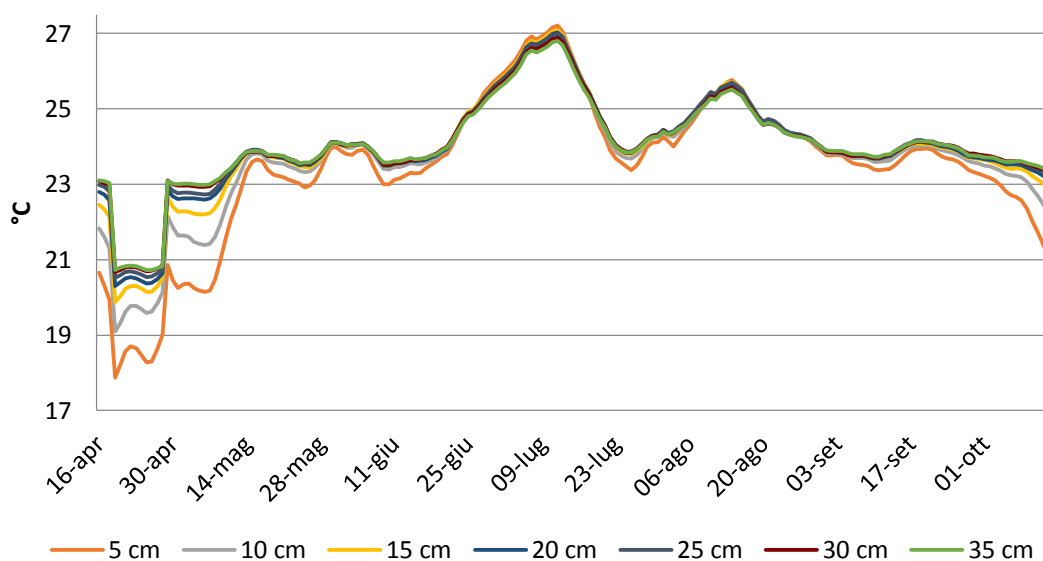


Grafico 9 - Andamento della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano.

Il modello energetico prevede l'instaurarsi di ventilazione naturale tramite apertura delle finestre quando la temperatura dell'aria interna supera la soglia minima di 24 °C: questa è la motivazione alla base del differente comportamento estivo ed invernale; durante l'inverno, quando non si effettua ventilazione naturale, la temperatura operante interna è governata prevalentemente da guadagni e dispersioni attraverso l'involucro; agendo sullo spessore di isolamento si modifica la quota di energia dispersa e, come diretta conseguenza, sulla temperatura interna all'edificio; durante l'estate, invece, i parametri che influenzano la

temperatura operante son molteplici, poiché entra in gioco la ventilazione naturale e la conseguente miscelazione di aria interna ed esterna: ciò che ne deriva è una minor incidenza delle prestazioni dell'involucro sul parametro misurabile di temperature operante.

Si riportano ora l'andamento annuale e stagionale dei parametri di comfort GhD e  $\Delta T$ , considerando nuovamente i valori ottenuti dalla media mobile su di un periodo di 10 giorni.

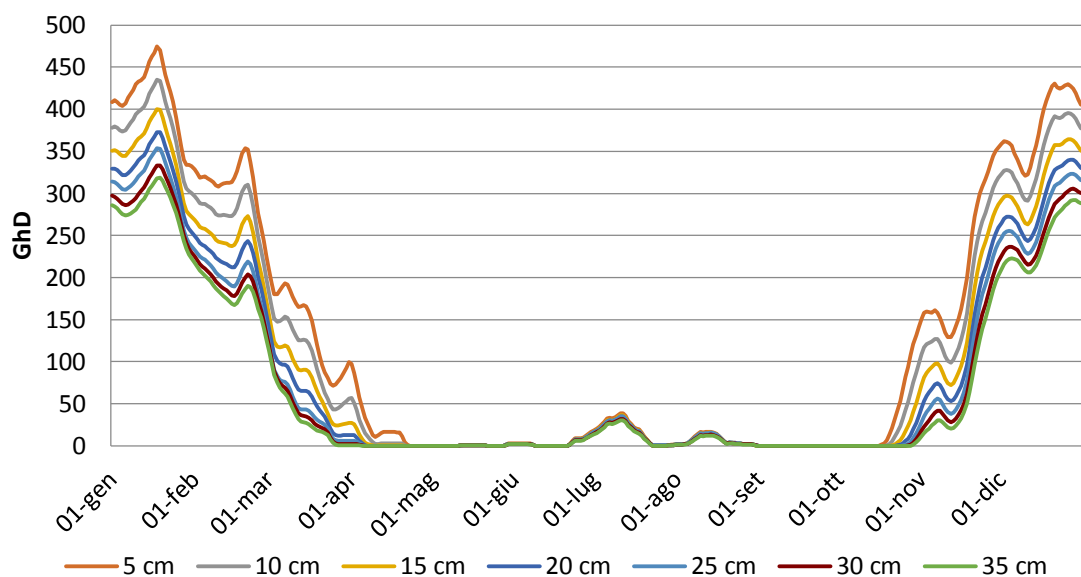


Grafico 10 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Bolzano.

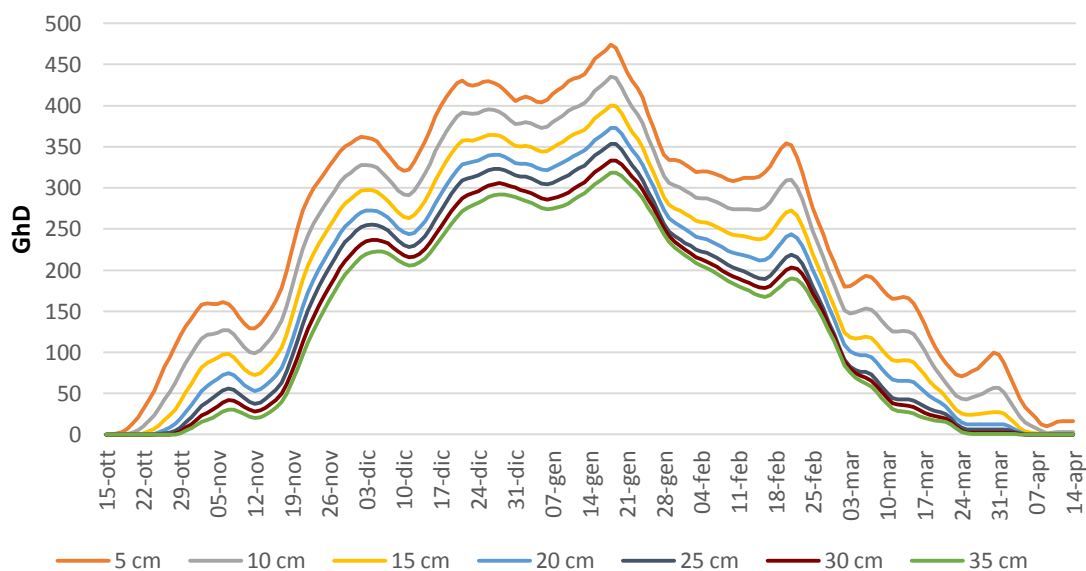


Grafico 11 - Andamento dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.

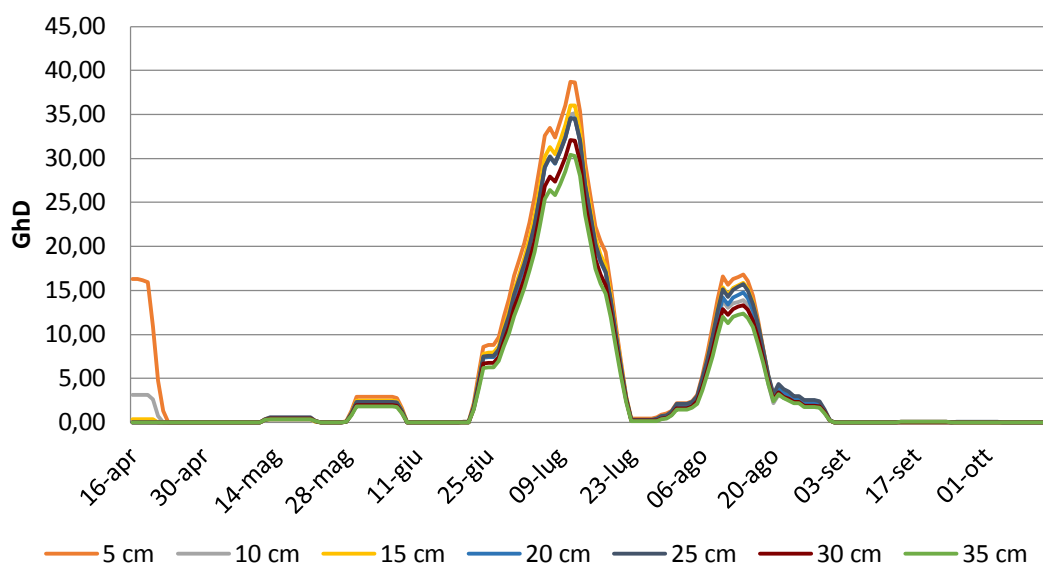


Grafico 12 - Andamento dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano.

Ciò che si evince dall'analisi dei grafici è che durante la stagione invernale, in un clima freddo come quello di Bolzano, migliorare le prestazioni energetiche dell'involucro porta come beneficio la diminuzione dei GhD, ossia al minor discostamento dagli standard di benessere; nei periodi di transizione, quali primavera ed autunno, le condizioni esterne risultano esser tali da garantire da sole un buon grado di soddisfazione per l'ambiente interno, indipendentemente dalle prestazioni dell'involucro: si riscontra, infatti, una quota di GhD pari a zero per tutte le varianti di modello; infine, durante i periodi più caldi dell'anno, un eccessivo isolamento termico può portare a discomfort per surriscaldamento degli ambienti interni, così come segnalato dall'aumento dei GhD correlato al miglioramento delle performance delle chiusure.



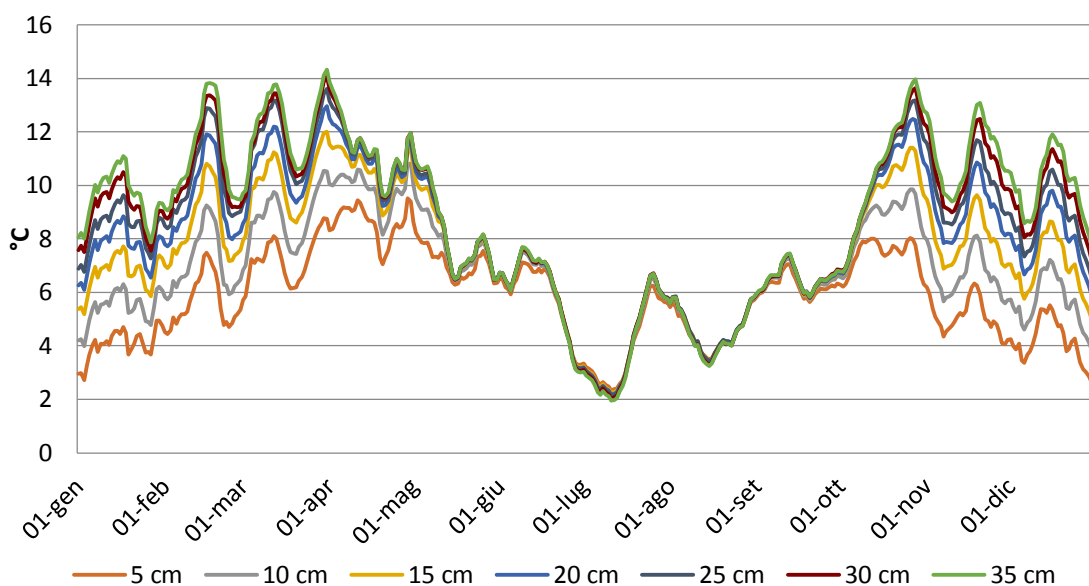


Grafico 13 - Andamento annuale delle medie giornaliere delle differenze di temperatura interno-esterno per le varianti I.OX, Bolzano.

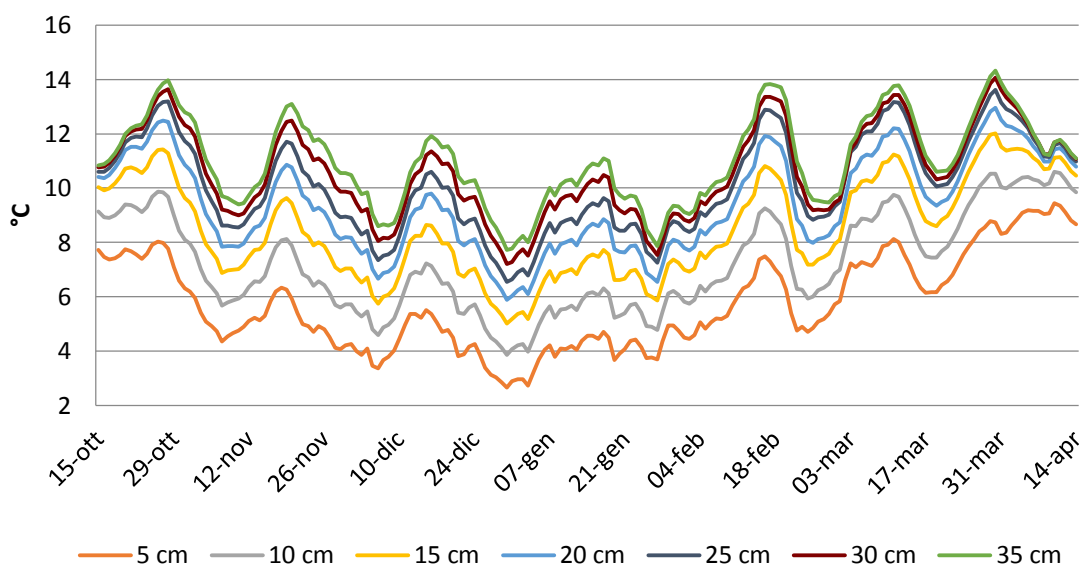


Grafico 14 - Andamento delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.

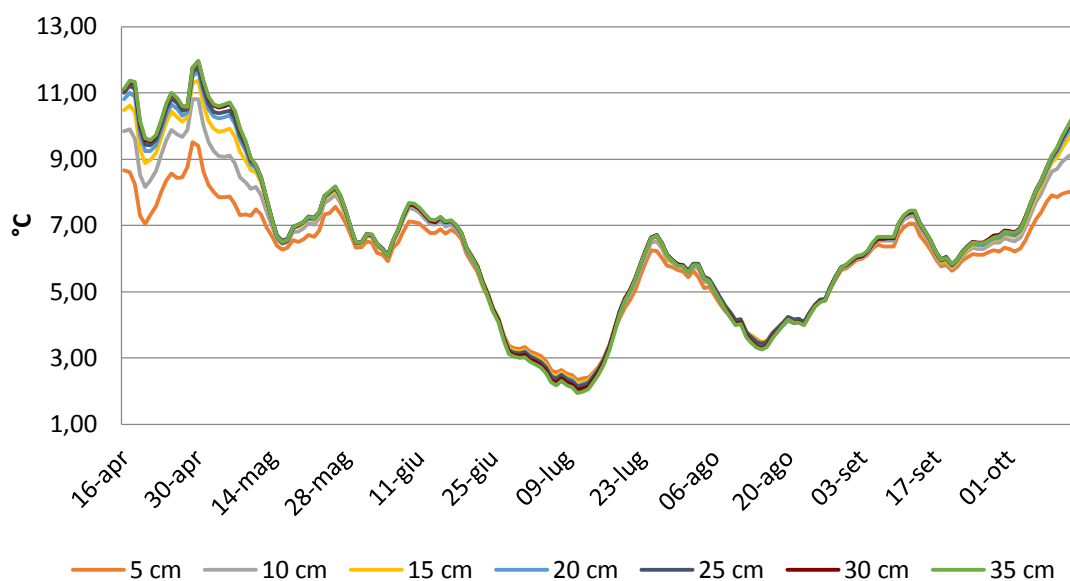


Grafico 15 - Andamento delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano

L'andamento dell'indice di valutazione  $\Delta T$  conferma quanto già appreso dalle analisi precedenti: l'aumento del grado di isolamento termico dell'involucro, con conseguente miglioramento delle prestazioni energetiche, porta ad un significativo aumento della temperatura operante interna durante i periodi più freddi: a parità di temperatura esterna, l'aumento del  $\Delta T$  è da imputarsi solamente ad un incremento di temperatura interna. Per i periodi più caldi dell'anno, invece, gli effetti della ventilazione naturale tendono a abbattere drasticamente il gradiente termico tra interno ed esterno dell'edificio: ciò è confermato dai valori esigui di  $\Delta T$  riscontrabili nei grafici precedenti.

Prendendo in considerazione ora anche il terzo indicatore di comfort, ossia il PMV, si cerca di stabilire che tipo di correlazione intercorra tra caratteristica variabile (o meglio, tra parametro fisico che caratterizza le variazioni di modello) e gli indici di benessere. Per far ciò, è stato necessario calcolare i valori medi stagionali per i tre indici di comfort. I valori di indici di comfort riportati nei grafici di correlazione sono quindi da considerarsi stagionali.

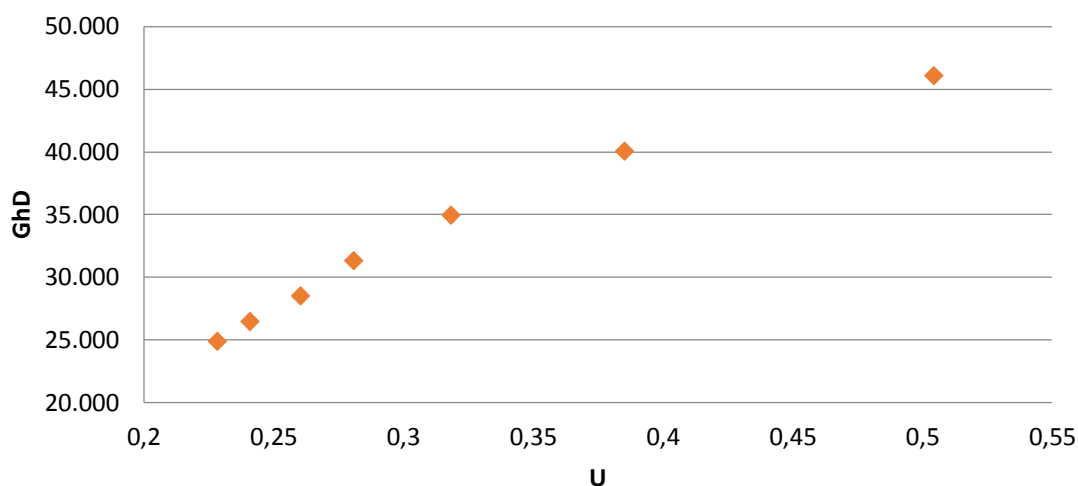


Grafico 16 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

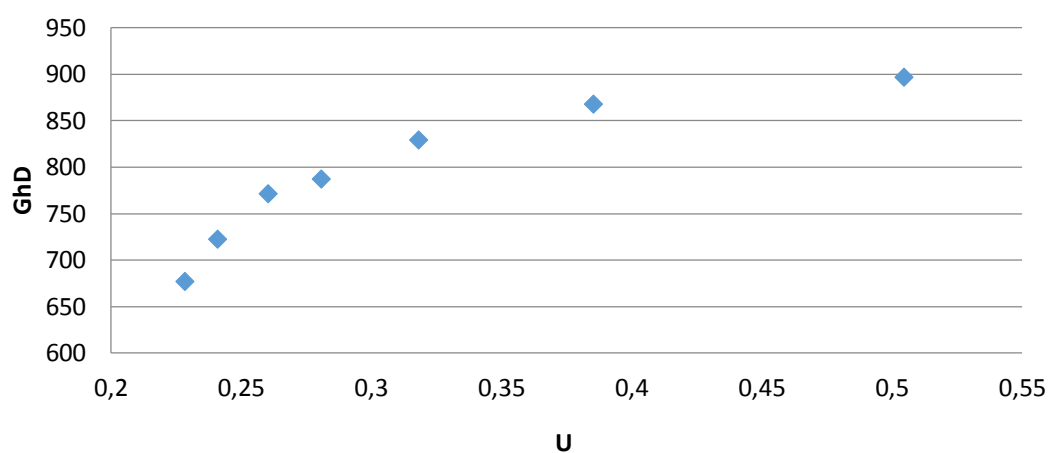


Grafico 17 – GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

Sebbene la scala riportata sull'asse verticale sia molto differente nei due grafici, ciò che si nota è che esiste una correlazione circa lineare tra trasmittanza media dell'involucro e GhD totali previsti; si considera come periodo per la somma dei valori di GhD invernali il periodo di riscaldamento come prescritto da normativa, da 15 ottobre a 15 aprile per Bolzano; la restante parte dell'anno, per la quale non è previsto riscaldamento, è denominato come estate.

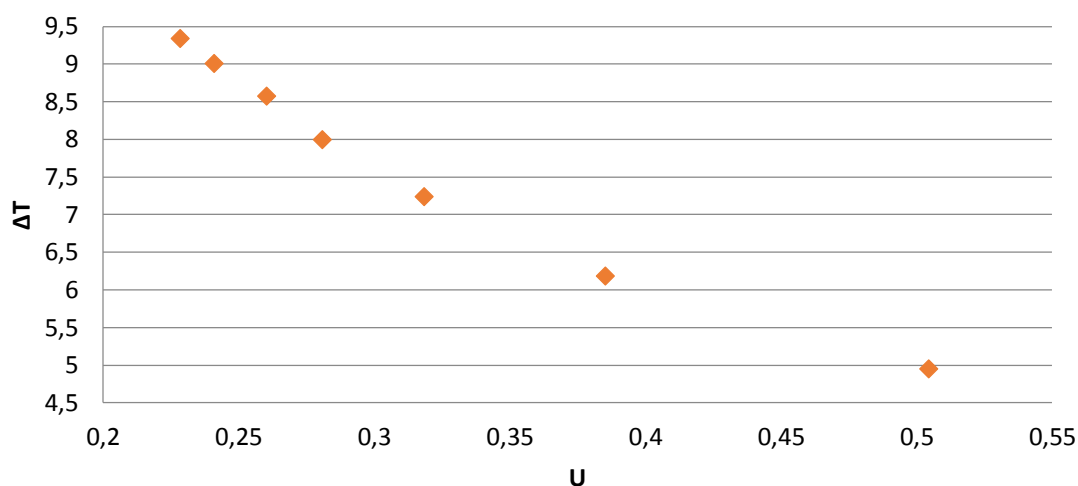


Grafico 18 -  $\Delta T$  medi su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

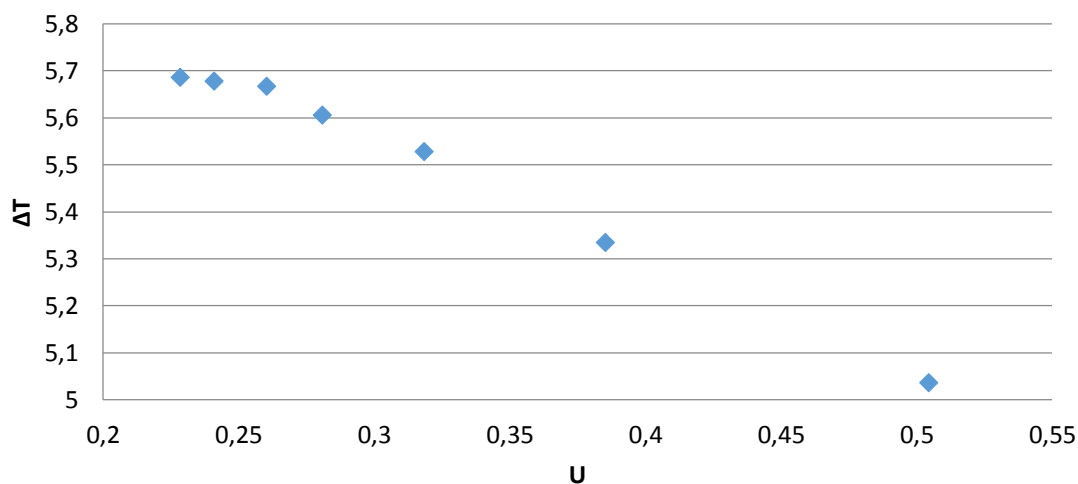


Grafico 19 -  $\Delta T$  medi su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

In stretta correlazione con l'indice appena considerato, l'analisi dei valori medi stagionali di  $\Delta T$  conferma il legame lineare tra temperatura operante interna e trasmittanza termica media dell'involucro: dato il diverso significato fisico, però, si può notare un'inversione del trend; all'aumentare del  $\Delta T$  in inverno si ha temperatura operante maggiore, quindi si è più prossimi alle condizioni standard di comfort e come conseguenza GhD è ai valori minimi.

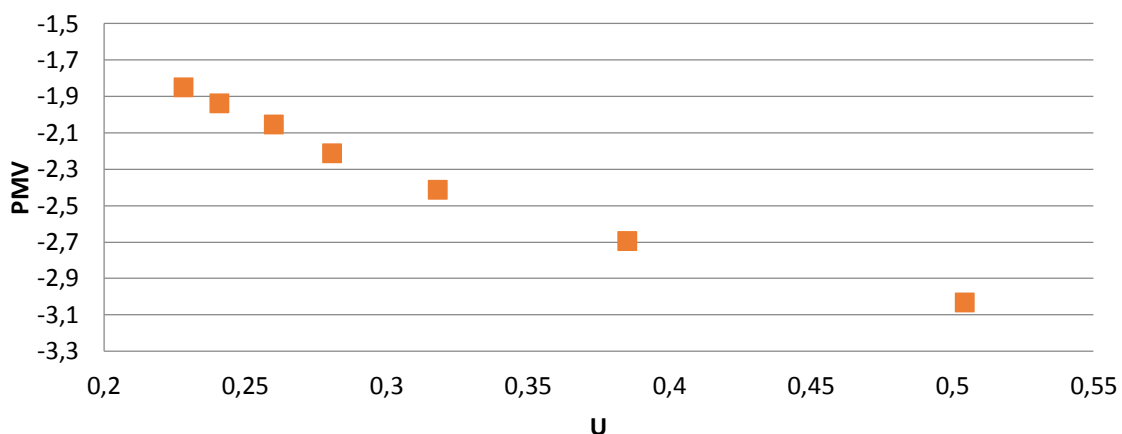


Grafico 20 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

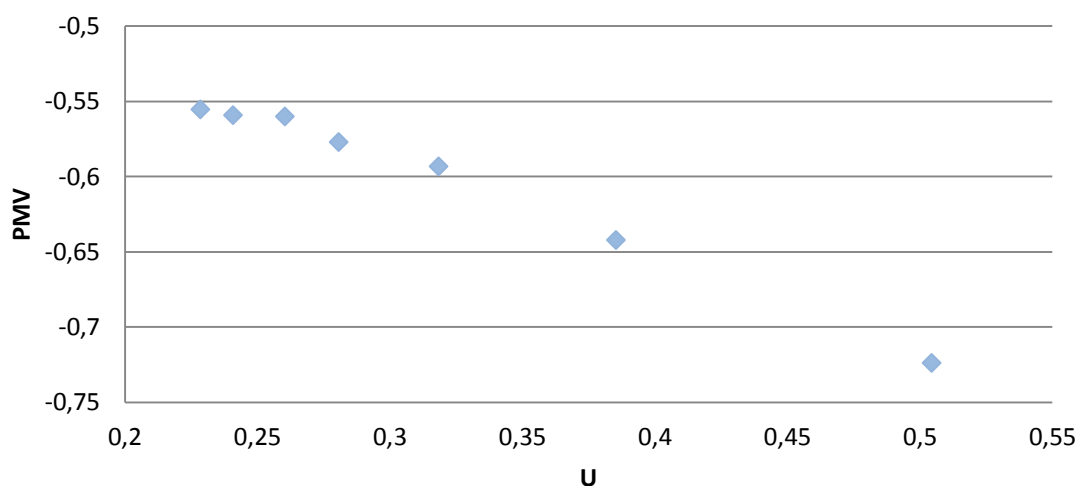


Grafico 21 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.

Nuovamente, la linearità del legame tra trasmittanza termica media dell'involucro e benessere interno è confermata dall'analisi dell'indice di comfort Predicted Mean Vote. L'andamento del grafico rispecchia quanto osservato nell'analisi del  $\Delta T$ : in inverno un involucro più isolato garantisce temperature interne più alte, il che si traduce in valori di PMV più prossimi alla neutralità, cioè allo 0. Quello che finora è stato indicato con "periodo di raffrescamento" è, in realtà, il periodo dell'anno durante il quale non è consentito l'utilizzo dell'impianto di

riscaldamento<sup>62</sup>; osservando l'andamento di  $\Delta T$  e PMV si riscontra un andamento del tutto analogo a quanto osservato nel periodo di riscaldamento: all'aumentare della trasmittanza media dell'involucro i valori di PMV si avvicinano allo zero, mantenendosi negativi; ciò significa che la sensazione percepita all'interno dell'edificio è di leggero freddo. Se si considerassero i soli mesi più caldi, da inizio giugno a fine settembre, si otterrebbero valori positivi, con ambiente interno eccessivamente caldo; tuttavia l'aver effettuato la media su un arco di tempo più lungo, che include anche periodi di transizione, fa sì che i valori medi siano tendenzialmente bassi.

Data la stretta correlazione che intercorre tra gli indici di comfort analizzati, si ritiene conveniente, per questioni di brevità, presentare nel presente elaborato solamente le correlazioni che coinvolgono i GhD; per la completezza dei risultati, si rimanda al relativo allegato F.

## 5.6. I risultati delle analisi

Al fine di favorire il confronto tra il comportamento delle varianti di modello nei diversi contesti climatici, si è scelto di presentare i risultati delle analisi accostando gli output della medesima variante di modello, valutata nei diversi siti. Per questa ragione, si prosegue nell'analisi dell'influenza dello spessore di isolamento termico nell'involucro, presentando i risultati per la città di Roma e di Palermo.

---

<sup>62</sup> Il riferimento normativo che regola l'accensione del riscaldamento è la legge numero 10 del 9 gennaio 1991 e del Dpr numero 412 del 26 agosto 1993 e successive modifiche.

## 5.6.1. Variante I.OX – Spessore dello strato di isolamento termico

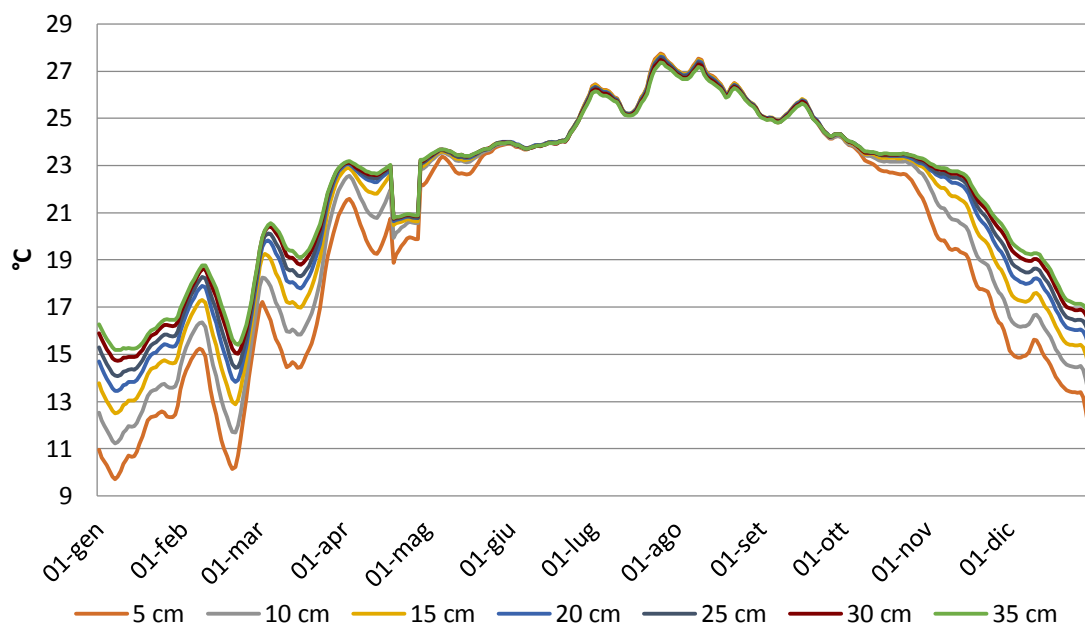


Grafico 22 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Roma.

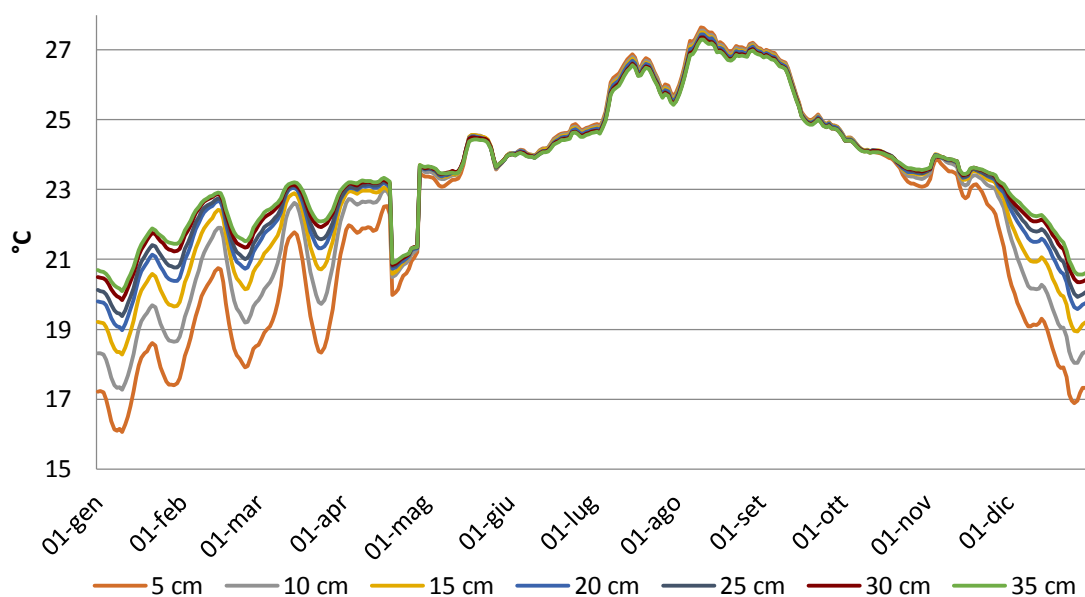


Grafico 23 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Palermo.

Analogamente a quanto detto nel caso di Bolzano, la trasmittanza media dell'involucro (strettamente correlata allo spessore dello strato di isolamento termico) ha maggior rilevanza nell'influenza sulla temperatura media operante durante il periodo invernale, quando essa non è turbata da fenomeni di ventilazione naturale. Si noti anche come le condizioni al contorno

influenzano profondamente le circostanze all'interno dell'edificio: prendendo l'esempio del caso con spessore di isolamento più esiguo, durante il periodo invernale a Bolzano la temperatura media operante arrivava a valori prossimi allo 0 °C; nel caso in cui il medesimo edificio fosse sito a Roma, a parità di ogni altra caratteristica, secondo quanto valutato dalle simulazioni in regime dinamico tramite Design Builder, tale valore non scende mai al di sotto della soglia dei 9 °C; a Palermo, addirittura, nel caso più sfavorito la temperatura media operante rimane comunque al di sopra dei 15 °C, lasciando intuire che il ricorso a sistemi meccanici per la climatizzazione invernale risulterà meno preponderante intenso rispetto alle altre località in esame.

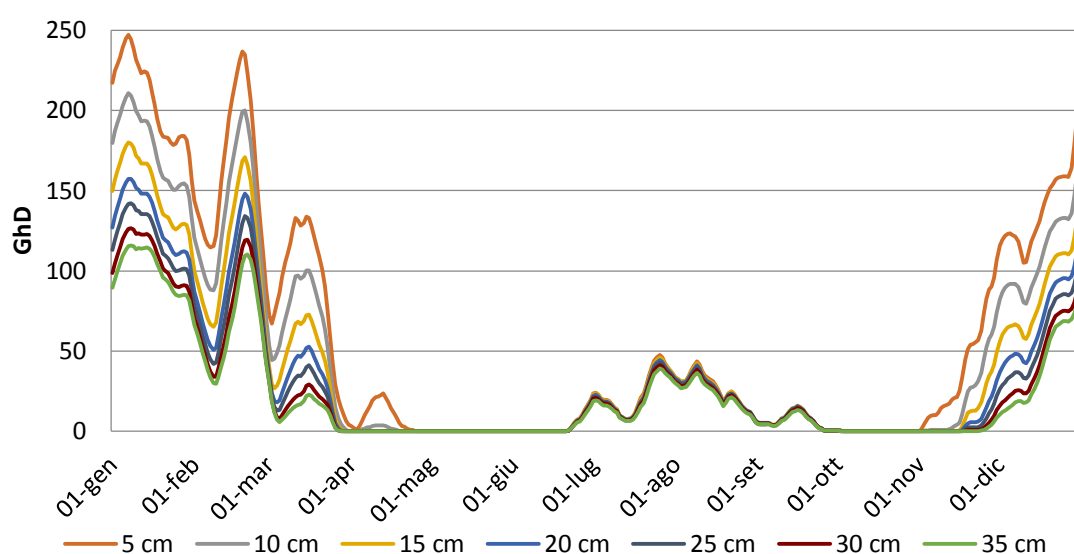


Grafico 24 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Roma.

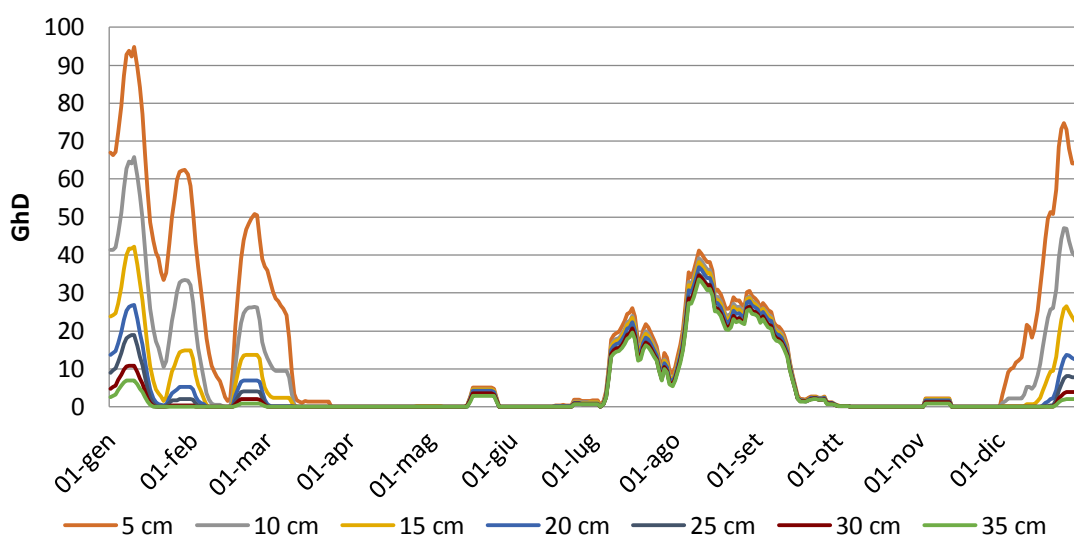




Grafico 25 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Palermo.

La quota massima di GhD che si calcola di raggiungere a Roma durante la stagione di riscaldamento, con involucro scarsamente è isolato, è di circa 250 Ghd: tale valore risulta essere pari alla metà di quanto calcolato nel caso altoatesino; a parità di configurazione di involucro, le forzanti esterne son in grado di variare sensibilmente le condizioni interne. Di contro, si riscontra un aumento del valore di picco di GhD durante il periodo più caldo dell'anno. Il tutto è confermato dai dati relativi al caso siciliano, in cui si riscontra un sensibile abbattimento dei valori di GhD lungo tutto l'arco invernale; il valore massimo che viene raggiunto, nella giornata più sfavorita, con l'involucro meno isolato, è inferiore ai 100 Ghd.

Per la determinazione delle correlazioni tra Gradi Ora di Discomfort e prestazioni delle varianti di modello, si considerano di valori cumulati su periodo di riscaldamento come definito da normativa, in funzione della località presa in considerazione: a Bolzano la somma è effettuata tra il 15 ottobre e il 15 aprile, a Roma tra il 1 novembre e il 15 aprile, a Palermo tra il 1 dicembre ed il 15 marzo; la restante parte dell'anno viene denominata "estate".

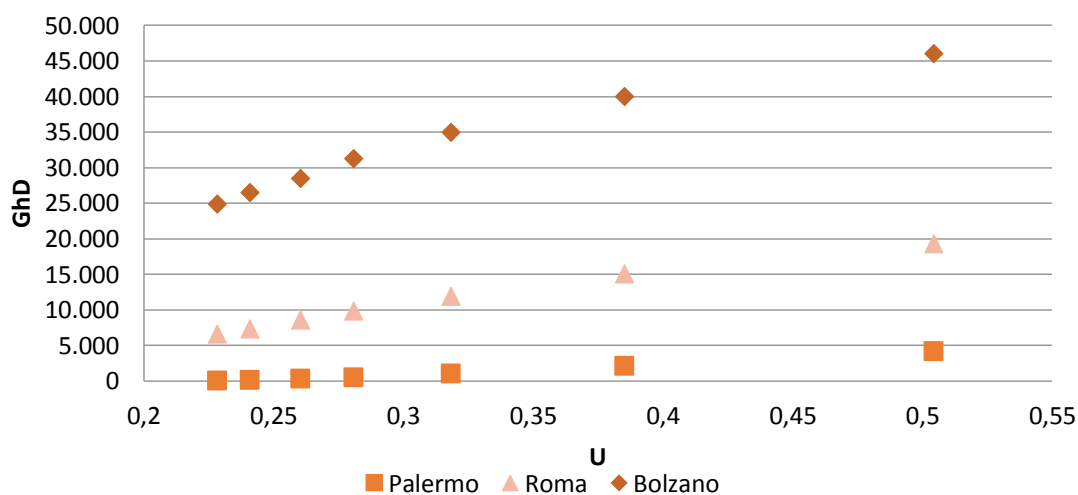


Grafico 26 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro.

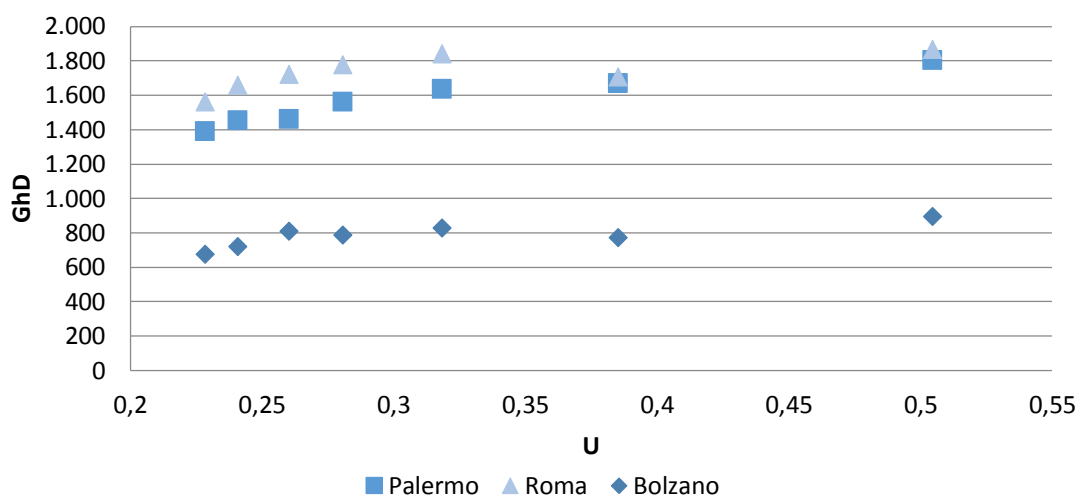


Grafico 27 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro.

La relazione di circa-linearità intercorrente tra la variabile in esame e il comfort interno viene confermata. Le variazioni di GhD calcolate durante il periodo invernale sono tanto più consistenti quanto più è rigido il clima esterno; per i mesi più caldi dell'anno lo scostamento è minimo in tutte le località considerate. Se ne deduce che la scelta dello spessore di isolamento è da effettuarsi basandosi sul periodo di riscaldamento.

### 5.6.2. Variante O.0X – Orientamento

Le varianti di progetto caratterizzate da un differente orientamento dell'asse principale mantengono le caratteristiche morfologiche e tecnologiche del modello base, apportando come unica variazione la giacitura di tale asse. Si riporta, in forma tabellare, la nomenclatura convenzionale che si è scelto di adottare per individuare le varianti in funzione dell'orientamento dell'asse principale dell'edificio.

Denominazione	Posizione della loggia	Angolo di rotazione
Base	Sud-est	0°
O.01	Sud-est	45° ovest
O.02	Sud-est	90° ovest
O.03	Sud-est	90° est
O.04	Sud-est	45° est
O.05	Sud-ovest	0°
O.06	Sud-ovest	45° ovest
O.07	Sud-ovest	90° ovest
O.08	Sud-ovest	90° est
O.09	Sud-ovest	45° est

Tabella 28 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello O.0X

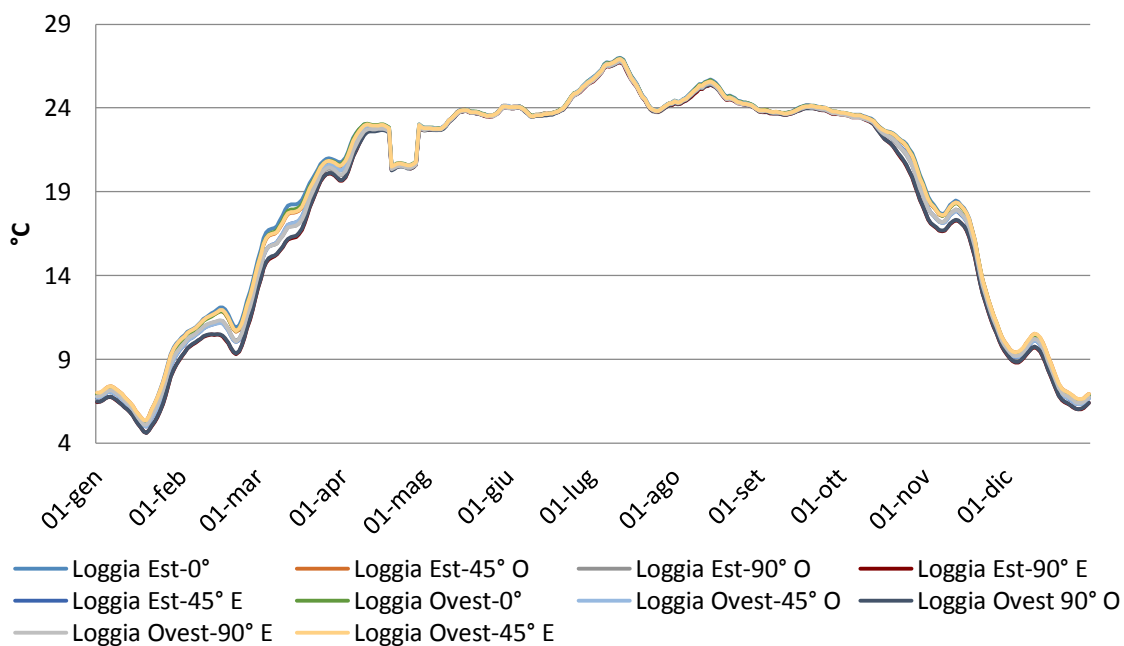


Grafico 28 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.0X, Bolzano

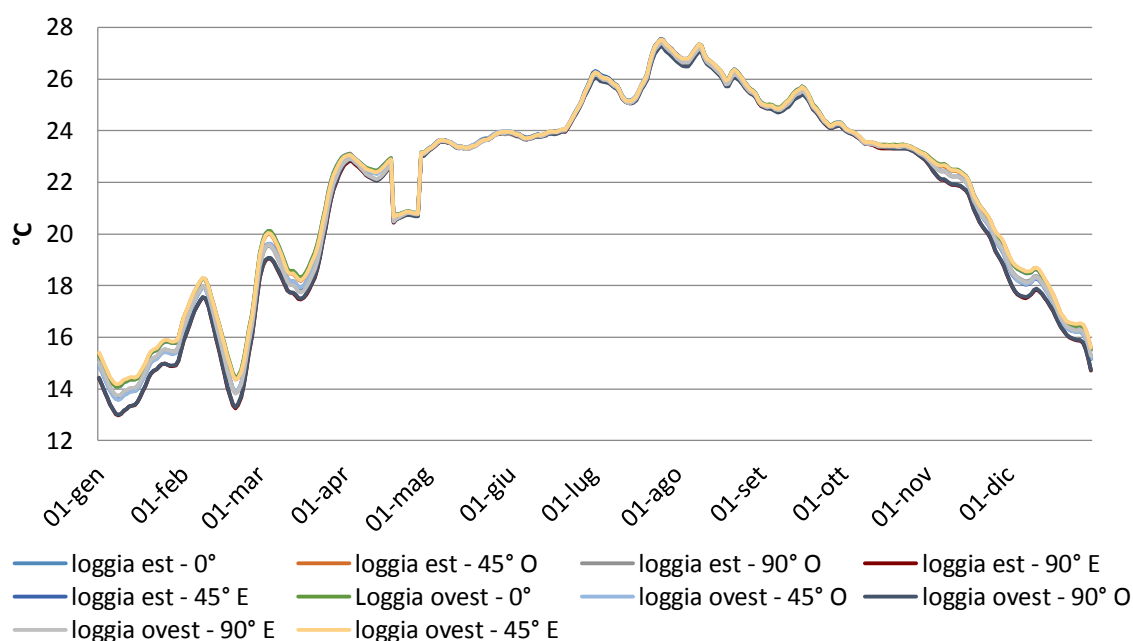


Grafico 29 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.0X, Roma.

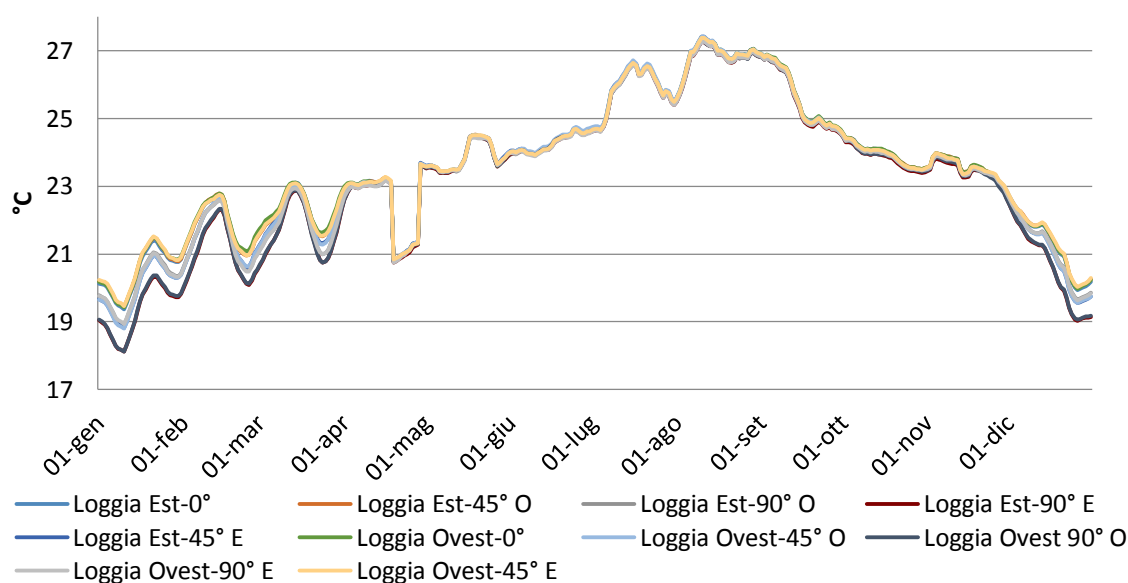


Grafico 30 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.0X, Palermo.

La rotazione dell'asse principale dell'edificio non porta a stravolgimenti di sostanziale importanza nell'andamento delle temperature medie radianti. Si noti, tuttavia, che l'orientamento risulta esser maggiormente influente sulla temperatura operante durante il periodo di riscaldamento; la giacitura dell'edificio e la relativa possibilità di guadagni solari risultano avere un impatto maggiore durante l'inverno, mentre durante l'estate gli effetti connessi alla ventilazione naturale tendono a minimizzarne l'influenza.

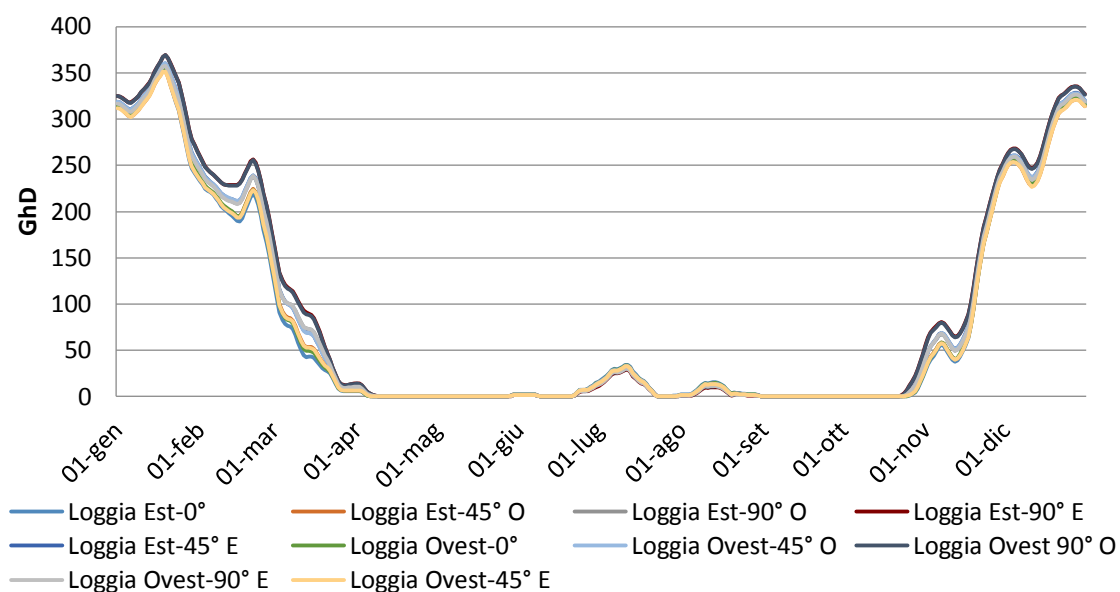


Grafico 31 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.0X, Bolzano.

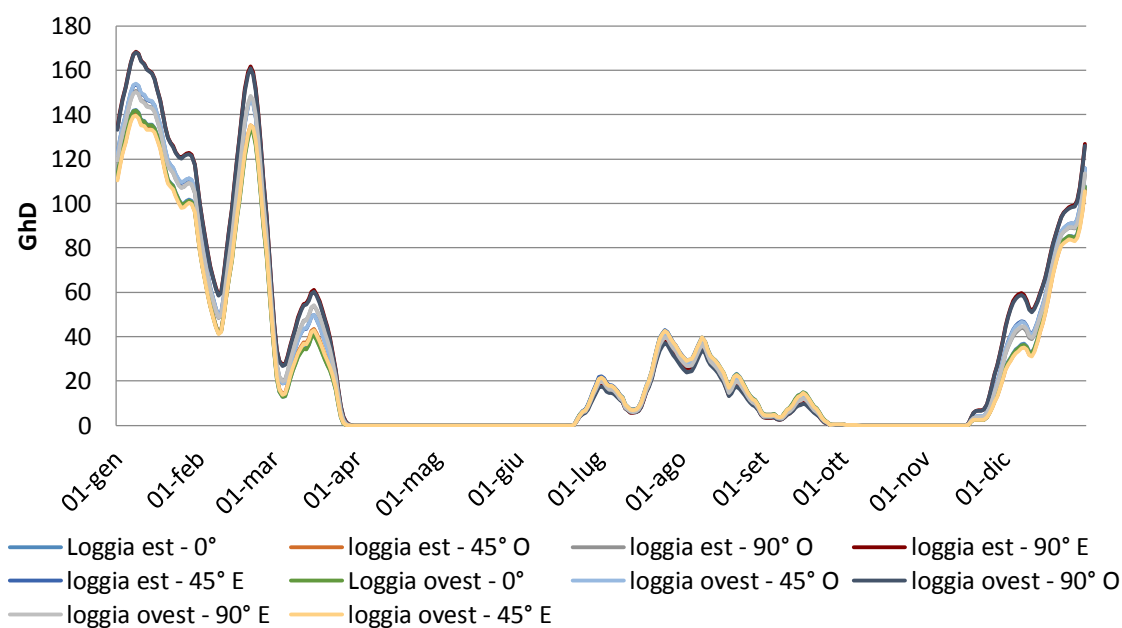


Grafico 32 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.0X, Roma.

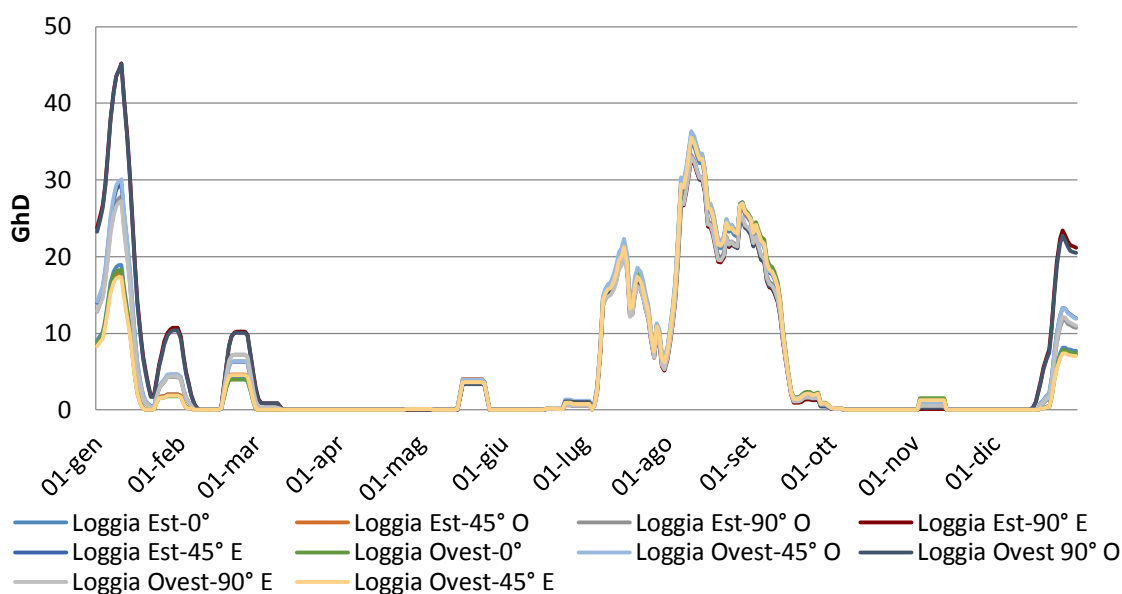


Grafico 33 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.OX, Palermo.

L'analisi degli andamenti dei gradi ora di discomfort confermano quanto già evidenziato dai trend delle temperature medie operanti; l'influenza dell'orientamento ha scarsissima valenza durante il periodo di non-riscaldamento, mentre assume un ruolo, seppur piuttosto marginale, durante i periodi più freddi, in quanto influenza la quota di guadagni solari gratuiti a disposizione dell'edificio. Durante l'estate ciò che maggiormente condiziona l'andamento delle temperatura e degli indici di comfort è la ventilazione naturale, che si ricorda viene effettuata ogni qualvolta la temperatura dell'aria interna supera la soglia minima di 24 °C.

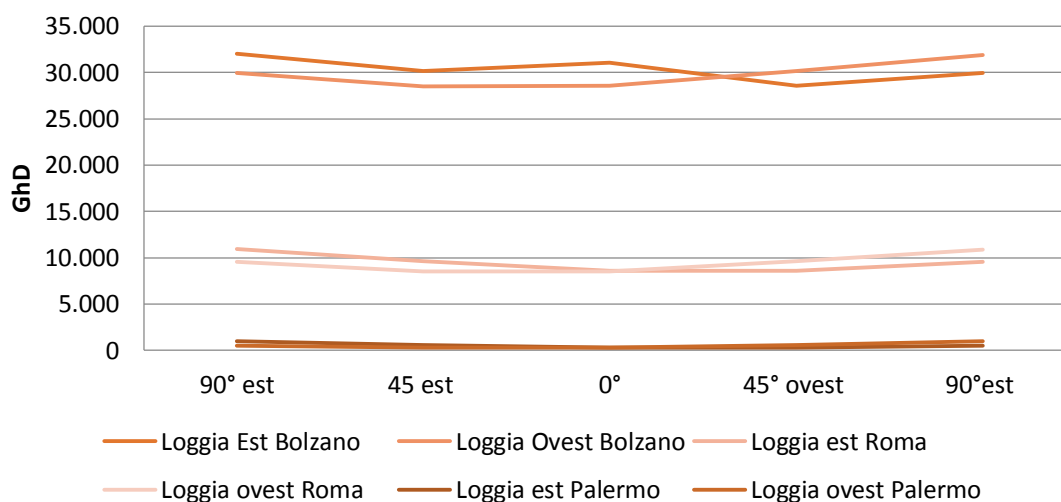


Grafico 34 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale.

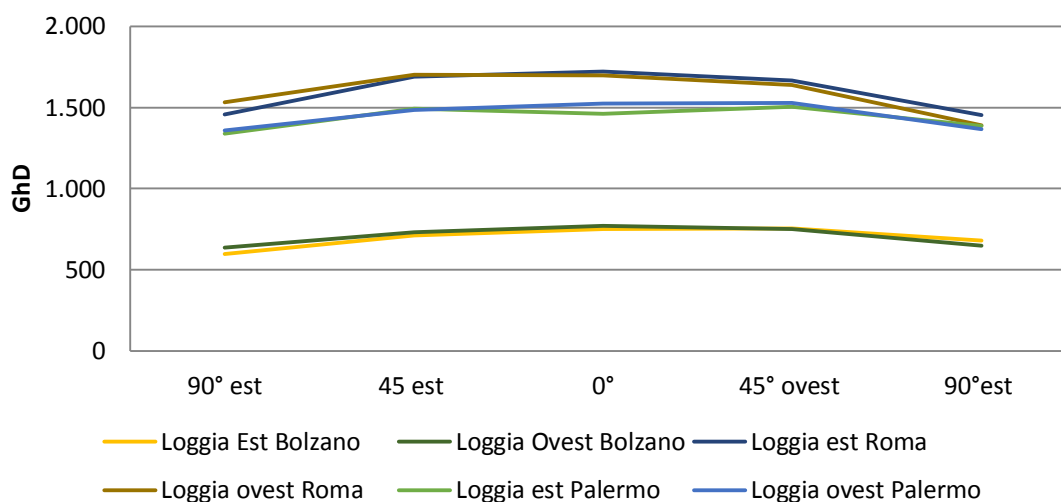


Grafico 35 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale

Il confronto stagionale tra le diverse varianti di progetto mostra che gli andamenti dei GhD totali rimangono sostanzialmente uguali, ma subiscono piccole accentuazioni e smorzamenti in funzione della quantità di radiazione solare che caratterizza il sito considerato; più il clima esterno è rigido, maggiore è il contributo al benessere che la quota di guadagni solari apporta, di conseguenza maggiori sono gli effetti apprezzabili come effetto di un mutato assetto delle porzioni trasparenti d'involucro. Per lo stesso principio, si riscontra un comportamento esattamente opposto durante il periodo estivo: nel sito in cui si hanno livelli di radiazione solare più alti, un differente orientamento muta più sensibilmente le condizioni di comfort interno.

### 5.6.3. Variante A.OX – Percentuale di apertura dell'involucro

Le varianti di modello caratterizzate dalla sigla A.OX presentano variazioni in merito alla percentuale di superfici trasparenti in rapporto all'area complessiva dell'involucro dell'edificio. Ampliare la frazione trasparente dell'involucro corrisponde ad aumentare i guadagni solari ma, al contempo, le dispersioni attraverso le suddette superfici. Per questa ragione si è deciso di aggiungere un indice di prestazione che aiuti a monitorare il funzionamento globale del modello energetico:

$$\gamma = \frac{\sum \text{Apporti gratuiti}}{\sum \text{Dispersioni}}$$

L'analisi durante il periodo invernale sarà finalizzata alla ricerca del massimo  $\gamma$ , ossia all'area di superficie trasparente che garantisce di massimizzare i guadagni gratuiti in rapporto alle dispersioni.

Si riporta, in forma tabellare, la sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello oggetto di analisi nella presente sezione.

Denominazione	Rapporto di apertura
Base	RAI=8,81%
A.01	15%
A.02	20%
A.03	30%
A.04	40%
A.05	50%
A.06	60%
A.07	70%
A.08	80%

Tabella 29 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello A.OX

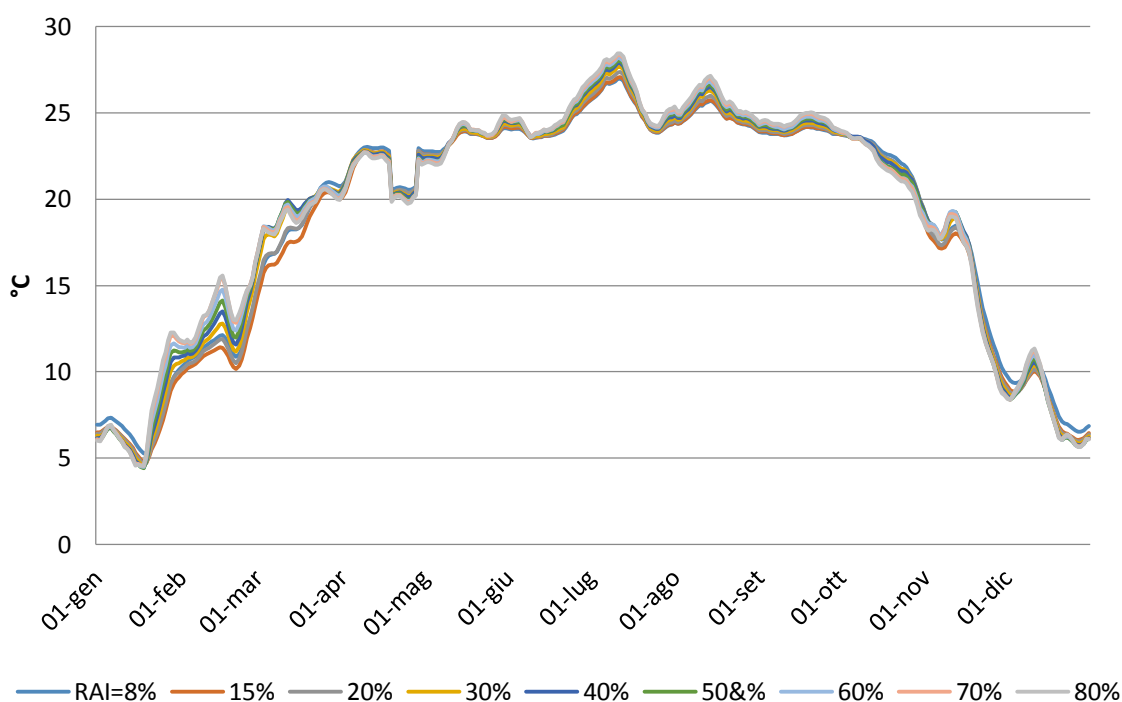


Grafico 36 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.OX, Bolzano.



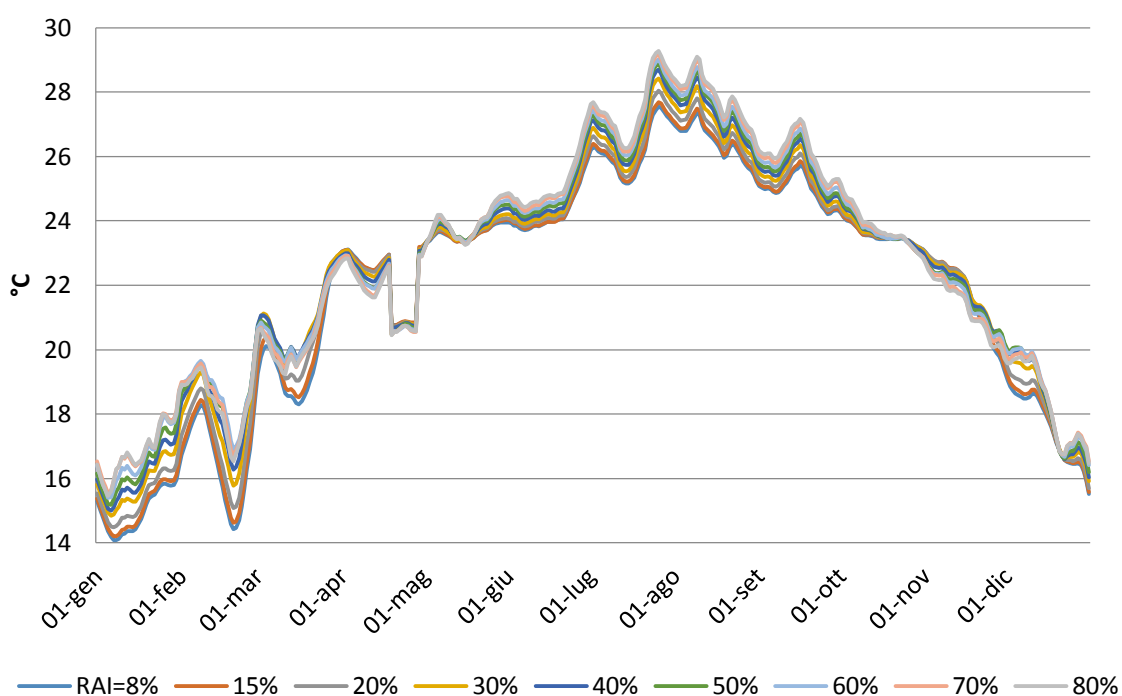


Grafico 37 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.0X, Roma.

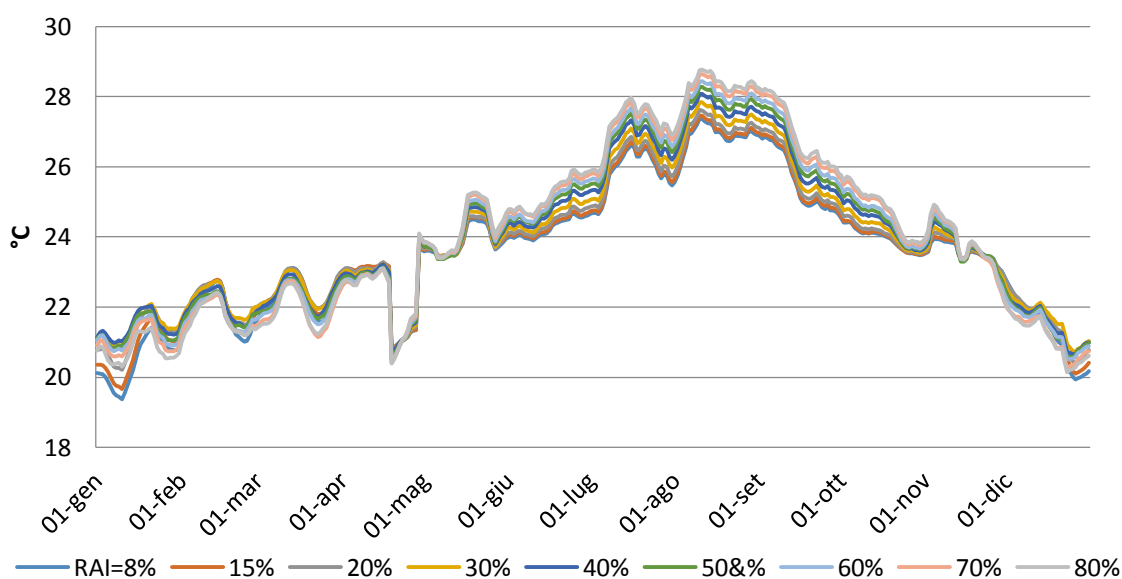


Grafico 38 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.0X, Palermo.

Se in climi rigidi come quello altoatesino, la possibilità di ampliare la porzione trasparente rappresenta un vantaggio invernale, poiché consente di aumentare i guadagni solari, al contrario, in climi più caldi, la tendenza ad aumentare la frazione vetrata rappresenta un rischio per il surriscaldamento estivo; a Bolzano il periodo che va dal febbraio ad aprile è quello

che presenta maggior variabilità di temperatura in funzione della variante di modello esaminata. Come atteso, invece, a Palermo il periodo che maggiormente risente della variazione di percentuale di apertura dell'involucro è l'estate, nel periodo compreso tra giugno fino ad ottobre inoltrato.

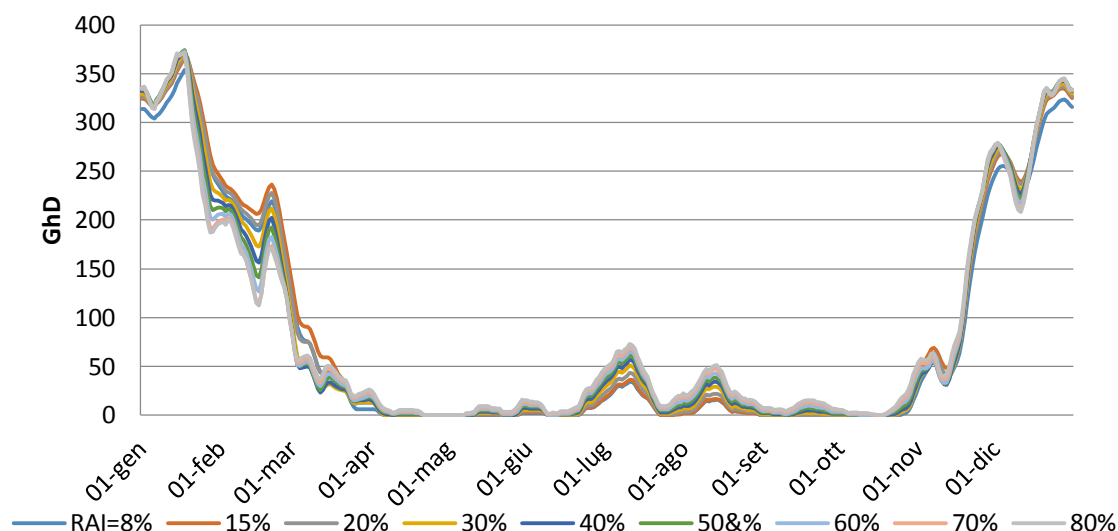


Grafico 39 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.OX, Bolzano.

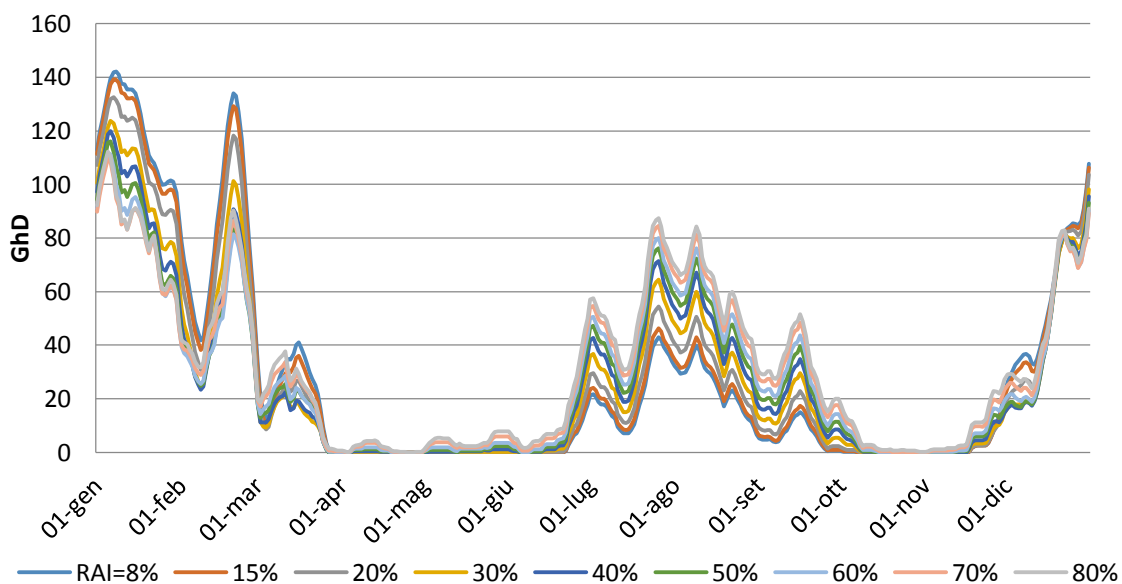


Grafico 40 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.OX, Roma.

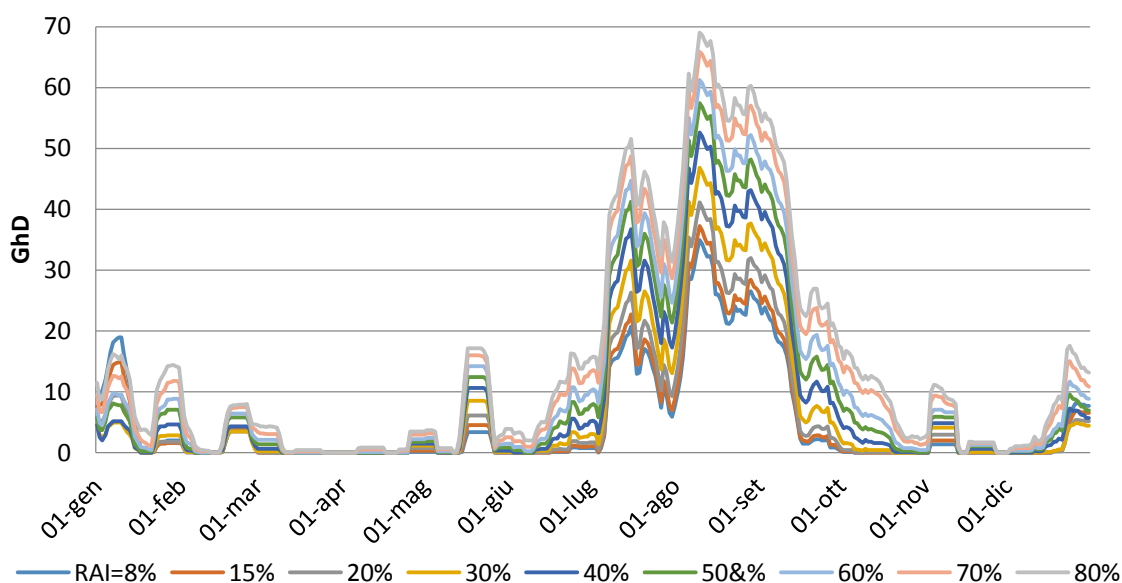


Grafico 41 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.0X, Palermo.

Località caratterizzate da condizioni esterne piuttosto rigide, con grandi scostamenti dal set point di comfort durante l'inverno, beneficiano maggiormente di una più ampia porzione vetrata nei periodi ancora freddi ma con buona disponibilità di radiazione solare, come la fine dell'inverno e l'inizio della primavera. I periodi estivi, in cui il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni è piuttosto scarso, una percentuale più alta di aperture non modifica sensibilmente tale pericolo. Agli antipodi, per località più miti, con una maggior sensibilità ad eccessivo aumento della temperatura interna durante i mesi estivi, la variazione della superficie trasparente incide notevolmente sul benessere degli occupanti degli ambienti interni; ad un aumento dell'area vetrata corrisponde, in periodo di riscaldamento, una scarsa variazione degli indici di benessere, ma occorre notare che già nella configurazione base il discomfort invernale è assai scarso, il che ne consente limitati margini di miglioramento. L'analisi del caso romano si pone, come atteso, a metà strada: le simulazioni energetiche rivelano, infatti, una media sensibilità degli indici di benessere sia in regime di riscaldamento sia di raffrescamento.

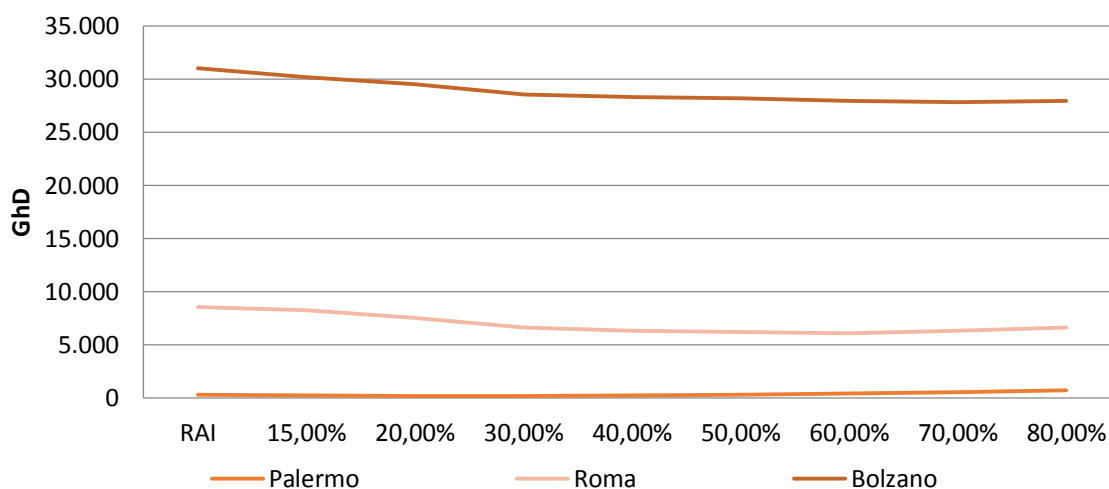


Grafico 42 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache.

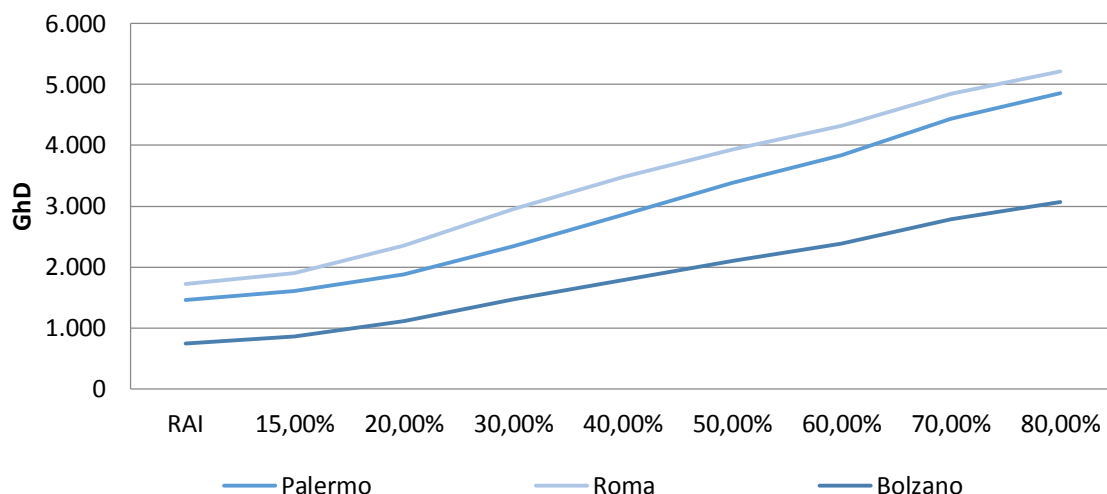


Grafico 43 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache.

In tutti i casi esaminati, l'aumento della percentuale di apertura dell'involucro favorisce il comfort invernale, poiché consente di massimizzare i guadagni solari; il caso palermitano presenta una leggera risalita dei valori di GhD totali su periodo di riscaldamento in corrispondenza di importanti percentuali di apertura: ciò è da interpretarsi come possibilità di surriscaldamento nei periodi di transizione, non come discomfort per eccessivo freddo durante i mesi più rigidi; in regime estivo, in assenza di sistemi per l'oscuramento, il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni cresce e, con esso, l'ammontare dei gradi ora di discomfort. Durante il periodo di non-riscaldamento, l'andamento dei GhD nei tre siti in esame è rappresentato da curve pressoché parallele, traslate sulla base del potenziale discomfort registrato fin dal modello di base; a Bolzano, dove la nuvolosità limita la radiazione solare

diretta, la linea di trend tende ad avere un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale più piccolo: la minor disponibilità di energia solare, infatti, diminuisce il rischio di surriscaldamento rispetto alle altre città in esame.

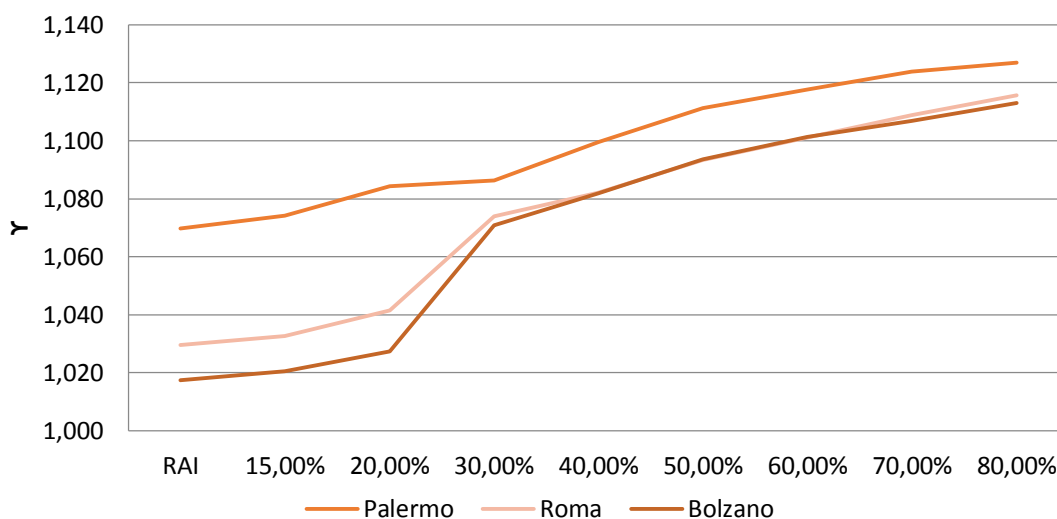


Grafico 44 -  $\gamma$  medi su periodo di riscaldamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache.

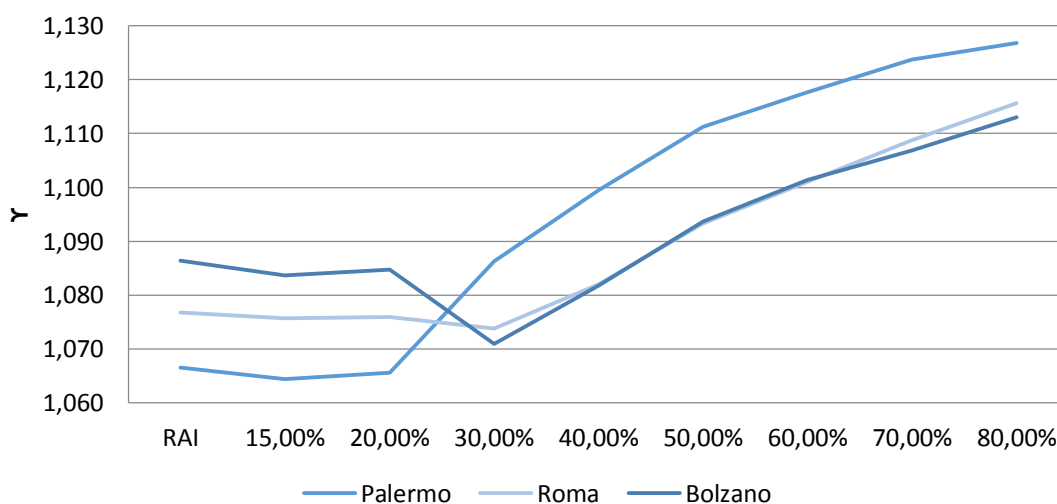


Grafico 45 -  $\gamma$  medi su periodo di raffreddamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache.

L'analisi dell'andamento dell'indice  $\gamma$  su base stagionale conferma quanto evinto dalle osservazioni precedenti; il rapporto tra guadagni e disperdimenti in regime invernale cresce all'aumentare del rapporto di apertura dell'involucro; tale rapporto, tuttavia, comporta grandi guadagni solari indesiderati in periodo di raffreddamento, per cui si consiglia di optare per soluzioni intermedie.

L'osservazione dei dati appena presentati mostra che, in regime invernale, secondo quanto previsto dalle simulazioni energetiche tramite software Design Builder, aumentare la percentuale di apertura fino alla soglia del 30% porta ad un miglioramento tangibile delle condizioni di comfort (GhD), mentre aumentare eccessivamente tale percentuale non muta sostanzialmente le condizioni di benessere interno; d'altro canto, in regime estivo, la percentuale di apertura del 30% rappresenta proprio il punto di minimo per il rapporto apporti gratuiti/disperdimenti, ossia la miglior configurazione auspicabile.

#### 5.6.4. Variante S.OX – Presenza di serra e tipologia di vetro della serra

La presenza di uno spazio vetrato non riscaldato tipo serra ha lo scopo di creare una zona cuscinetto a temperatura superiore rispetto a quella esterna, al fine di diminuire le dispersioni dell'edificio verso l'esterno; per questa ragione, non vi è ragione di valutare gli effetti che l'inserimento di tale elemento ha sul comportamento e sul comfort interno dell'edificio in regime estivo. Si prevede che gli elementi vetrati siano apribili, così da permettere il funzionamento in configurazione "serra chiusa" durante i periodi più freddi e la configurazione di loggia in periodo estivo, grazie all'apertura degli infissi.

Si riporta la sintesi delle caratteristiche che contraddistinguono ogni variante di modello con la relativa nomenclatura per permettere una corretta consultazione dei risultati.

Denominazione	Posizione della serra	Tipo di vetro
Base	Loggia – sud est	Nessuno
S.01	Sud Est	Dp Clear
S.02	Sud Est	Dp LowE
S.03	Sud Est	Tp Clear
S.04	Sud Est	Tp LowE
S.05	Sud Ovest	Dp Clear
S.06	Sud Ovest	Dp LowE
S.07	Sud Ovest	Tp Clear
S.08	Sud Ovest	Tp LowE

Tabella 30 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello S.0X

Si rimanda ai paragrafi precedenti per la caratterizzazione dei vetri impiegati.

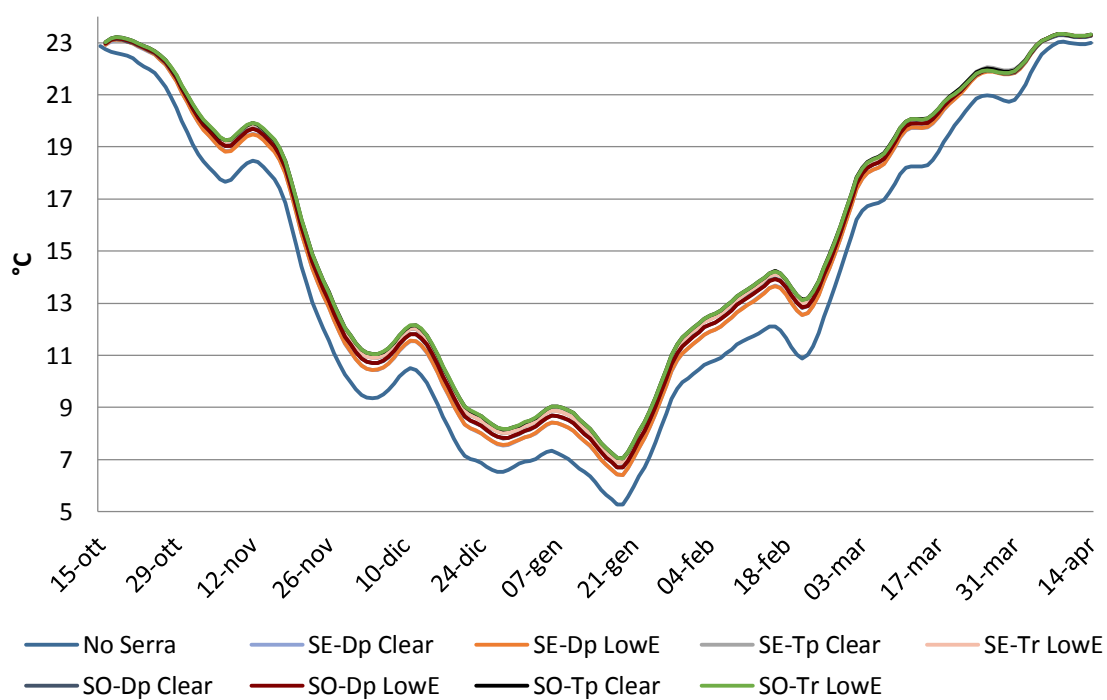


Grafico 46 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.0X, Bolzano.

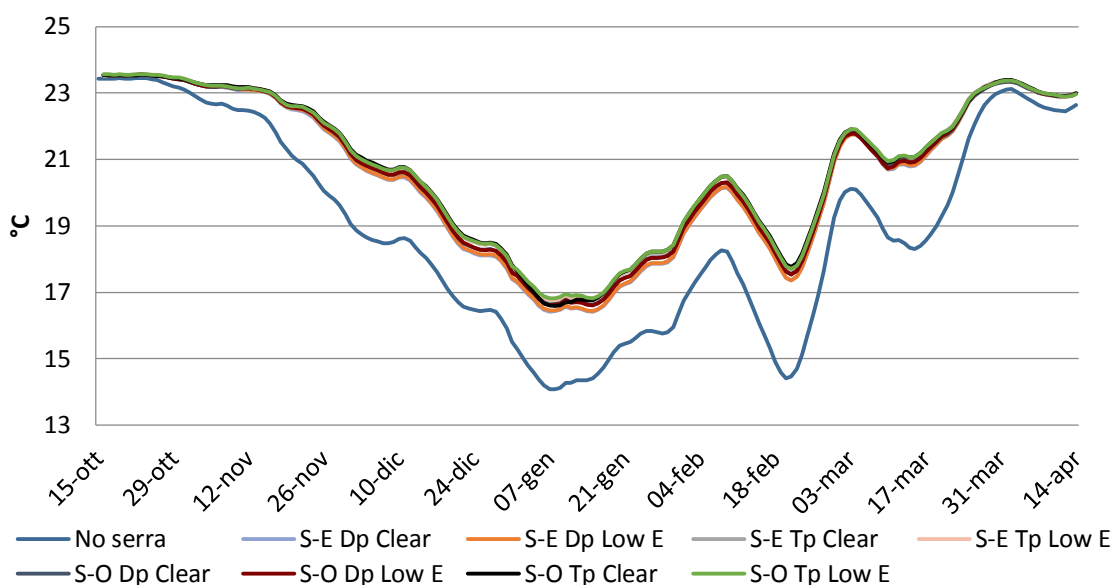


Grafico 47 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.OX, Roma.

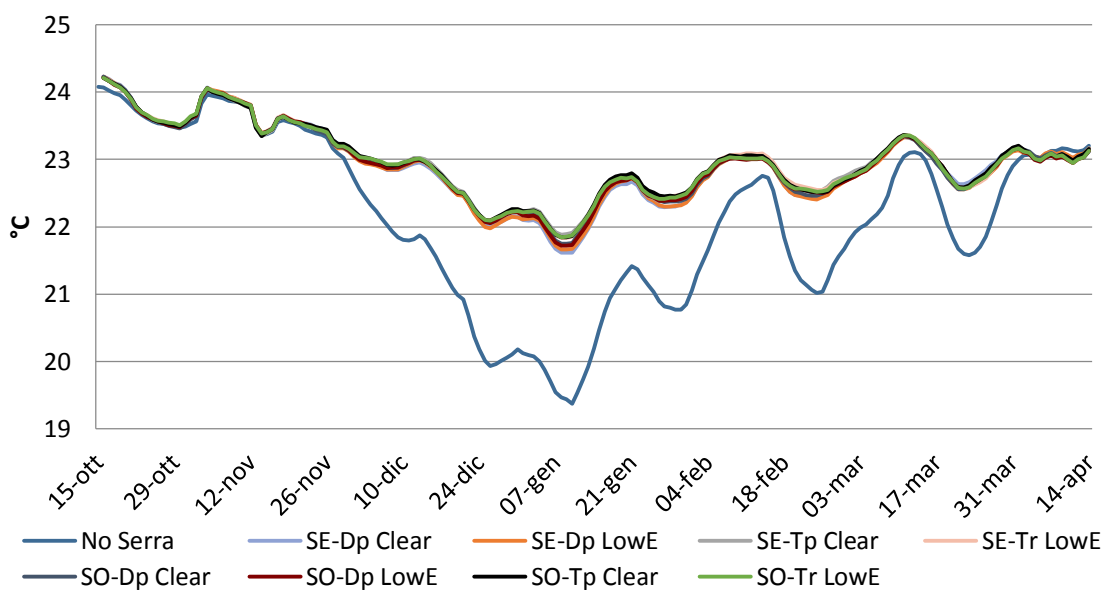


Grafico 48 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.OX, Palermo.

L'inserimento dell'elemento serra, come si evince dai grafici relativi alle temperature medie operanti, porta ad un generale miglioramento delle condizioni di comfort; si riscontra, infatti, un aumento di circa 2°C della temperatura operante interna. In siti particolarmente freddi, come Bolzano, ciò è da considerarsi un beneficio lungo tutto l'arco dell'inverno, poiché avvicina i valori alla soglia di benessere; a Palermo, invece, tale incremento di temperatura media pone le basi per un ricorso ancora più esiguo all'impianti di riscaldamento, poiché anche nei periodi più freddi le temperature operative medie ottenute dalle simulazioni energetiche



ricadono entro i limiti di benessere. Si noti che la tipologia di vetro impiegata per la realizzazione della serra sembra aver ben poca influenza sugli effetti che essa genera globalmente, a livello di edificio.

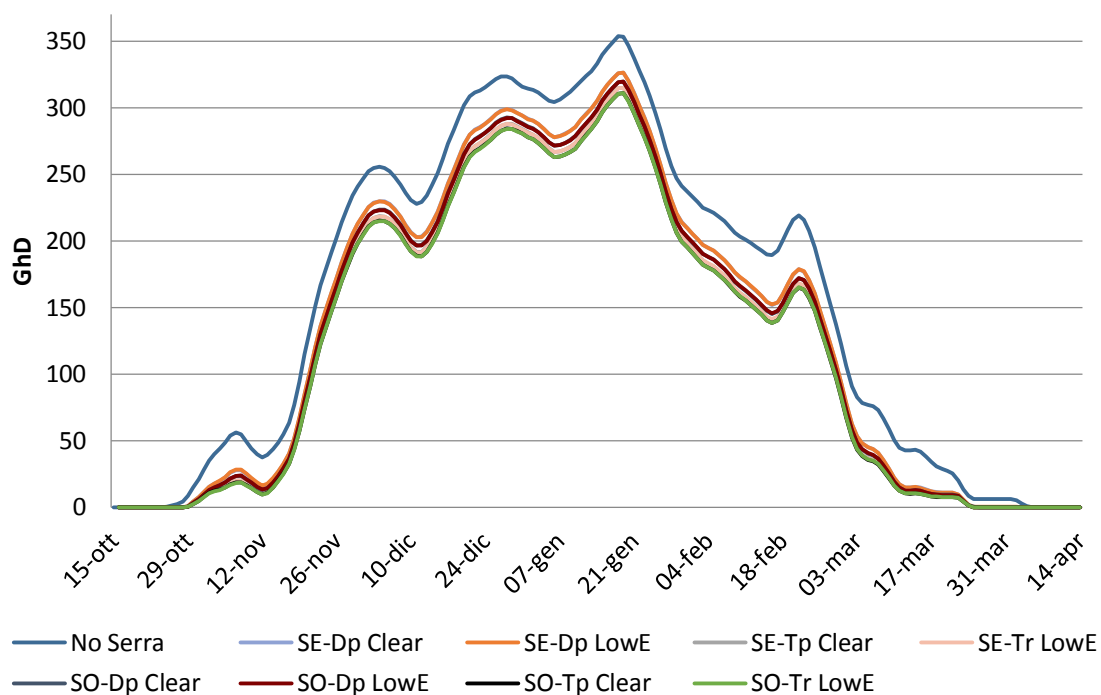


Grafico 49 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.OX, Bolzano.

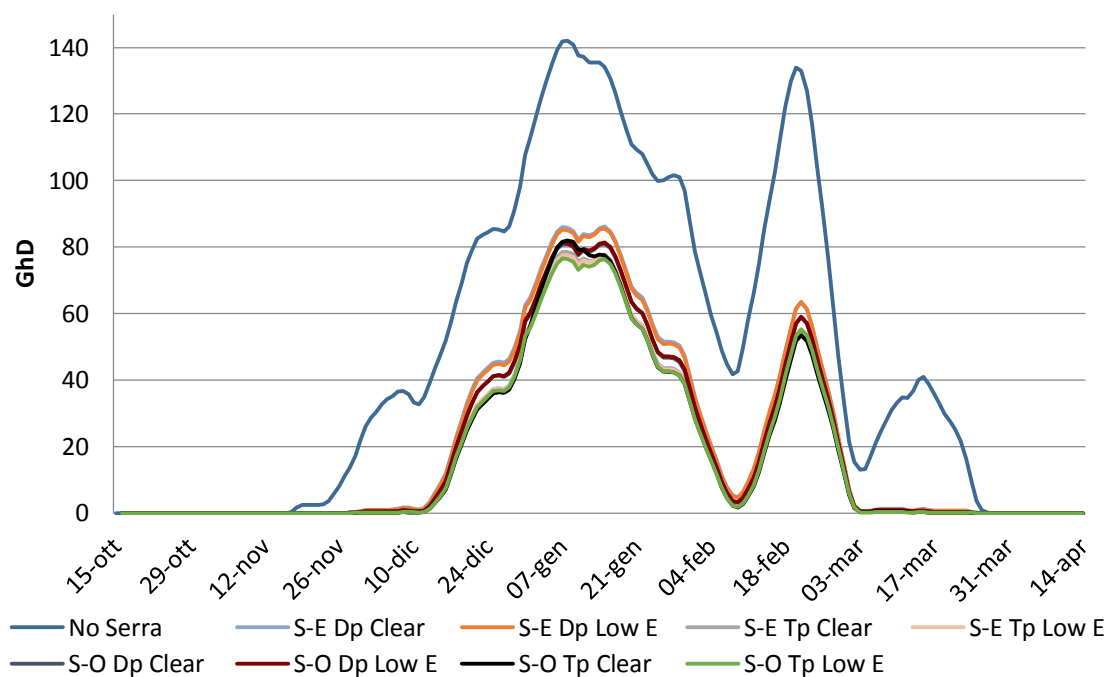


Grafico 50 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.OX, Roma.

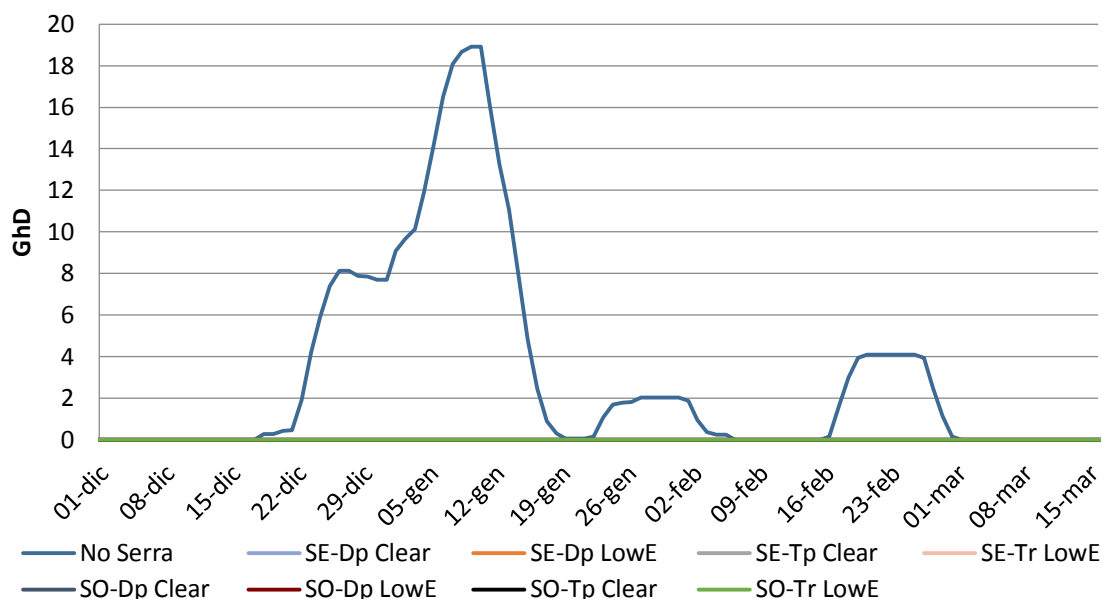


Grafico 51 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.0X, Palermo.

Le considerazioni fatte a proposito della temperatura operante vengono confermate dagli andamenti dei gradi ora di discomfort. Per le località di Bolzano e Roma si assiste, infatti, ad una diminuzione dei valori giornalieri di GhD, con ampliamento dei periodi in cui tale indice risulta esser nullo: ciò significa che il solo involucro edilizio è in grado di garantire benessere interno per una più ampia frazione di anno. Nel caso palermitano, tale tendenza è portata all'estremo: si assiste, infatti, ad un quasi totale annullamento dei GhD lungo tutto il periodo invernale, indicando quindi che la configurazione di edificio con serra riesce a massimizzare il comfort interno lungo tutto l'arco del periodo di riscaldamento.

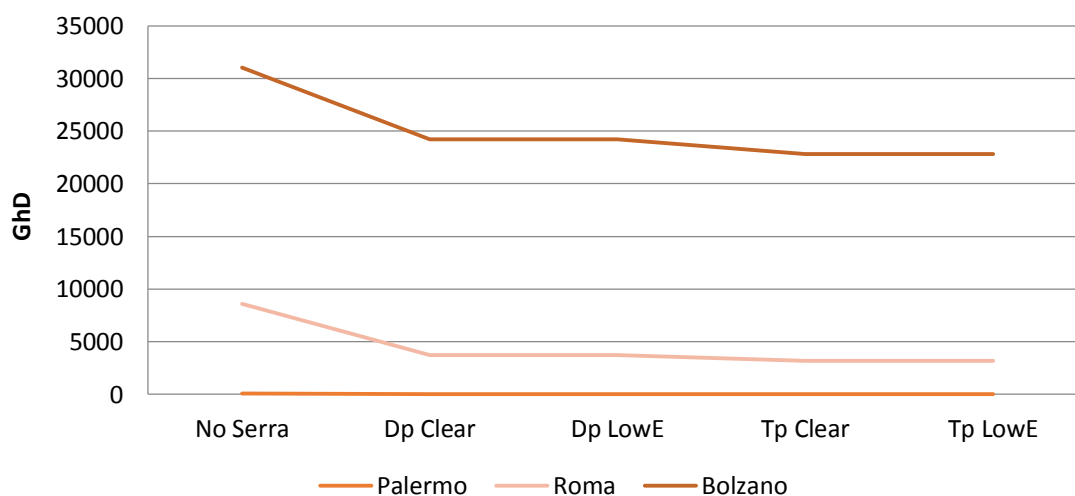


Grafico 52 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est.

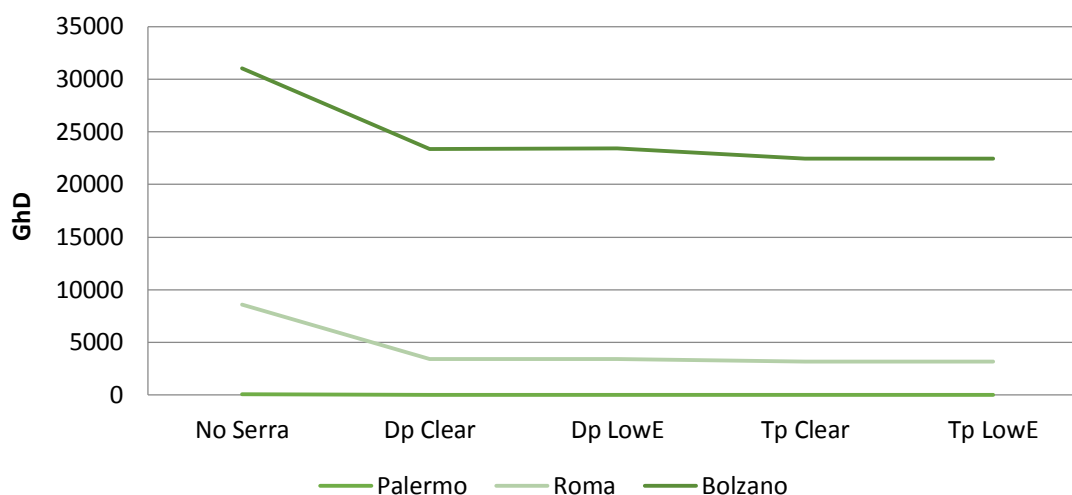


Grafico 53 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest.

La correlazione a livello stagionale tra variante di modello e indice GhD mostra ancora più chiaramente che la tipologia di vetro impiegata ha scarsissima influenza sulle prestazioni dell'elemento serra; la vera differenza si ha tra il caso senza spazio cuscinetto (no serra) e la configurazione di modello con serra. Si noti anche che le prestazioni non sono affette in maniera sensibile dalla posizione della superficie vetrata: la serra a sud est e a sud ovest portano a pari miglioramento.

#### 5.6.5. Variante OS.OX – Presenza di sistemi di oscuramento

La configurazione di base del modello architettonico ed energetico non prevede alcun sistema per l'oscuramento per la regolazione degli ingressi di radiazione solare; ciò non è considerabile come ammissibile in ottica di massimizzazione del comfort, in quanto un efficace sistema di ombreggiamento è in grado di limitare in maniera consistente il discomfort estivo causato da surriscaldamento degli ambienti interni.

Per caratterizzare i sistemi di schermatura presi in esame è stato impiegato l'indice frazione solare  $f_s$ , calcolato come rapporto tra la radiazione solare entrante nell'edificio in presenza dell' $i$ -esimo sistema di oscuramento e la radiazione entrante in assenza oscuramenti.

$$f_s = \frac{\text{Apporti solari}_i}{\text{Apporti solari}_{base}}$$

L'indice  $f_s$ , per come definito, ammette valori compresi in uno specifico intervallo, ossia  $0 \leq f_s \leq 1$ , in cui 1 rappresenta la configurazione priva di oscuramenti e 0 l'ipotetico caso di schermatura che non consente alcun ingresso di radiazione solare all'interno dell'edificio. L'indice  $f_s$  è stato

calcolato su base stagionale ed è caratteristico per ogni località, anche se presenta congrue affinità di valori tra i siti in esame.

Denominazione	Tipologia di oscuramento	Bolzano, Inverno $f_s$	Bolzano, Estate $f_s$	Roma, Inverno $f_s$	Roma, Estate $f_s$	Palermo, Inverno $f_s$	Palermo, Estate $f_s$
Base	No oscuramenti	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
OS.01	Aggetti su tre lati, l=60 cm	0,4686	0,4706	0,5212	0,5278	0,5178	0,5284
OS.02	Frangisole, lamelle orizzontali	0,7947	0,8013	0,8792	0,8833	0,8740	0,8781
OS.03	Avvolgibile esterno	0,0512	0,0527	0,0583	0,0597	0,0804	0,0831

Tabella 31 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello OS.0X

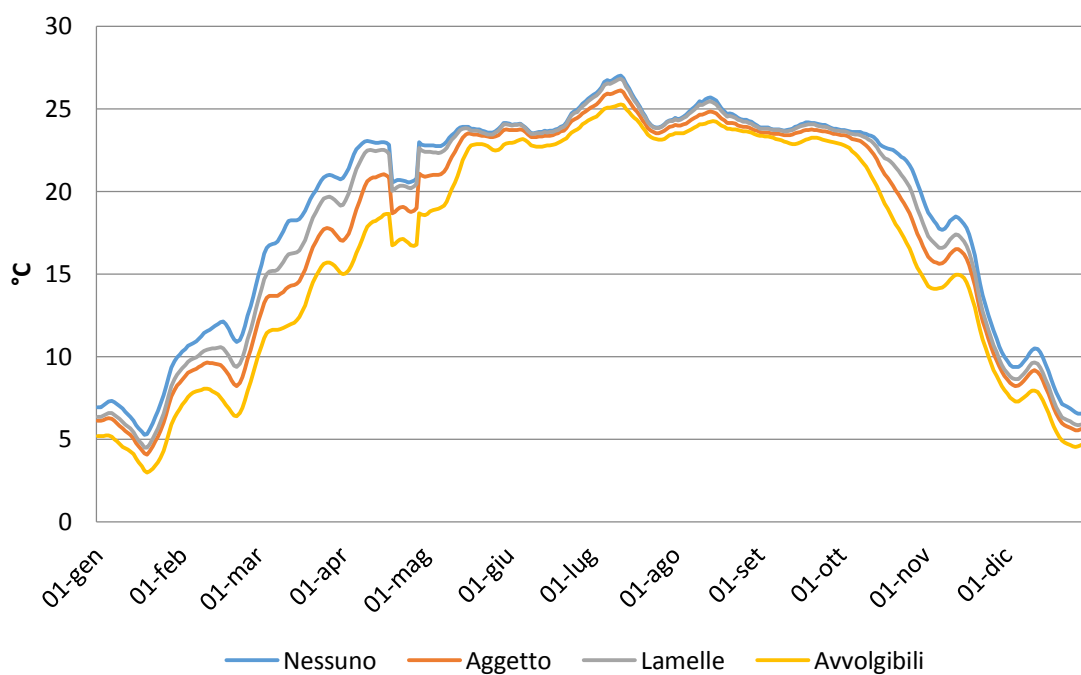


Grafico 54 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.0X, Bolzano.

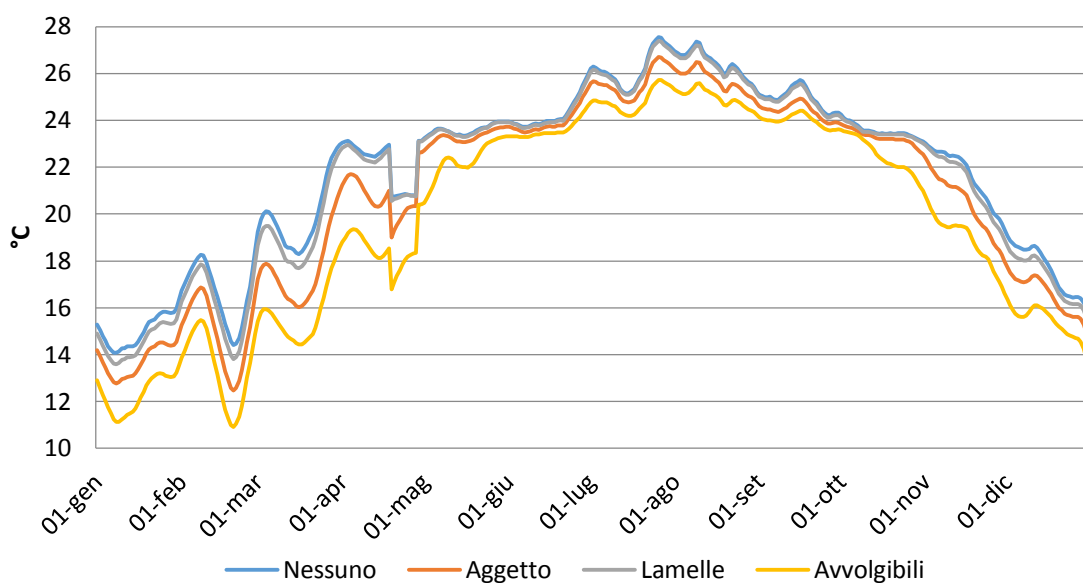


Grafico 55 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.0X, Roma.

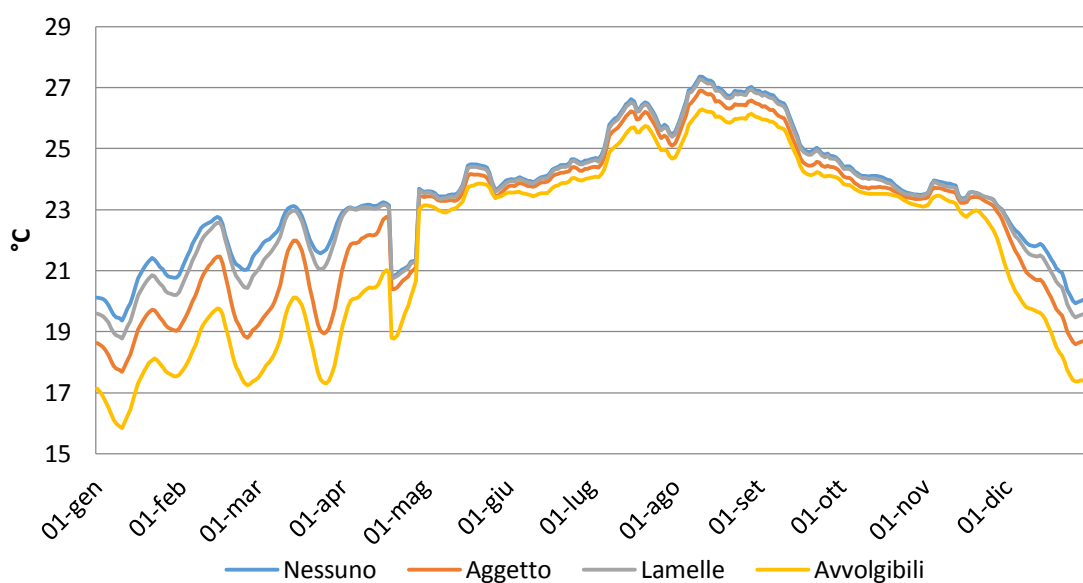


Grafico 56 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.0X, Palermo.

La presenza di sistemi di oscuramenti determina, in linea generale, un abbassamento della temperatura media operante lungo tutto il corso dell'anno; tale decremento risulta esser più evidente per il periodo invernale, durante il quale gli apporti solari determinano in maniera preponderante l'andamento della temperatura interna dell'edificio; il periodo estivo, durante il quale la ventilazione naturale e la conseguente miscelazione di masse d'aria a temperatura diversa concorrono alla determinazione della temperatura interna, presenta una minor sensibilità alla presenza di sistemi oscuranti. Tuttavia, l'impiego di oscuramenti durante

l'inverno è da sconsigliarsi, poiché ha come effetto diretto quello di allontanare le condizioni dell'ambiente interno dal set point di benessere: il periodo invernale è, infatti, già caratterizzato da temperature piuttosto basse, che non hanno bisogno di esser ulteriormente decrementate.

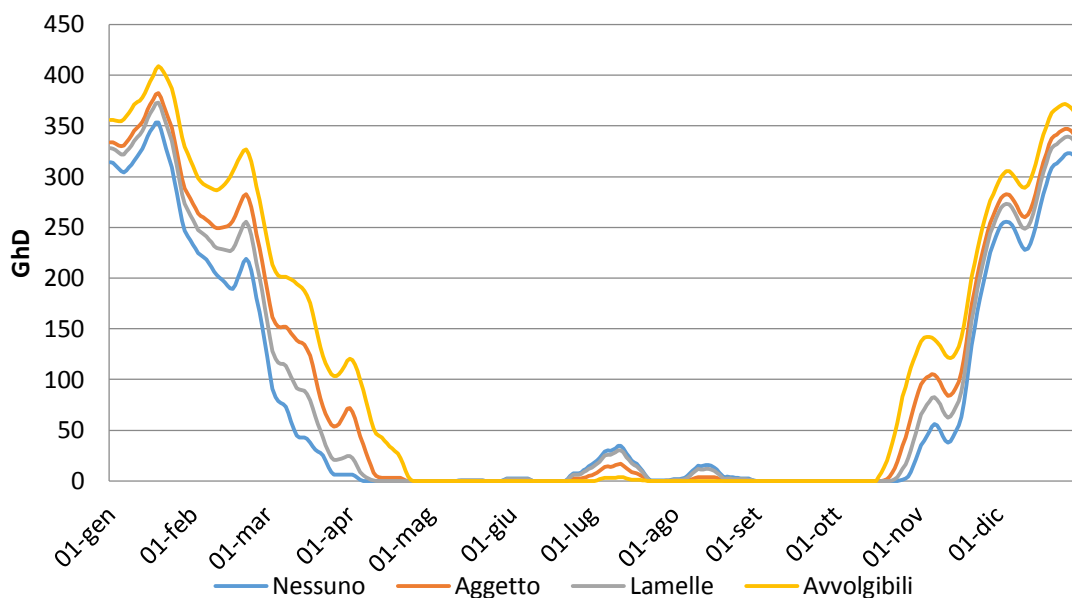


Grafico 57 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.OX, Bolzano.

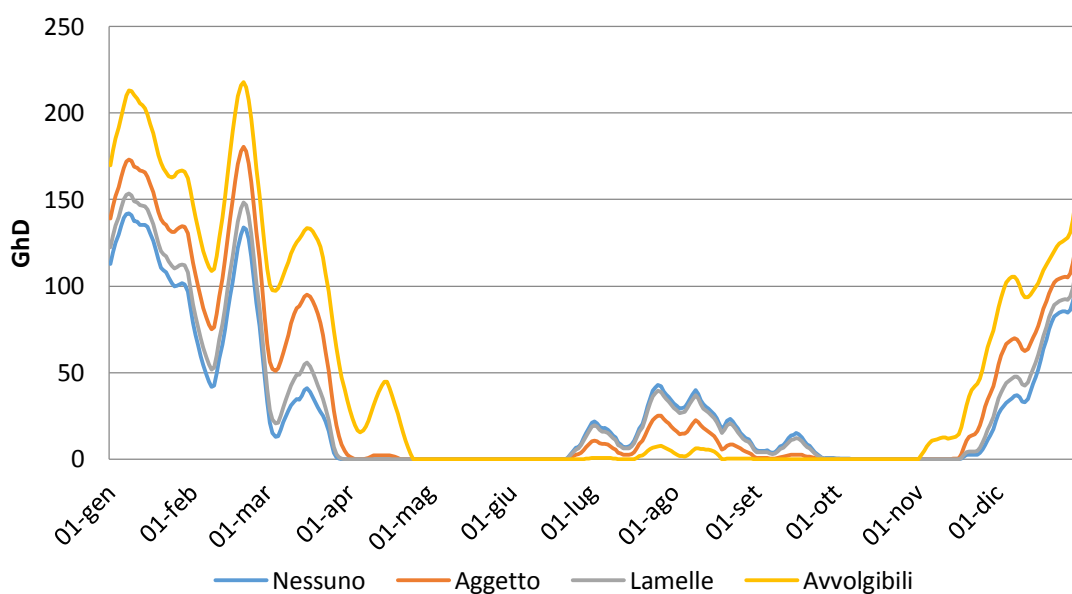


Grafico 58 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.OX, Roma.

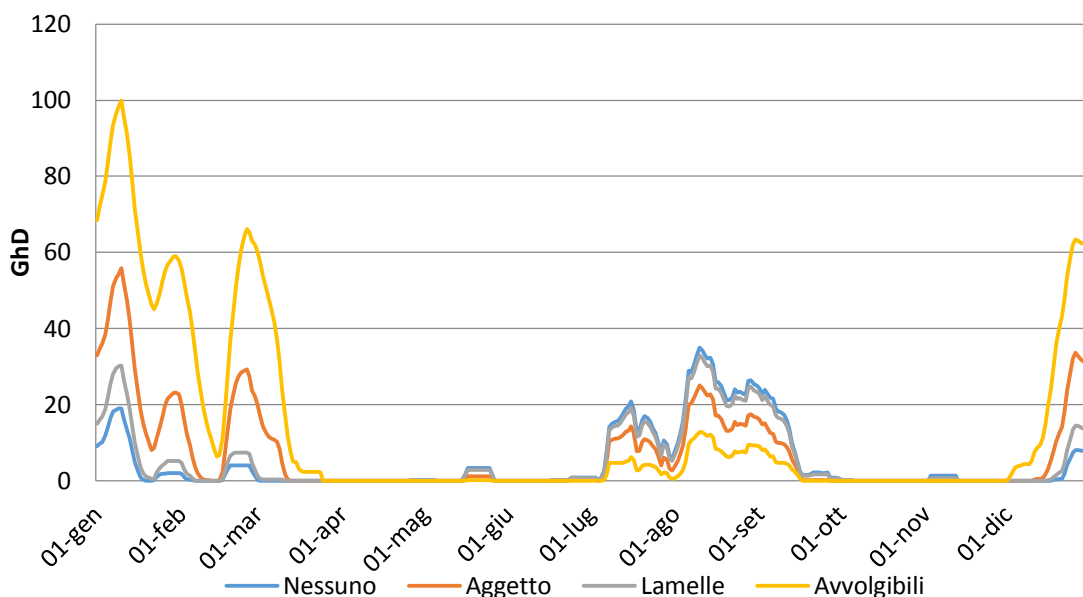


Grafico 59 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.0X, Palermo.

L'andamento dell'indice GhD conferma quanto già anticipato precedentemente: l'impiego di sistemi schermanti risulta esser vantaggioso durante la stagione calda, poiché riduce i valori di GhD medi giornalieri: maggiore è la capacità schermante dell'elemento impiegato (cioè minore è il suo  $f_s$ ), più grande è il miglioramento in termini di comfort che si riesce a raggiungere. Per il periodo invernale si osserva un aumento di GhD, poiché l'abbassamento della temperatura operante crea maggior discomfort per eccessivo freddo.

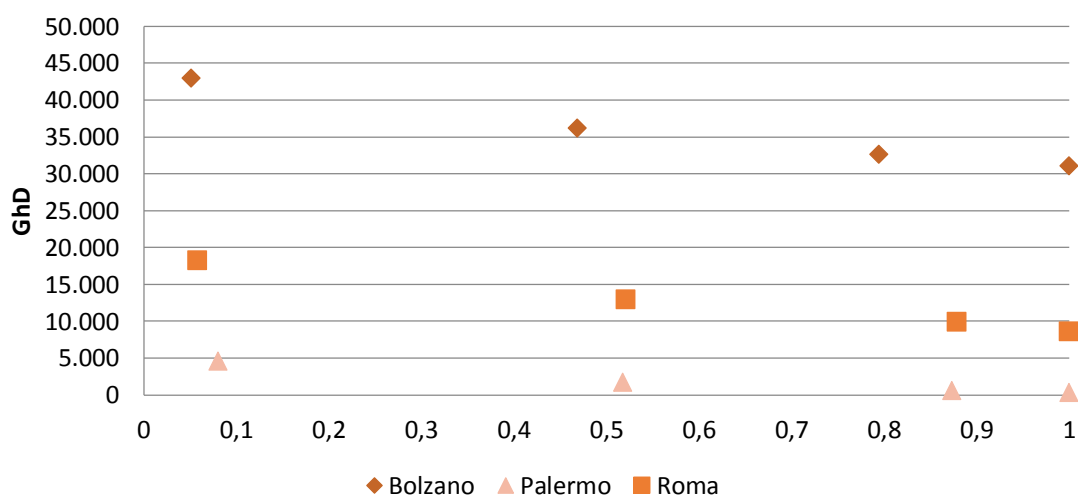


Grafico 60 – GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati.

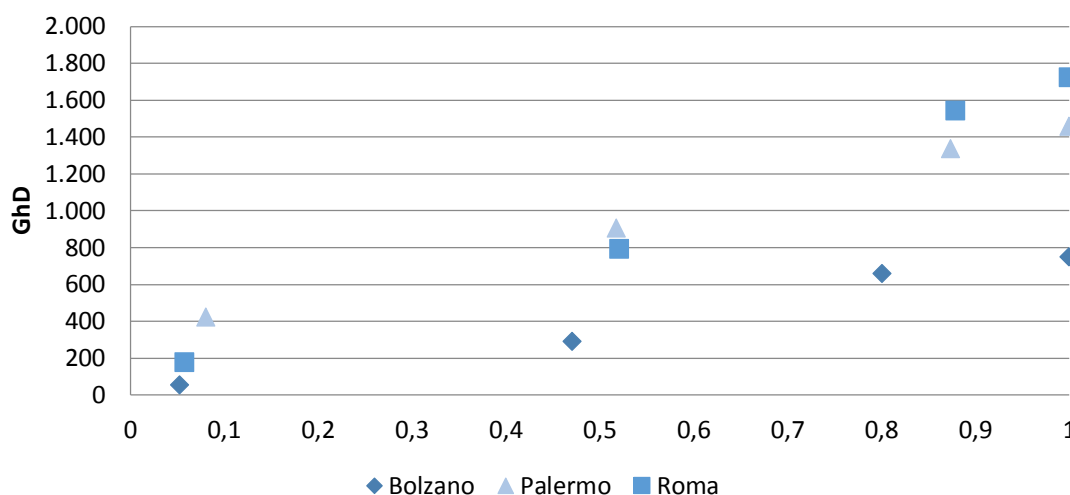


Grafico 61 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati.

Analizzando le correlazioni esistenti tra le prestazioni dei sistemi schermanti, identificate con i valori di  $f_s$ , ed i valori stagionali di GhD in regime estivo si vede che, in un clima piuttosto freddo come quello di Bolzano, l'impiego di oscuranti con alto potere schermante porta all'annullamento del valore cumulato di GhD su periodo estivo: per come tale indice è calcolato, non prende in considerazione il rischio di discomfort per eccessivo freddo durante l'estate, tuttavia l'osservazione delle temperature operanti porta a pensare che, nel caso specifico, GhD nulli in realtà corrispondano a situazioni sfavorevoli in ambiente; si raccomanda, di conseguenza, l'impiego di sistemi schermanti di media capacità oscurante per i climi più freddi, al fine di scongiurare il rischio di eccessivo freddo anche durante i periodi di transizione. L'aumento di GhD in regime invernale al crescere del grado di oscuramento che la schermatura garantisce conferma la necessità di impiegare sistemi mobili, tali da poter essere utilizzati solo quando necessario, garantendo la massima quota di apporti solari possibili durante i mesi più freddi.

#### 5.6.6. Variante TV.0X – Tipologia di vetri

La variante di modello in esame prevede la sostituzione degli elementi vetrati del modello base con alternative più performanti; non si intende invece modificare la tipologia di telaio impiegata, l'area delle superfici trasparenti o cambiarne l'orientamento.

La ricerca di correlazioni tra le caratteristiche della variante di modello e indici di comfort viene condotta prendendo in considerazione sia la trasmittanza del vetro  $U_g$  sia il suo fattore solare



g. Si riporta la sintesi delle features che caratterizzano ogni variante; si rimanda ai paragrafi precedenti per una più esaustiva caratterizzazione degli elementi vetrati impiegati.

Denominazione	Vetro impiegato	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	g
Base	Dp Clear	2,586	0,753
TV.01	Dp Low E	1,469	0,609
TV.02	Tp Clear	1,603	0,674
TV.03	Tp Low E	1,014	0,547

Tabella 32 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello TV.0X

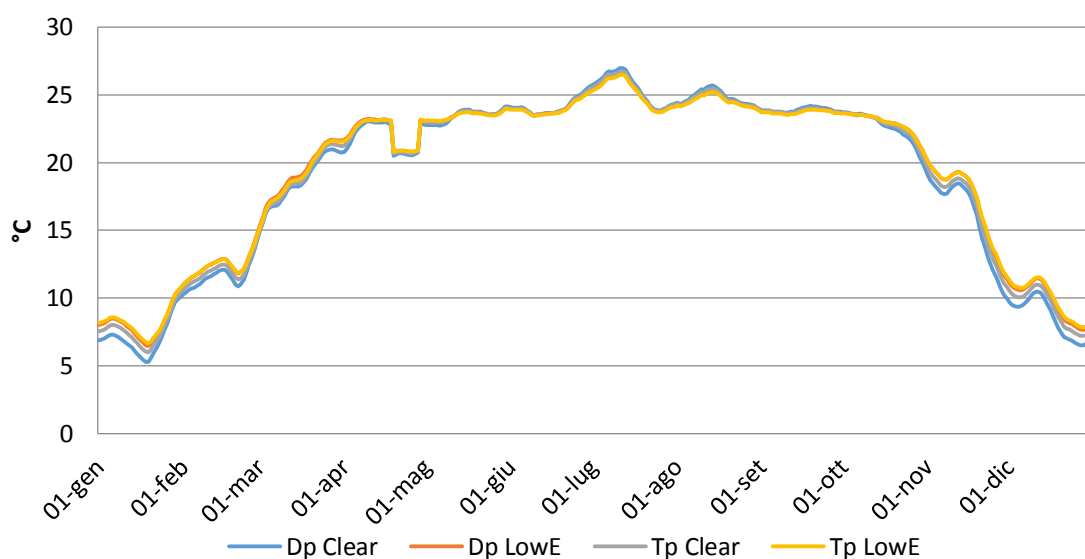


Grafico 62 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.0X, Bolzano.

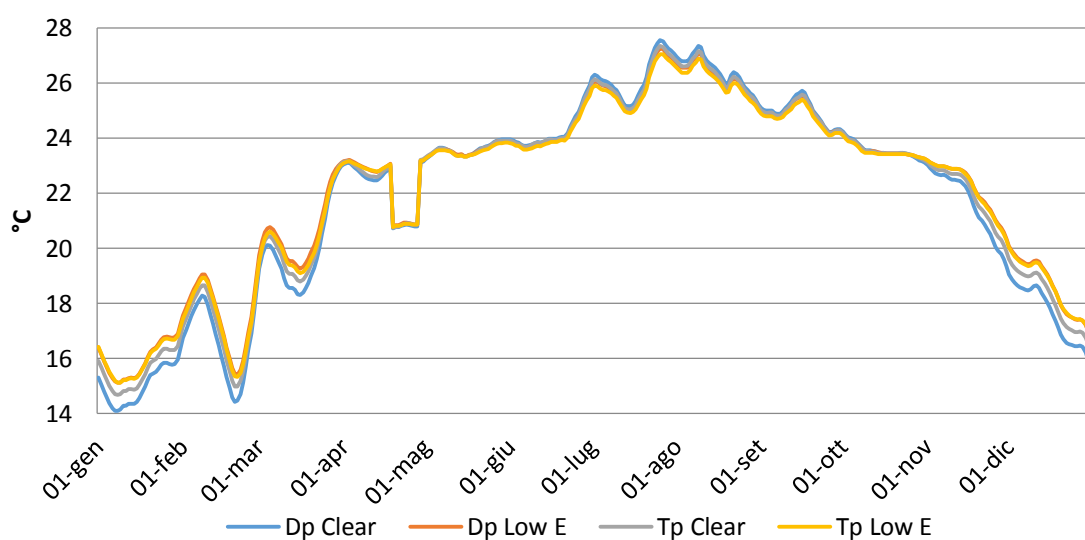


Grafico 63 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.0X, Roma.

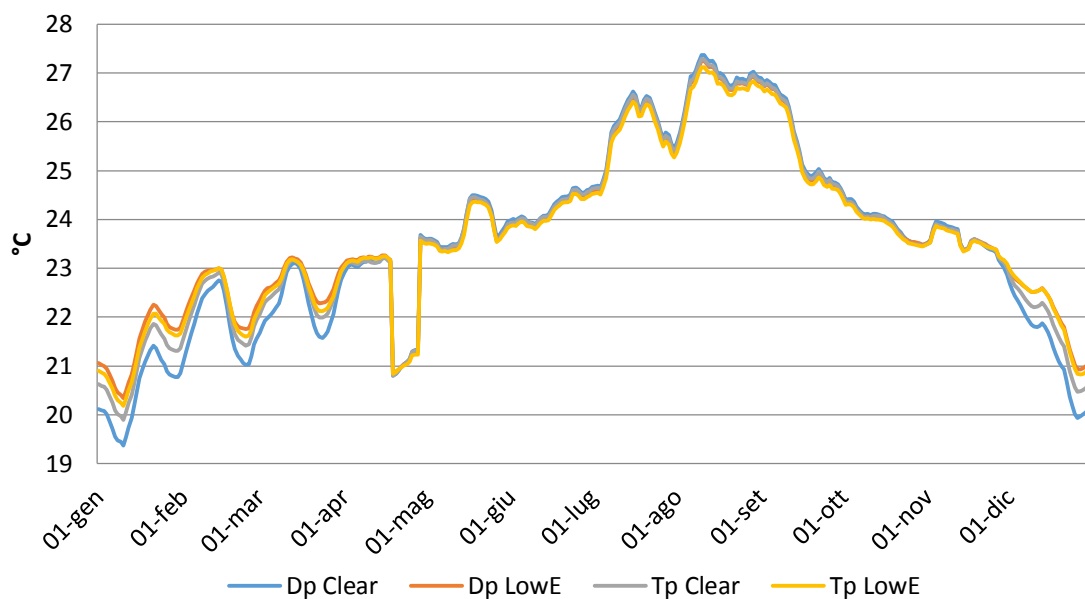


Grafico 64 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.0X, Palermo.

Le analisi in regime dinamico mostrano che l'impiego di componenti vetrate dalle prestazioni più elevate migliora le condizioni di comfort invernale, in quanto porta ad un aumento della temperatura interna, da imputarsi al decremento di dispersioni attraverso tali superfici. Si noti che l'incremento di temperatura interna dovuto all'impiego di elementi trasparenti con  $U_g$  inferiore risulta esser significativamente maggiore in presenza di climi più rigidi: a Bolzano, ad esempio, limitare le dispersioni attraverso i componenti trasparenti risulta esser di vitale importanza, molto più che a Palermo, e porta a guadagni in termini di comfort molto più consistenti. Durante la stagione estiva, il contributo della tipologia di vetro impiegato risulta esser più esiguo: l'apertura delle finestre e la ventilazione naturale diminuiscono notevolmente gli effetti che le differenti prestazioni degli elementi hanno.

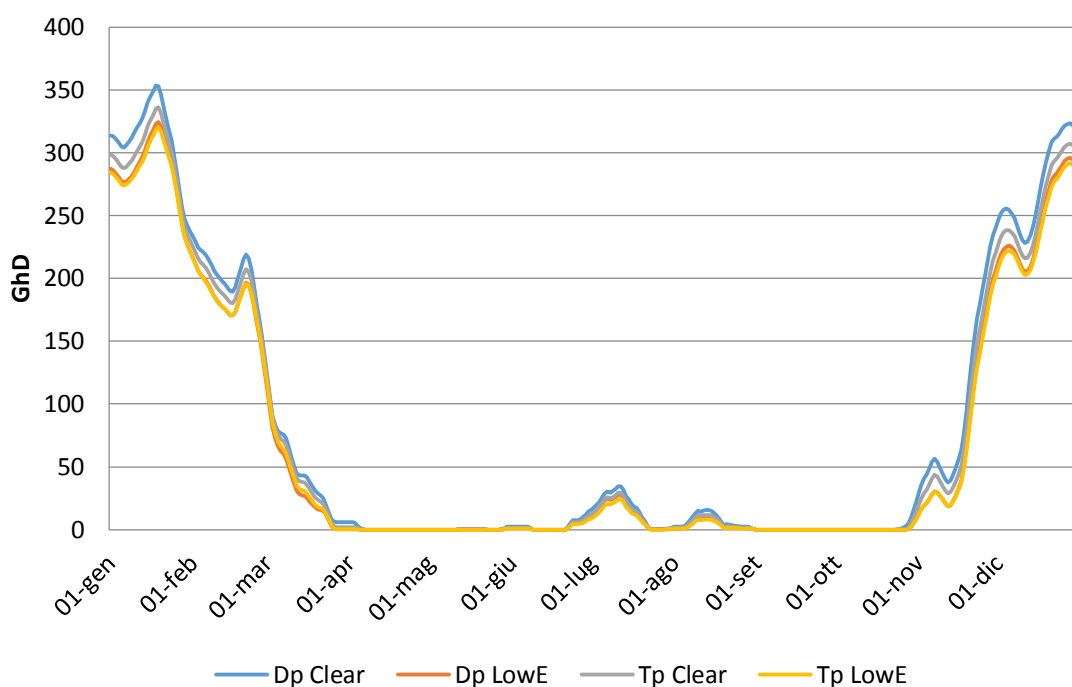


Grafico 65 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Bolzano.

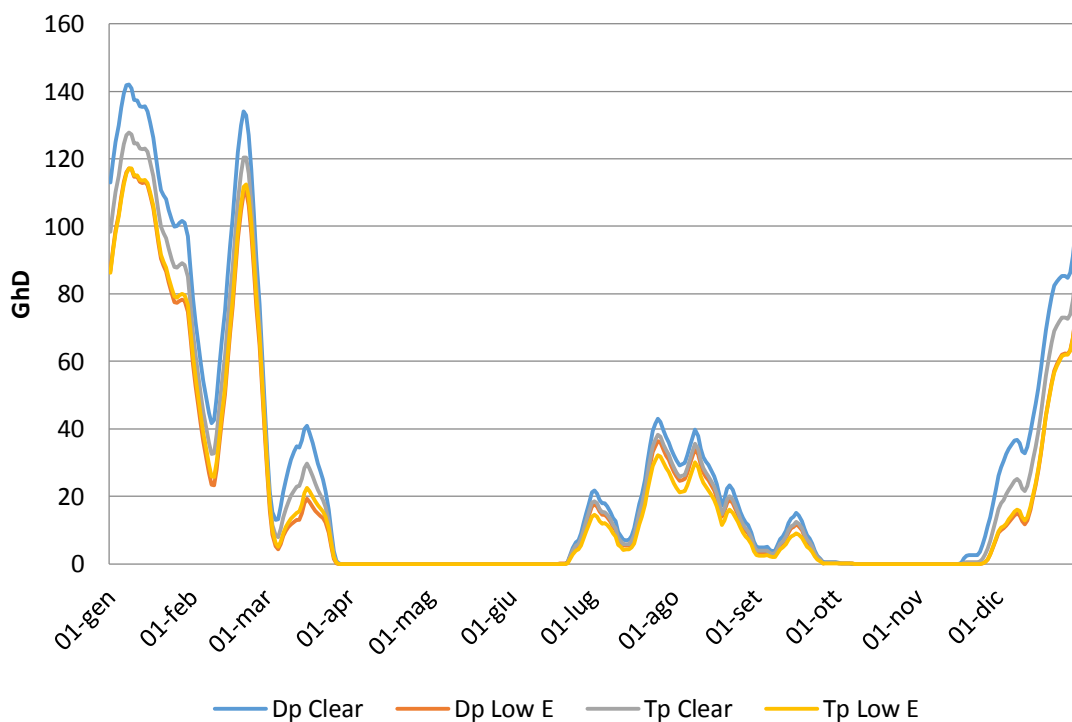


Grafico 66 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Roma.

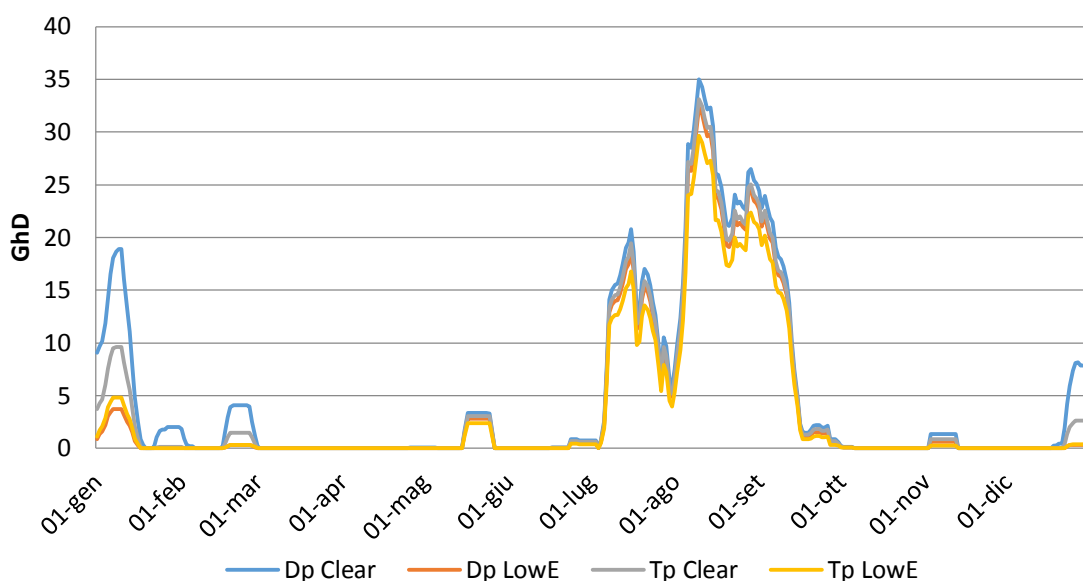


Grafico 67 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Palermo.

L'osservazione dell'indice GhD sottolinea come, al crescere di  $U_g$ , aumenti il comfort interno: si registrano infatti i valori più bassi di gradi ora di discomfort per la variante di modello con triplo vetro basso emissivo; non si nota, tuttavia, un comportamento molto dissimile in caso di impiego di doppio vetro basso emissivo, anzi le curve risultano esser sovrapposte per la maggior parte dell'arco dell'anno; se ne deduce che, secondo un criterio di benefici/costi<sup>63</sup>, la scelta di un doppio vetro basso emissivo risulta esser quella vincente.

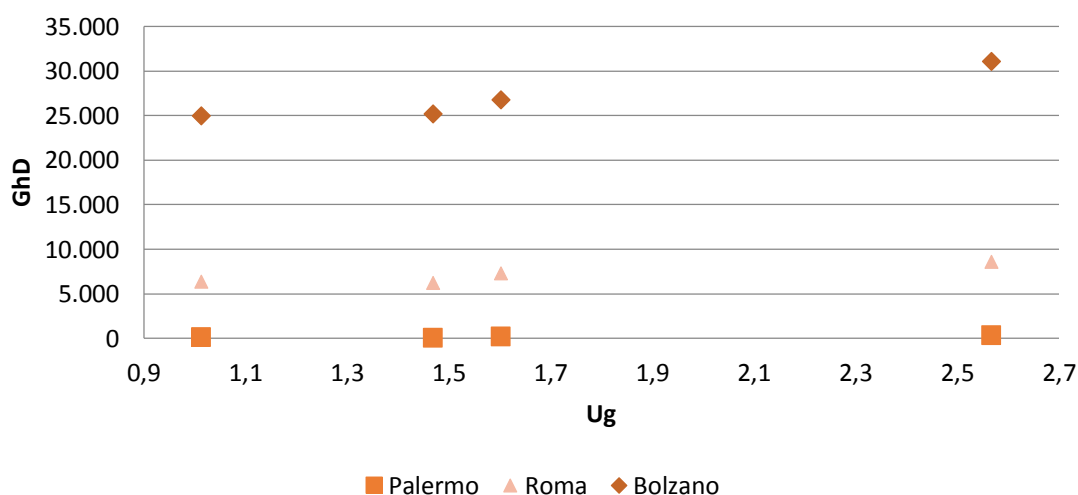


Grafico 68 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati.

<sup>63</sup> Si intende per benefici il miglioramento del comfort interno, per costi il costo iniziale di installazione

La correlazione tra l'indice di comfort invernale e la trasmittanza termica del vetro mostra una correlazione pressoché lineare tra le variabili: il miglioramento più sensibile si ha nel passaggio dalla configurazione base ( $U_g$  più alto) a configurazione TV.01 o TV.02 (rispettivamente  $U_g=1,469 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $U_g=1,603 \text{ W/m}^2\text{K}$ ); l'ulteriore abbattimento della trasmittanza termica ipotizzata nella variante TV.03 non comporta una sostanziale variazione dei valori di GhD totali calcolati su base stagionale, tali da giustificare la scelta di tale tecnologia.

La caratteristica del vetro che maggiormente interessa il comportamento estivo di una lastra di vetro non è la trasmittanza termica, bensì il suo fattore solare; per questa ragione la correlazione estiva utilizza come variabile indipendente il fattore g.

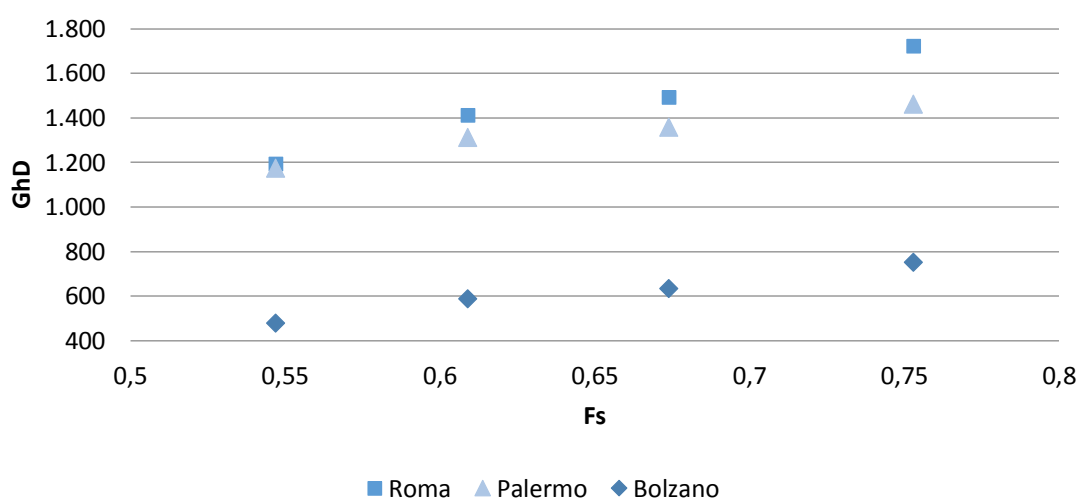


Grafico 69 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati.

Come atteso, al diminuire del fattore solare g decrescono i valori stagionali di GhD: minore è la quota di energia trasmessa all'interno dell'edificio, infatti, minore è il rischio di discomfort per surriscaldamento degli ambienti occupati.

### 5.6.7. Variante TT.OX – Tecnologia costruttiva impiegata

Per una più esaustiva caratterizzazione dei modelli con variazione delle tecnologie costruttive si invita a consultare l'apposita sezione nei precedenti paragrafi del presente capitolo; si riporta solo una sintesi delle principali caratteristiche dei modelli analizzati.

	$\bar{U}$	$\hat{Y}$	$C_m$	$\varphi$	$m$	$f$
BASE	0,260	0,0211	51,15	11,20	98,50	0,1508
TT.1	0,260	0,0169	51,15	12,16	157,17	0,1194
TT.2	0,259	0,0166	94,34	13,26	171,26	0,1170
TT.3	0,258	0,0205	51,15	11,22	99,80	0,1469
TT.4	0,258	0,0163	51,15	12,18	158,47	0,1155
TT.5	0,257	-	47,58	-	-	-
TT.6	0,259	0,0124	94,34	14,22	229,94	0,0857
TT.7	0,262	0,0137	84,22	14,20	265,75	0,0950

Tabella 33 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello TT.OX

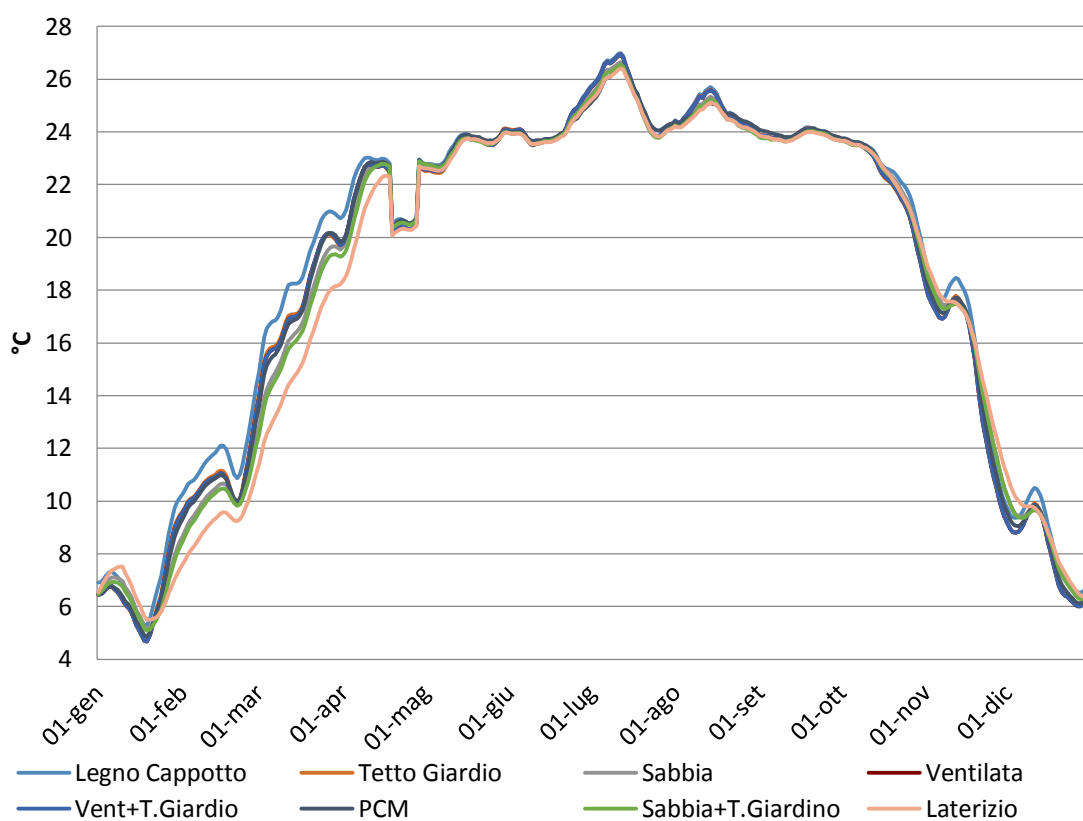


Grafico 70 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.OX, Bolzano.

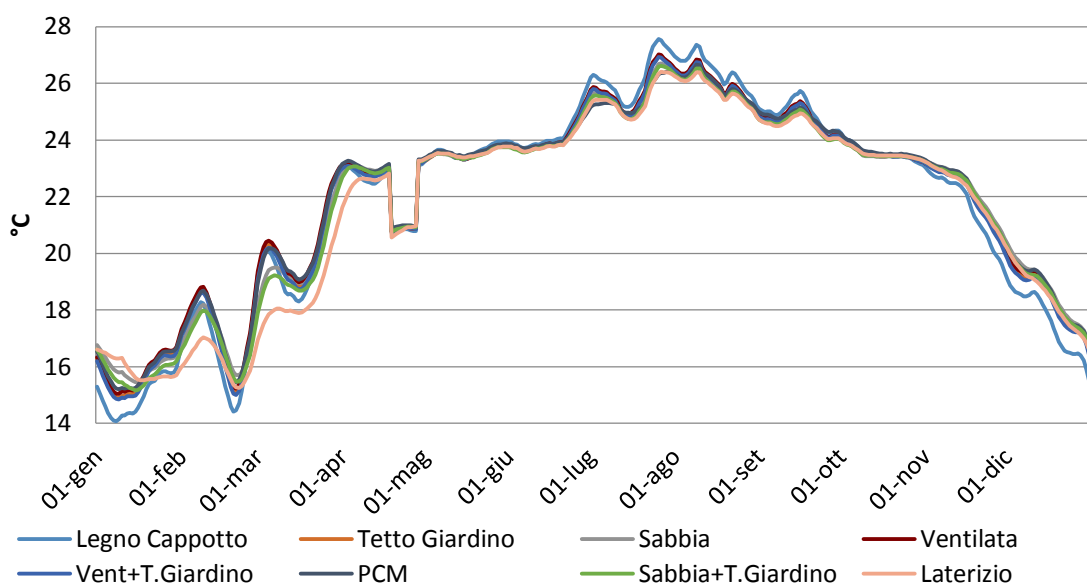


Grafico 71 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.0X, Roma.

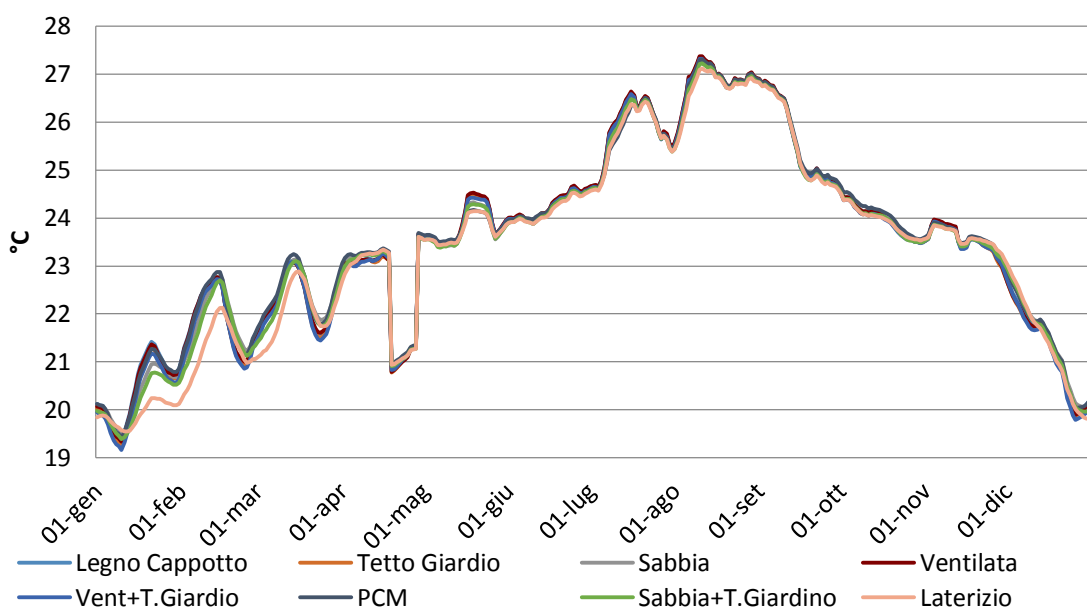


Grafico 72 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.0X, Palermo.

L'andamento delle temperature medie radianti su periodo annuale non permette di apprezzare grandi variazioni nel comportamento delle varianti di modello. La sola tecnologia che presenta un comportamento visibilmente differente, in regime invernale, è la tecnologia tradizionale (TT.07): si riscontrano, infatti, temperature inferiori ai valori che caratterizzano le tecnologie a secco. L'assenza di un impianto di riscaldamento causa un forte raffreddamento della massa delle chiusure in laterizio, che come effetto presentano una temperatura

superficiale piuttosto bassa: ciò influenza negativamente il valore della temperatura operante, in quanto portano ad un abbassamento della temperatura media radiante.

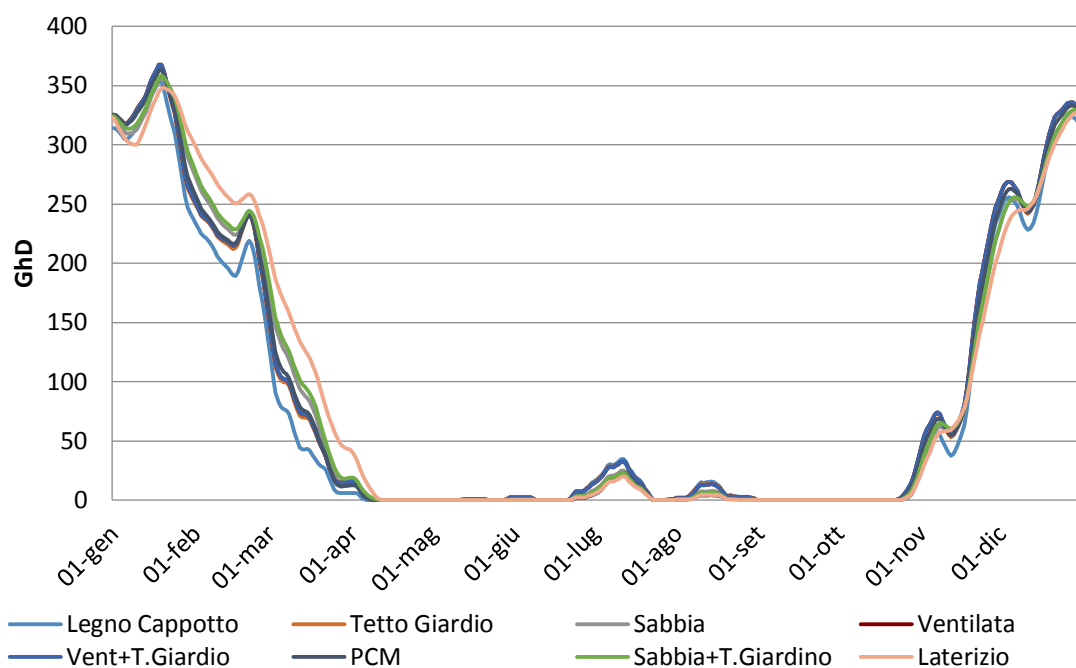


Grafico 73 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.OX, Bolzano.

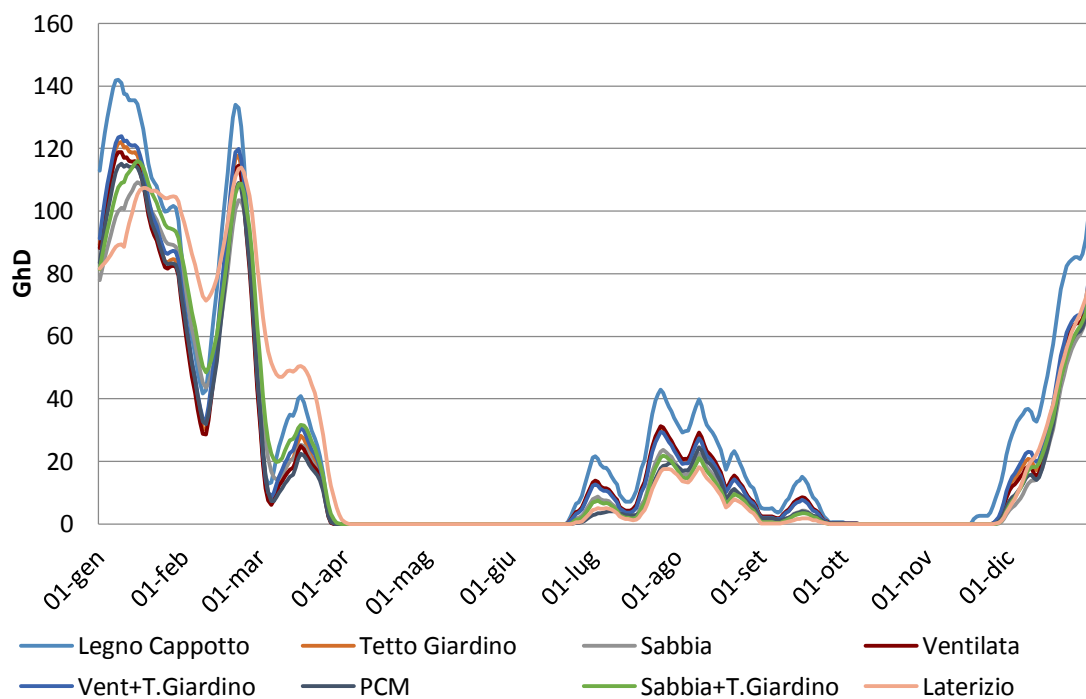


Grafico 74 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.OX, Roma.



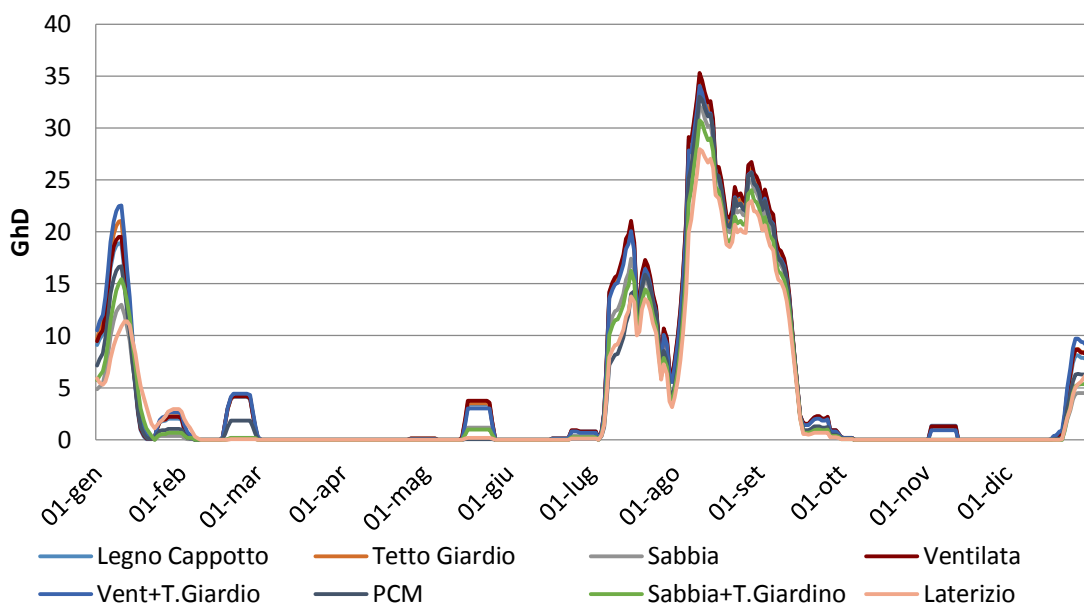


Grafico 75 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.0X, Palermo.

Il comportamento estivo dei modelli TT, valutato tramite l'indice GhD, presenta una correlazione tra caratteristiche relative alla massa e alla capacità termica dell'edificio e benessere interno; la tecnologia tradizionale, altamente capacitiva, risulta esser quella che minimizza i GhD in periodo estivo in tutti i contesti climatici considerati, abbattendo anche molto sensibilmente (vedasi Roma) i picchi estivi. Il caso di Palermo risulta esser molto istruttivo: durante i periodi di transizione la capacità di smorzamento e sfasamento dei picchi di calore, unito alla possibilità di immagazzinare energia termica da parte del laterizio, riesce ad eliminare piccoli picchi locali, creando di fatto un ambiente confortevole per lunghi periodi di tempo.

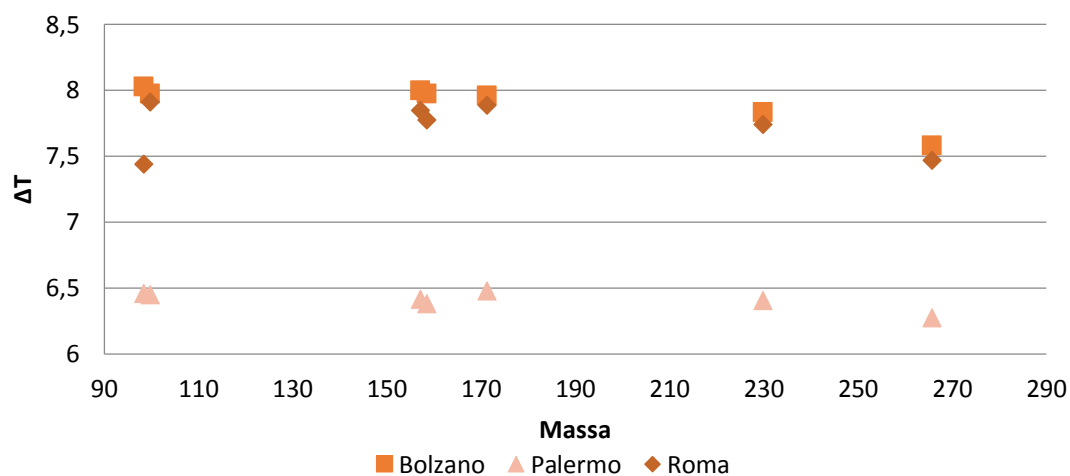


Grafico 76 – Differenza di temperatura media tra interno ed esterno su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia costruttiva.

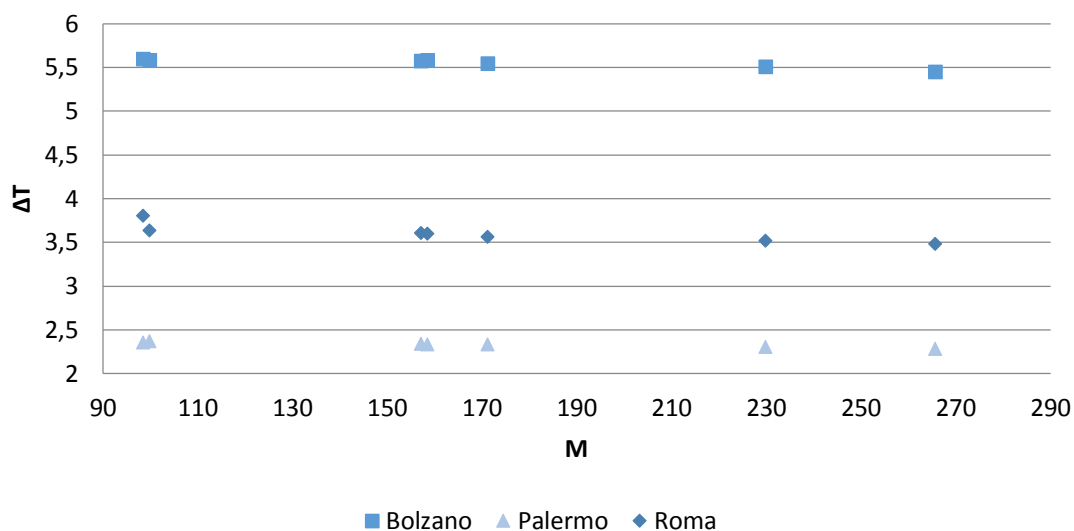


Grafico 77 – Differenza di temperatura media tra interno ed esterno su periodo di raffreddamento in funzione della tipologia costruttiva.

La ricerca di correlazioni tra parametri caratterizzanti le differenti e gli indici di comfort condotta su base stagionale porta a risultati poco significativi; la valutazione di valori medi stagionali, infatti, non consente di approfondire il comportamento dell'involucro in situazioni più estreme, in presenza delle quali si può apprezzare il maggior contributo degli effetti capacitivi. Valutando, ad esempio, il parametro  $\Delta T$  in funzione della massa media dell'involucro, ciò che si ottiene è un andamento sostanzialmente costante: sembra che l'aumento della massa (ma ciò vale anche per capacità termica, ore di sfasamento, fattore di smorzamento) non abbia alcun influenza sulla temperatura interna.

Per meglio indagare il comportamento dei modelli caratterizzati da differenti tecnologie costruttive è stata necessaria un'ulteriore indagine, che restringesse il periodo di osservazione al singolo giorno; sono stati presi in considerazione due "giorni tipo", il 15 dicembre per la stagione invernale ed il 15 luglio per l'estate. L'analisi sul breve periodo consente di meglio apprezzare gli affetti delle differenti tecnologie in termini di sfasamento del carico di picco e di smorzamento delle oscillazioni della temperatura interna.

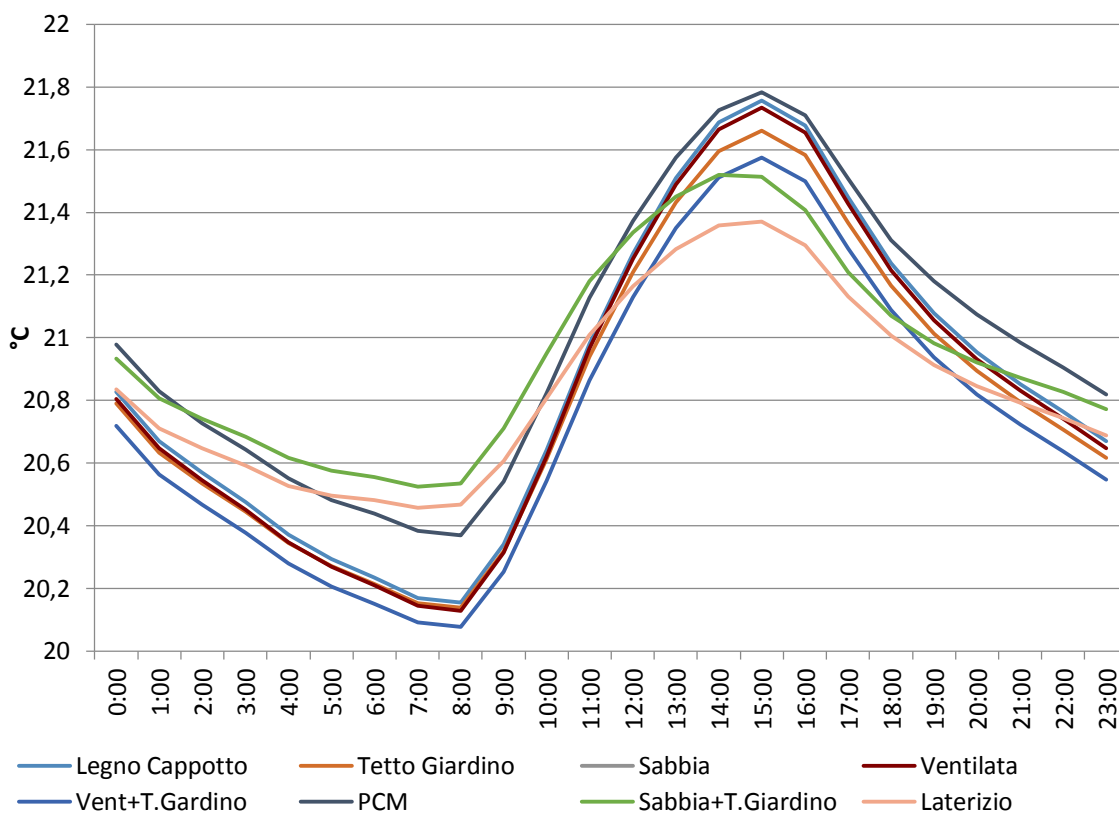


Grafico 78 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Palermo.

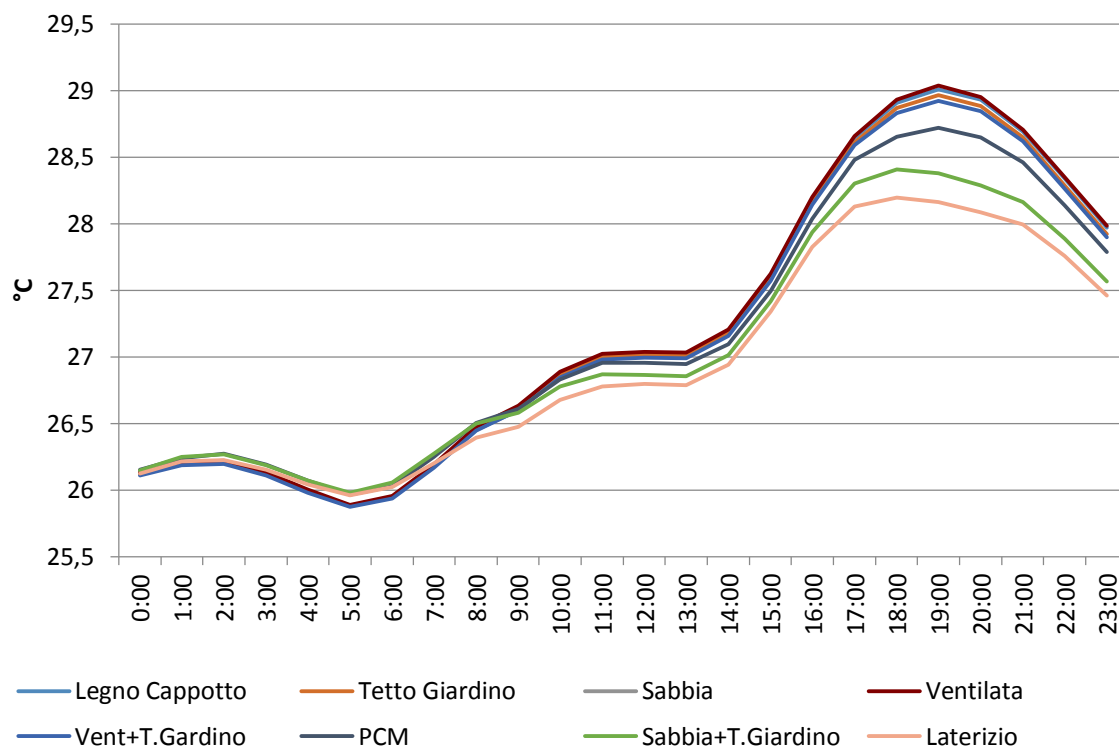


Grafico 79 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Palermo.

L'andamento della temperatura operante nei giorni tipo, nel caso di Palermo (si rimanda agli allegati di competenza per la completezza dei risultati), mostra un effettivo smorzamento delle oscillazioni della temperatura interna in corrispondenza della tecnologia maggiormente capacitiva: in regime invernale, si può notare un abbattimento dei valori di picco in corrispondenza di creste e gole di circa 0,5 °C, valore che sale a quasi 1 °C per il picco del giorno tipo estivo. Si riscontra un comportamento analogo, ma con minor capacità di smorzamento, per le altre soluzioni capacitive, ossia la TT.05 e TT.06.

L'osservazione dei risultati riguardanti il giorno tipo invernale potrebbe indurre a pensare ad un comportamento discordante rispetto a quanto appena evidenziato per il periodo estivo: si riscontra, infatti, un effetto di smorzamento solamente per le varianti di modello TT.06 e TT.07, mentre la TT.05 sembra non esser efficace; bisogna considerare, però, che tale variante di modello è caratterizzata dalla presenza di materiali a cambiamento di fase, la cui temperatura di fusione è di 25 °C. Essi risultano esser sostanzialmente inerti durante tutto l'arco della stagione fredda, poiché la temperatura interna non raggiunge mai la soglia di attivazione del processo di cambiamento di fase.

## CONCLUSIONI E SPUNTI FUTURI

Le analisi presentate all'interno dell'elaborato di tesi hanno portato alla determinazione di interessanti correlazioni, in termini di comfort interno, tra l'efficacia di strategie passive e le condizioni climatiche del sito di insediamento. Esse, pur non avendo validità universale, poiché affette dallo specifico modello di studio, rappresentano uno strumento qualitativo per la stima dei benefici derivanti da un'accorta progettazione in ottica bioclimatica; la schematizzazione visuale di tali correlazioni, specialmente se integrata con informazioni di tipo economico, può costituire un prezioso mezzo per il progettista, in grado così di valutare fin dalle prime fasi della progettazione preliminare, la configurazione derivante dalla combinazione di strategie e tecnologie più efficace e conveniente.

Come dimostrato dal contest Solar Decathlon, il futuro dell'abitare deve orientarsi verso modelli costruttivi in grado di usufruire intelligentemente delle risorse messe a disposizione da ogni sito di insediamento, facendo del rapporto casa-clima il punto focale dello sviluppo progettuale, integrato con un alto grado tecnologico solamente a posteriori del processo ideativo. Le analisi condotte a partire dalle soluzioni ricorrenti riscontrate nel corso delle varie edizioni, hanno previsto la totale assenza di un impianto di climatizzazione estiva o invernale, il che ha reso apprezzabile la differente risposta dell'involucro dell'edificio; un comportamento passivo migliore si traduce in minor necessità di intervenire con processi di riscaldamento e di raffrescamento attivi, con benefici per l'utente finale e per l'ambiente.

Per quanto concerne la variabile connessa alla problematica del lotto di insediamento, si è riscontrata una maggior influenza dell'orientamento sugli indici di comfort in presenza di climi esterni piuttosto rigidi; data una geometria fissa dell'involucro e delle sue parti trasparenti, al variare dell'angolo azimutale cambia la quota di radiazione solare che giornalmente entra in ambiente interno. Tale variazione, che risulta essere pressoché uguale per i tre casi considerati, comporta conseguenze differenti: in presenza di climi molto freddi, la diminuzione di energia entrante determina un'accentuazione delle già severe condizioni di discomfort, mentre in località più temperate tale mancanza porta a scostamenti meno significativi dalle condizioni desiderate. La correlazione che si instaura durante il periodo estivo risulta, invece, esser paragonabile nelle tre città in esame: i parametri che maggiormente hanno influenzato tale risultato sono la presenza di ventilazione naturale e la limitata superficie trasparente che caratterizza il modello di analisi; ulteriori studi potrebbero approfondire il legame tra comfort

estivo ed orientamento in presenza di una differente percentuale di superficie trasparente, o ancora in presenza di forzanti esterne più estreme (Norvegia, Egitto, Malesia).

Considerando le questioni legate alla morfologia del prototipo esaminato, si è notato che nei climi più freddi un aumento smodato della percentuale di aperture non porta a benefici, poiché lo scenario che si viene a creare prevede un considerevole flusso di energia solare entrante, ma altrettanto considerevole flusso disperdente attraverso tali componenti vetrate. Anche in relazione all'indice  $\gamma$ , si nota che la percentuale ottimale di aperture, in ottica di riscaldamento, tende ad aumentare con il migliorare delle condizioni climatiche esterne. Lungo il periodo di raffrescamento, invece, si assiste a un sostale allineamento del comportamento del prototipo supposto nelle tre località: al crescere del rapporto di apertura, e quindi degli apporti solari indesiderati, cresce linearmente il rischio di surriscaldamento degli ambienti interni; in relazione alle condizioni di temperatura esterna, tale rischio può essere più o meno consistente (un aumento di temperatura interna durante il periodo estivo a Bolzano è da considerarsi "meno dannoso" di un aumento di temperatura di pari entità verificatosi a Palermo, poiché differente è la temperatura di partenza e il suo scostamento dalle condizioni di comfort).

La strategia appresa dallo studio dei progetti partecipanti al contest Solar Decathlon che ha mostrato la maggior incidenza in termini di miglioramento delle condizioni interne è senza ombra di dubbio il posizionamento della serra in sostituzione della loggia. Essa determina un cospicuo innalzamento della temperatura interna, più spiccato in climi miti; ma se si prende in considerazione l'indice dei gradi ora di discomfort, si osserva che l'impatto della presenza della serra è maggiore laddove il clima risulta essere più freddo, poiché contribuisce in maniera preziosa a colmare l'ampio divario esistente tra le condizioni interne previste e quelle desiderate. Risultato unanime e concorde in tutti i casi esaminati, è la quasi totale ininfluenza della tipologia di vetro (con relative caratteristiche e prestazioni) per la realizzazione dello spazio cuscinetto.

Le analisi concernenti la regolazione dei flussi solari entranti in ambiente e i sistemi di schermatura che permettono tale modulazione hanno avuto esiti in linea con le aspettative: l'importanza e l'influenza, in termini di comfort, delle prestazioni del sistema oscurante risulta essere crescente all'acuirsi delle condizioni estive esterne; per le località caratterizzate da climi più rigidi, è necessario che la progettazione e la scelta del sistema schermante sia tale da non causare discomfort estivo per eccessivo abbattimento della radiazione entrante e della

temperatura in ambiente. Discorso valido per tutti i siti in esame, l'abbassamento di temperatura che si riscontra durante la stagione invernale in conseguenza all'impiego di sistemi schermanti di varia natura è da considerarsi dannoso e indesiderato, poiché allontana ancora di più le condizioni interne calcolate da quelle ideali di comfort; a tal proposito, si raccomanda l'impiego di sistemi schermanti mobili, che non limitino il flusso di radiazione solare nei mesi più freddi.

Il grado di isolamento dell'involucro ha maggiori ricadute sul comfort interno in regime invernale nei climi più rigidi: la limitazione dei flussi disperdenti risulta esser una questione di primaria importanza laddove si ha maggior salto termico tra interno ed esterno. A parità di spessore d'isolante tra diverse località e all'acuirsi delle condizioni esterne invernali, si registra un progressivo aumento del salto termico: ciò suggerisce una crescente dipendenza tra performance dell'involucro e condizioni ambientali interne.

Le analisi condotte hanno mostrato la bontà della scelta di inserire elementi massivi e/o capacitivi all'interno dell'involucro per tutti i climi analizzati; un ulteriore sviluppo delle analisi svolte all'interno del presente elaborato potrebbe prendere in considerazione l'incidenza della tecnologia, in relazione alle sue prestazioni, in climi più estremi.

In relazione alla frazione trasparente dell'involucro, si specifica la necessità di impiegare componenti caratterizzati da buone proprietà termiche: ancora una volta, l'influenza delle prestazioni degli elementi vetrati sul comfort invernale risulta esser maggiore in corrispondenza dei siti con clima più rigido: l'impiego di triplo vetro o di doppio vetro basso emissivo modifica la temperatura interna media stagionale di circa 1°C a Bolzano, facendo diminuire enormemente la quota di gradi ora di discomfort; le performance degli elementi vetrati risultano essere meno incisive in siti assimilabili a Palermo, caso per il quale si registra un aumento di temperatura molto più esiguo.

In linea generale, i risultati delle analisi dimostrano come sia fondamentale contestualizzare l'edificio all'interno dello specifico problema climatico: l'influenza di ciascuna soluzione passiva è strettamente vincolata alle forzanti esterne, di conseguenza, ogni scelta progettuale deve saper comunicare con il clima in questione. L'adozione di queste strategie in fase preliminare, può contribuire sensibilmente a migliorare la qualità abitativa degli ambienti occupati e, al tempo stesso, a ridurre l'incidenza dei sistemi impiantistici; un'eventuale analisi dei costi sull'intero ciclo di vita della costruzione, potrebbe confermare l'efficacia dell'approccio bioclimatico anche in termini economici.

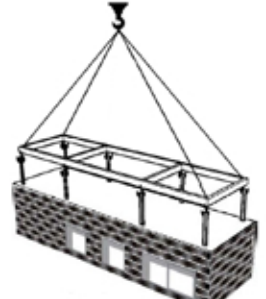
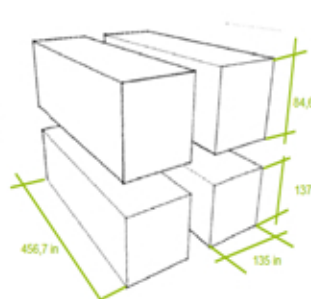
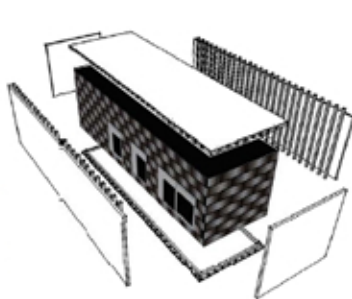
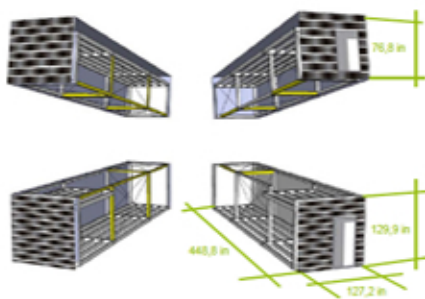
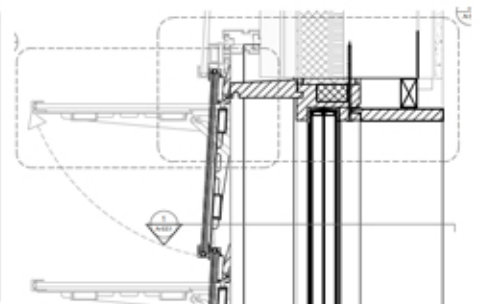
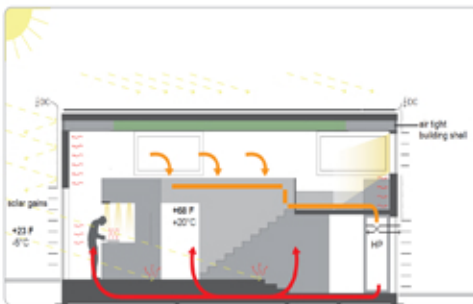
## DOCUMENTAZIONE GRAFICA

NOTA: tutta la documentazione qui presente è stata estratta dal materiale ufficiale di ciascuna squadra, disponibile liberamente tramite la sitografia riportata in seguito.

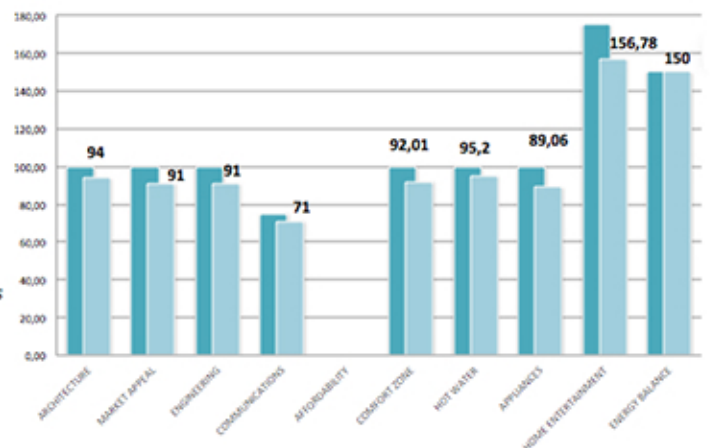
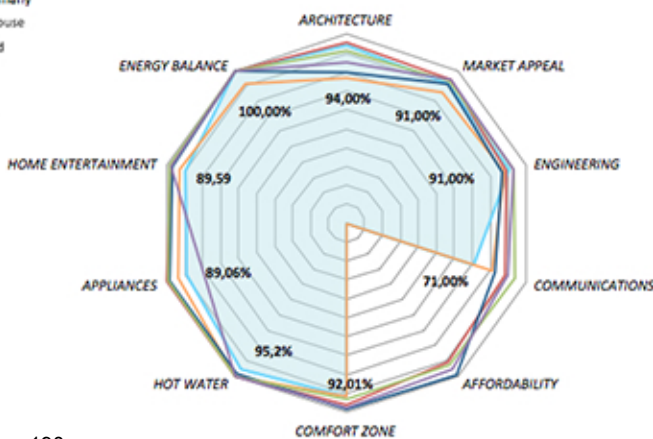


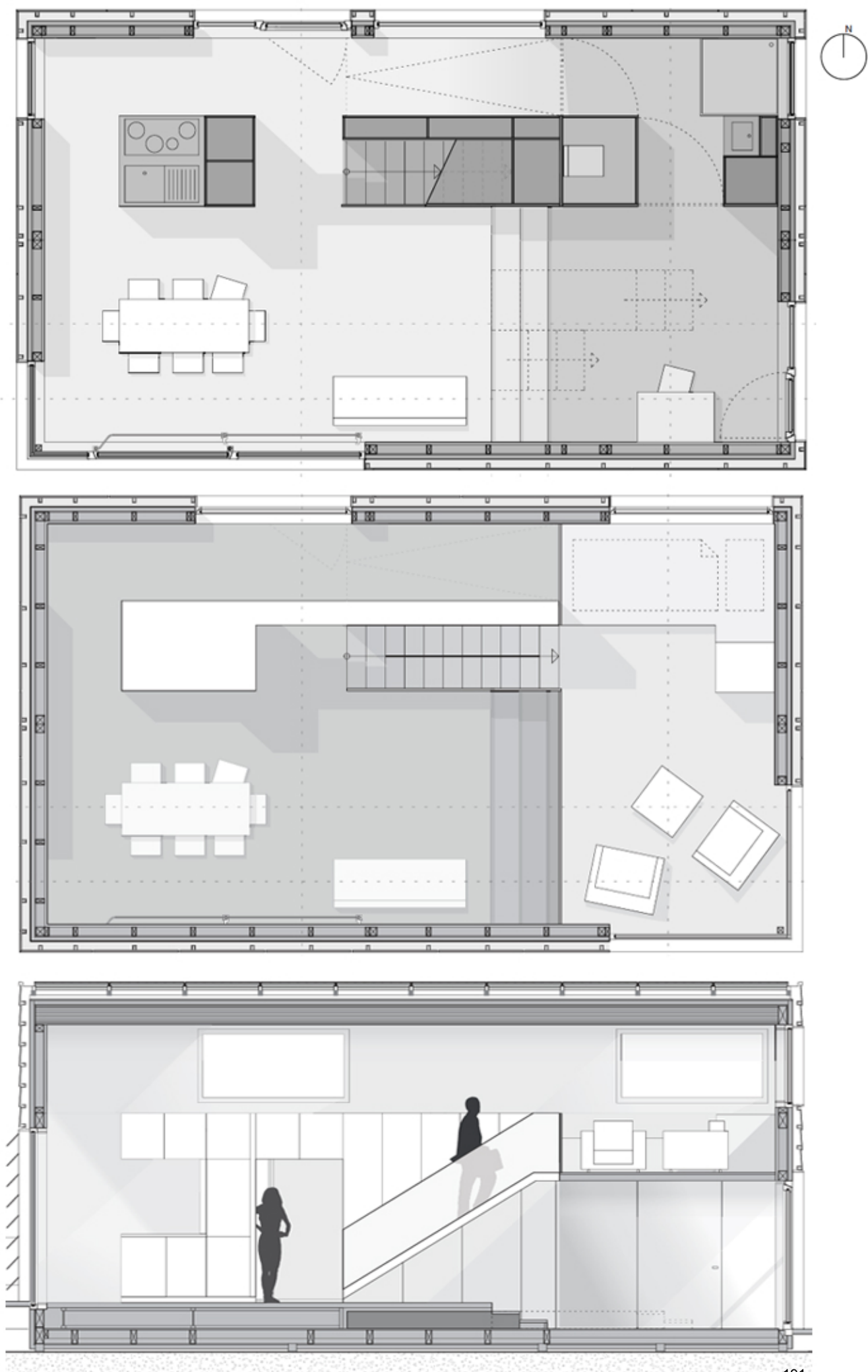






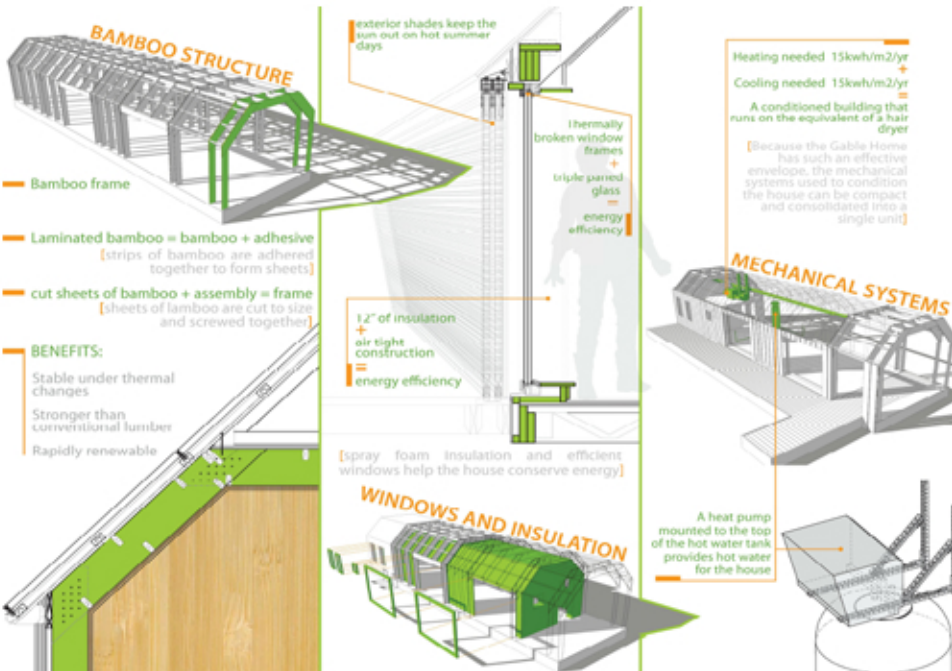
- Team Germany
- Gamble House
- WaterShed
- INhome
- Lisi
- DesertSol





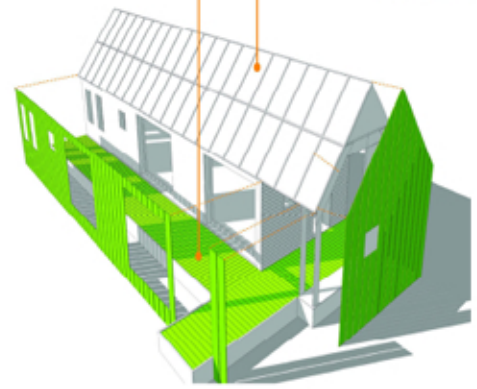




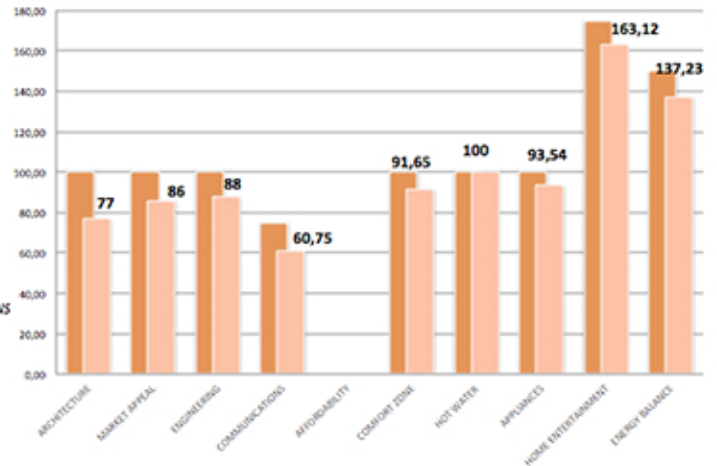
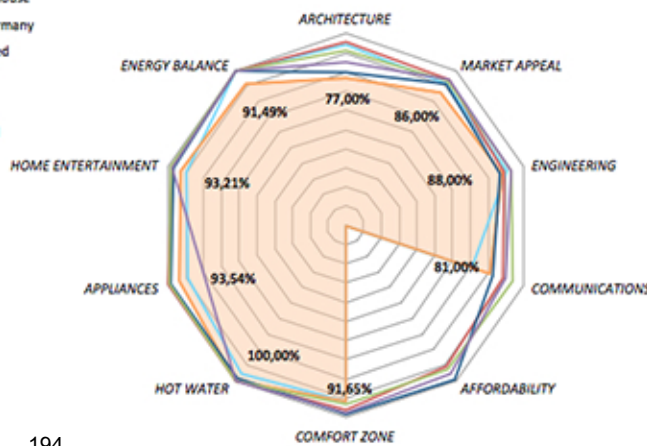


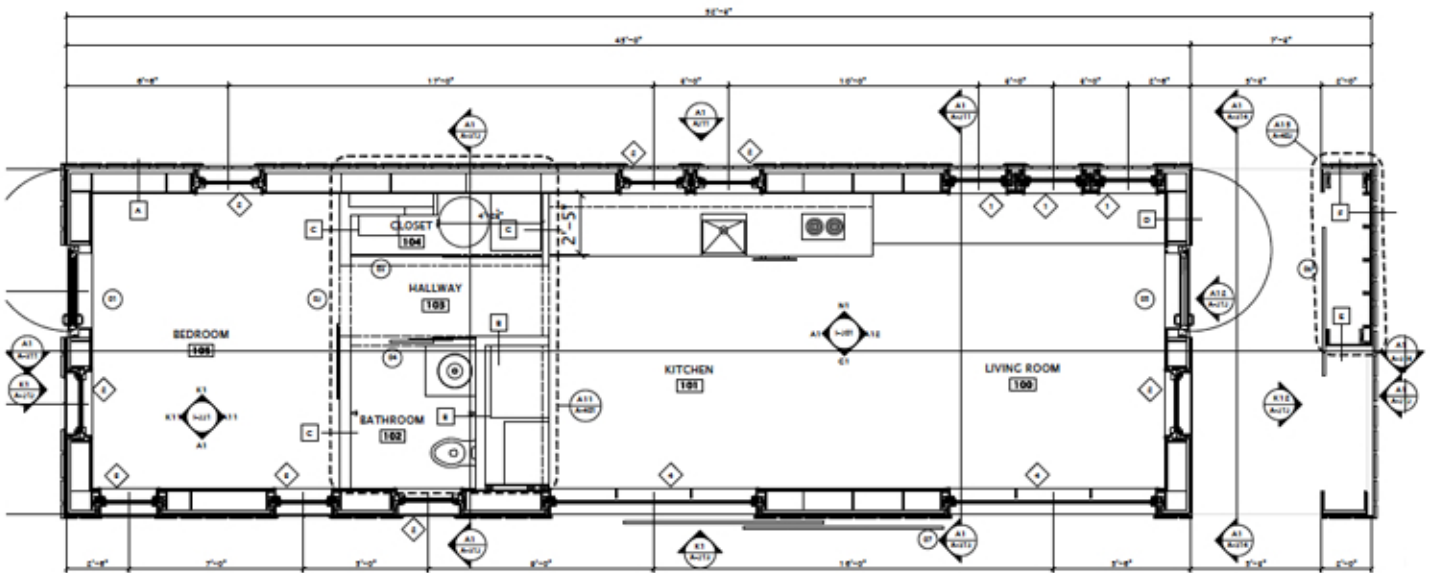
wood boards over 100 years old make up the decking and siding of the house

40 photovoltaic panels generate 100% of the annual energy needed to power the house

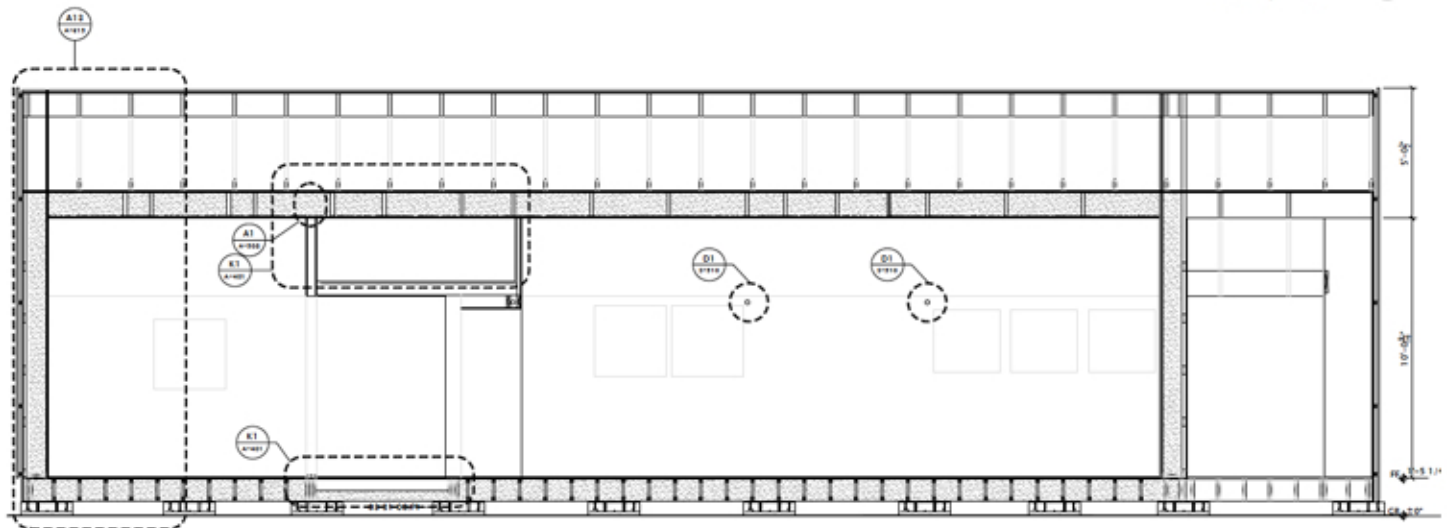
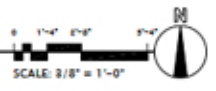


- Gamble House
- Team Germany
- WaterShed
- iNhome
- Lisi
- DesertSol

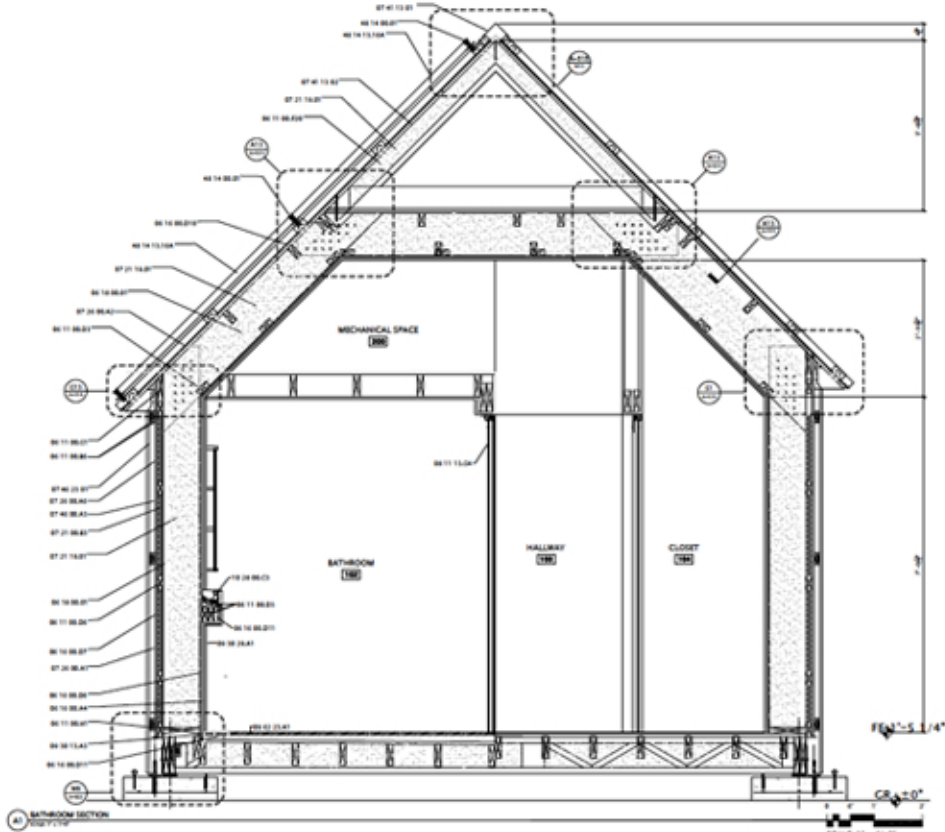




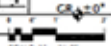
A1 FLOOR PLAN  
SCALE: 1/8" = 1'-0"



A1 BUILDING SECTION  
SCALE: 1/8" = 1'-0"



A1 BATHROOM SECTION  
SCALE: 1/8" = 1'-0"

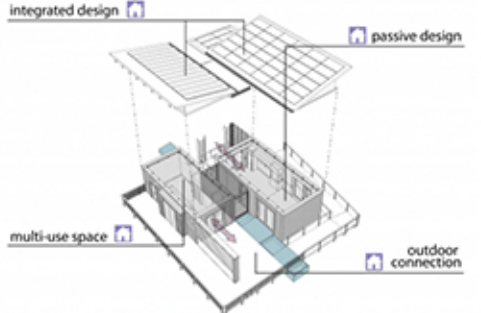
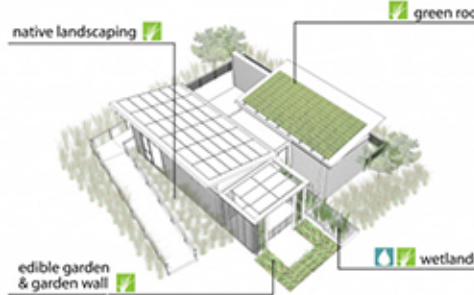
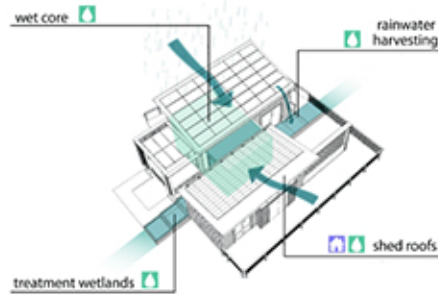
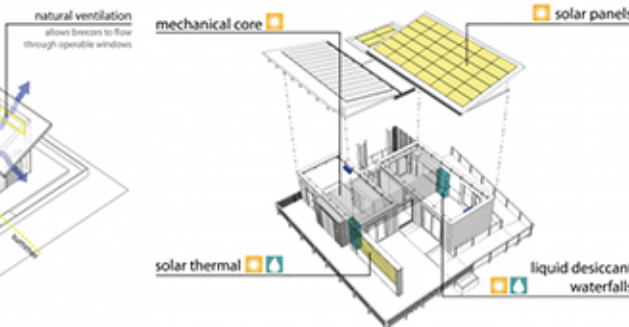
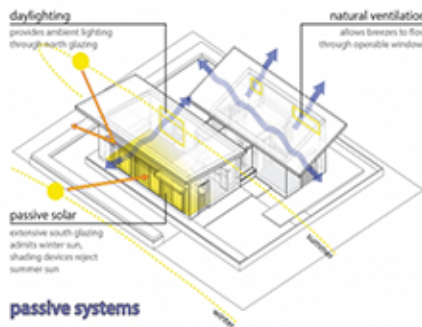




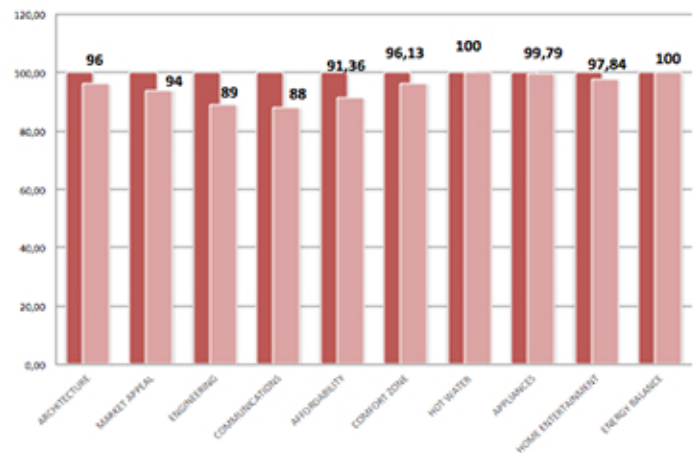
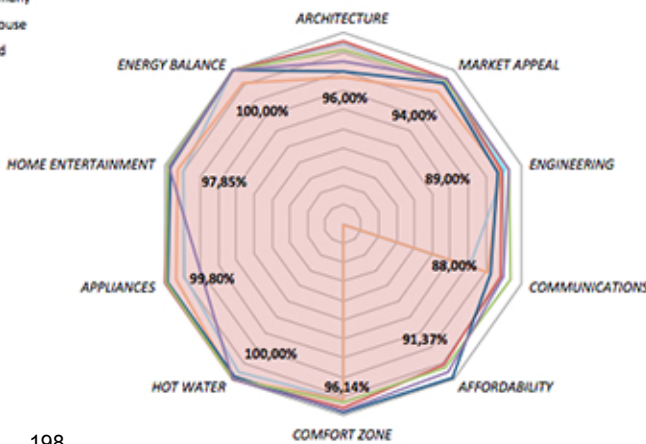


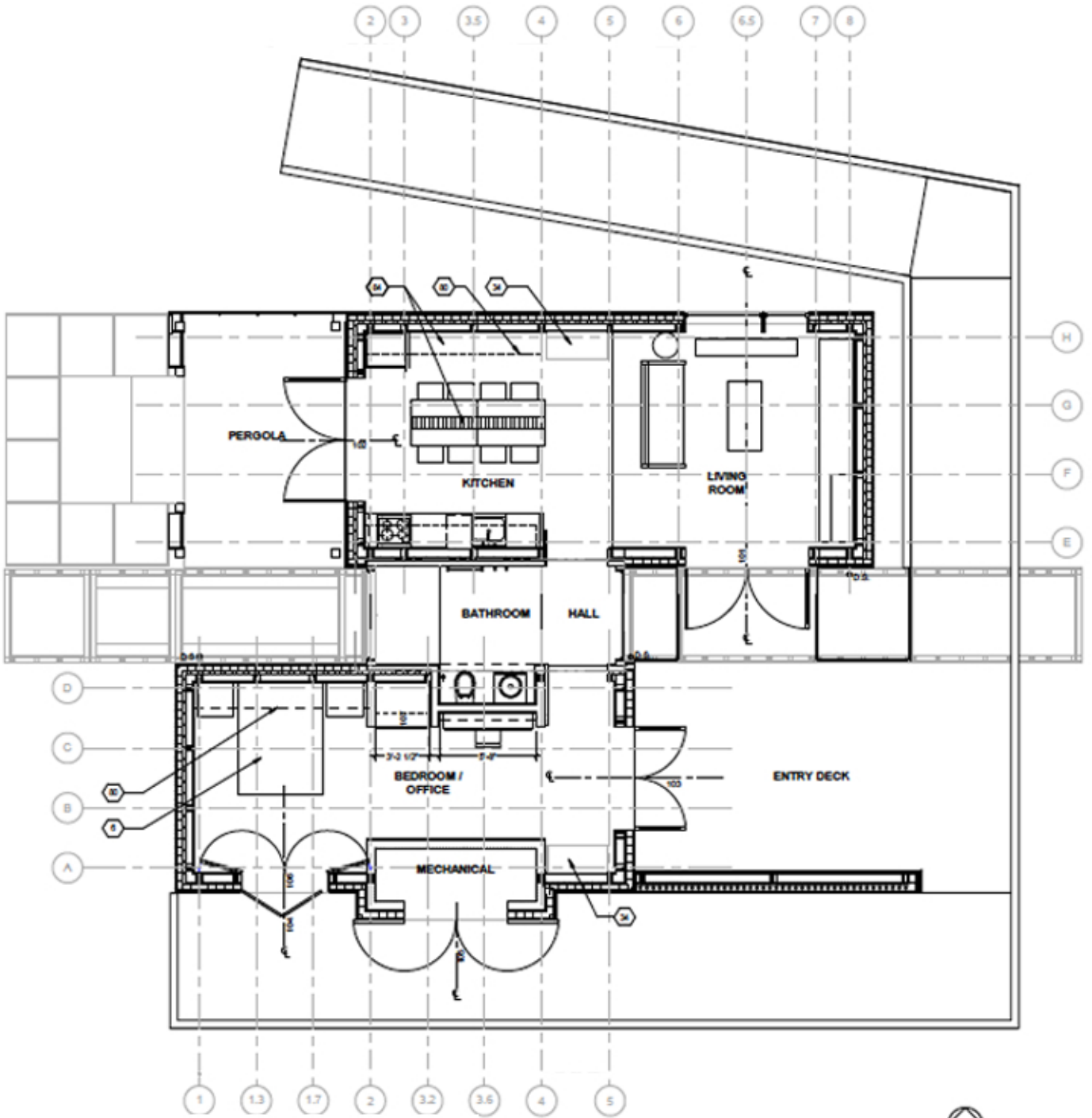


**WaterShed**  
AT THE UNIVERSITY OF MARYLAND

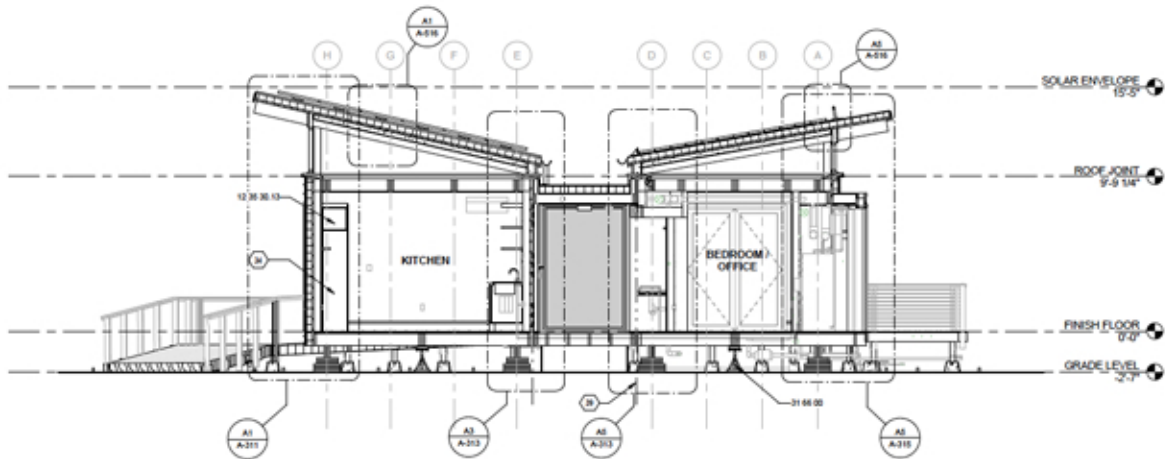


- Team Germany
- Gamble House
- Watershed
- iNhome
- Lisi
- DesertSol





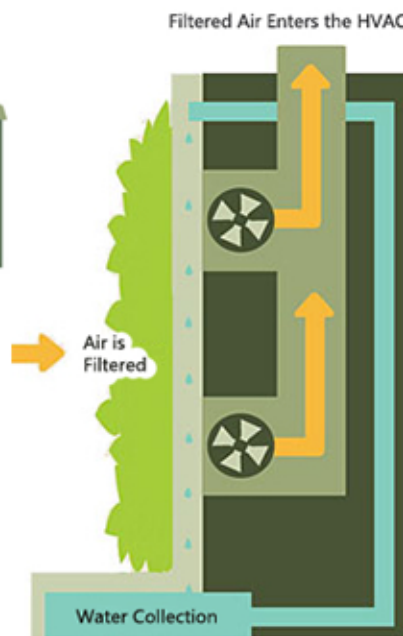
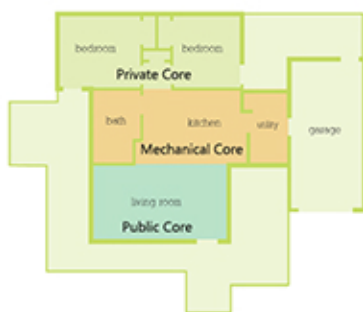
**A1 FURNITURE PLAN**  
1/4" = 1'-0"



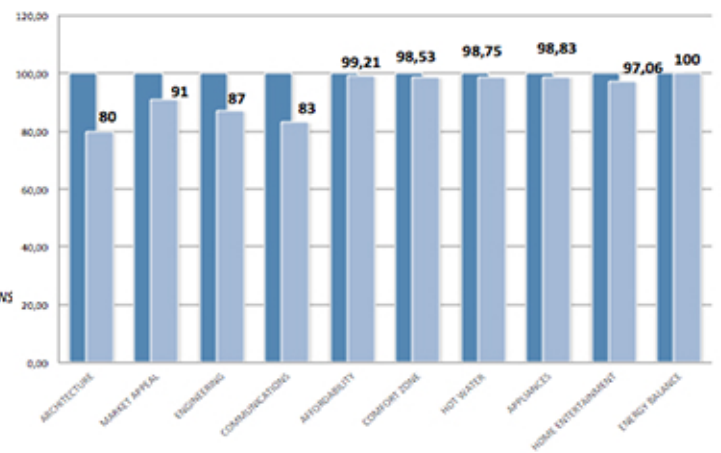
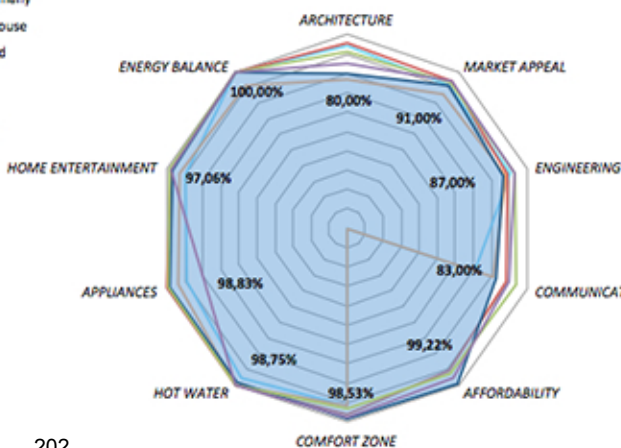
**A1 BUILDING CROSS SECTION 2**  
1/4" = 1'-0"

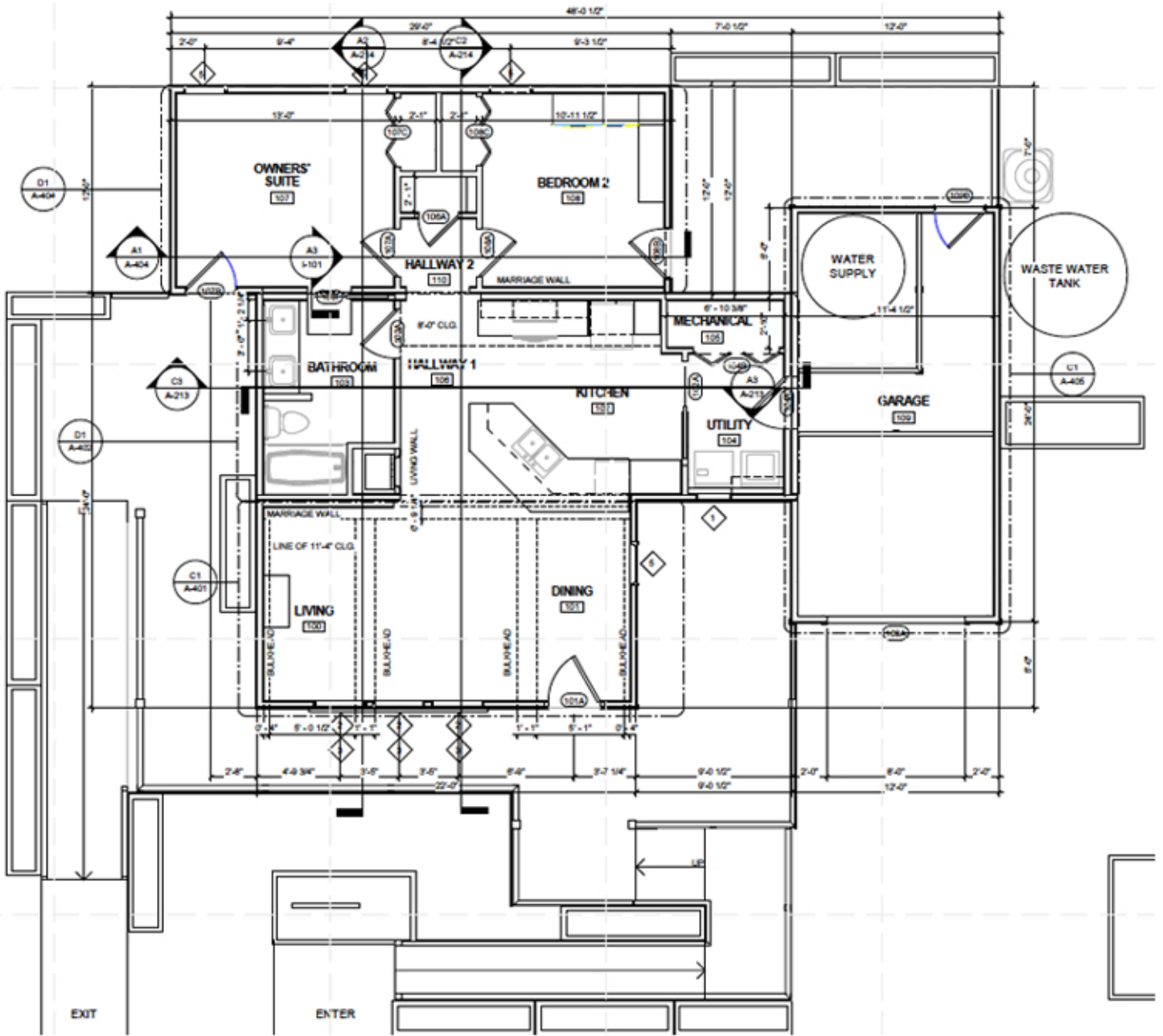




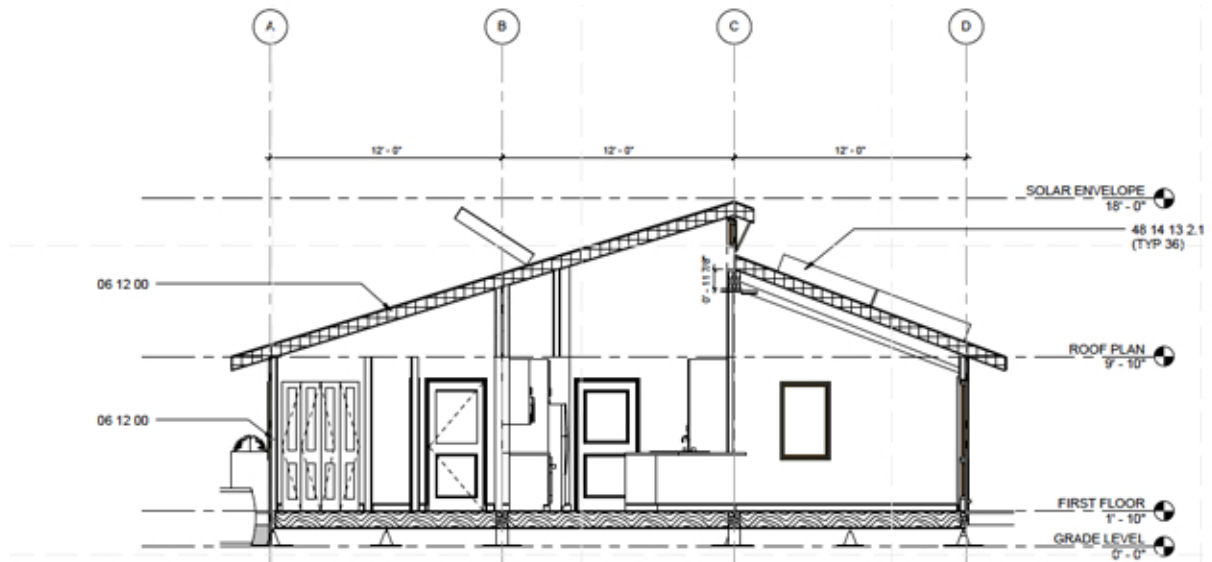


- Team Germany
- Gamble House
- WaterShed
- INhome
- Lisi
- DesertSol





**A1** FIRST FLOOR PLAN  
1/4" = 1'-0"



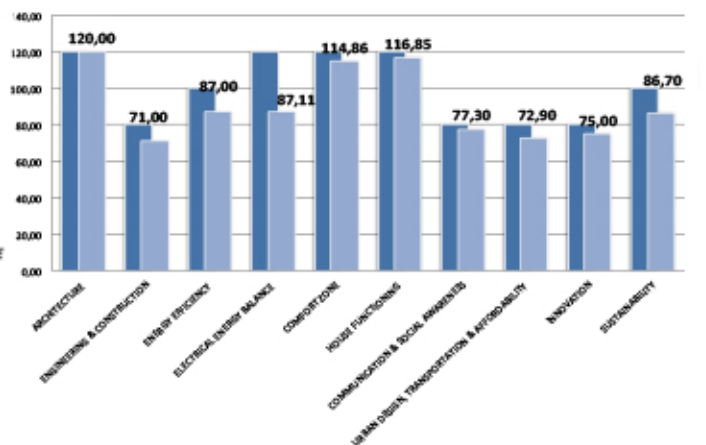
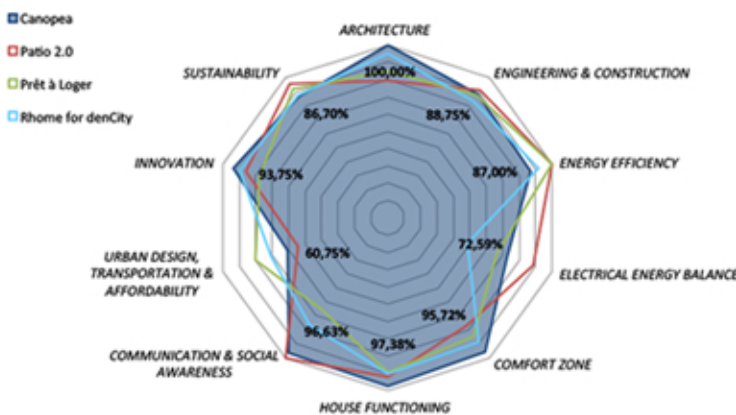
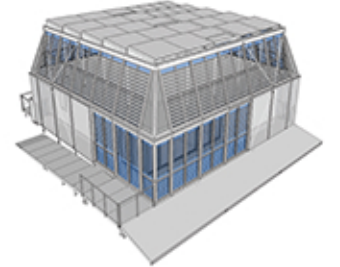
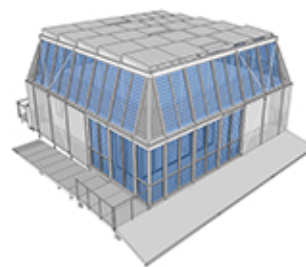
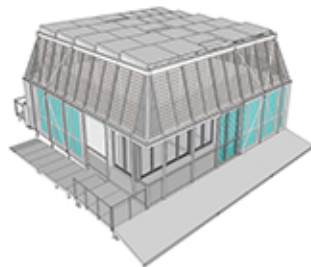
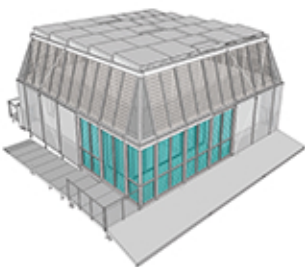
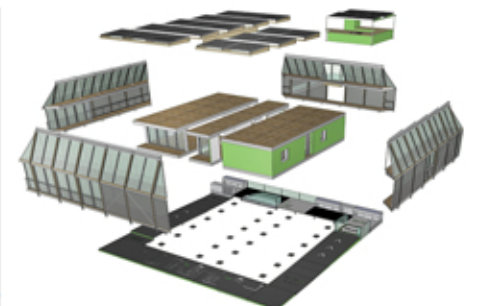
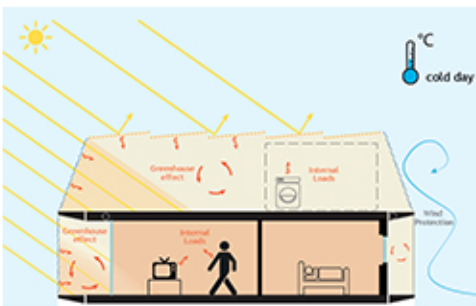
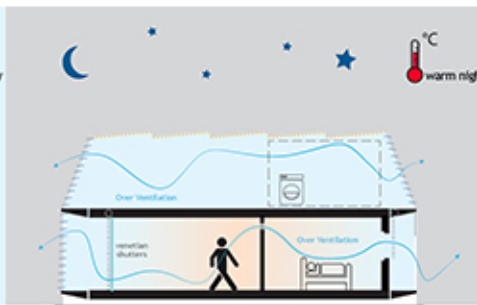
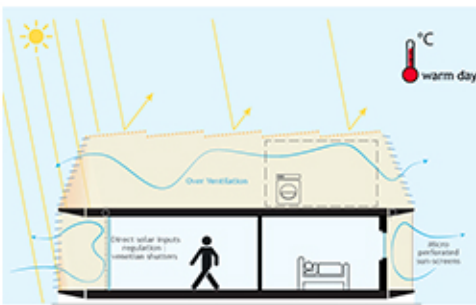
**C2** EAST SECTION VIEW  
1/4" = 1'-0"

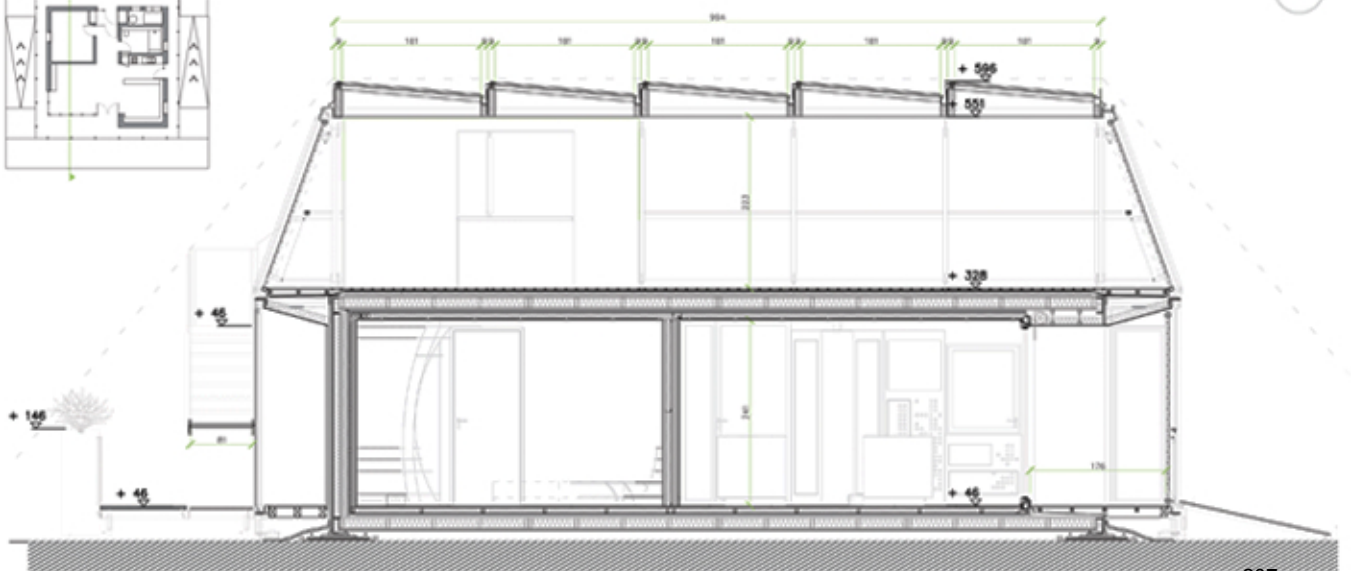
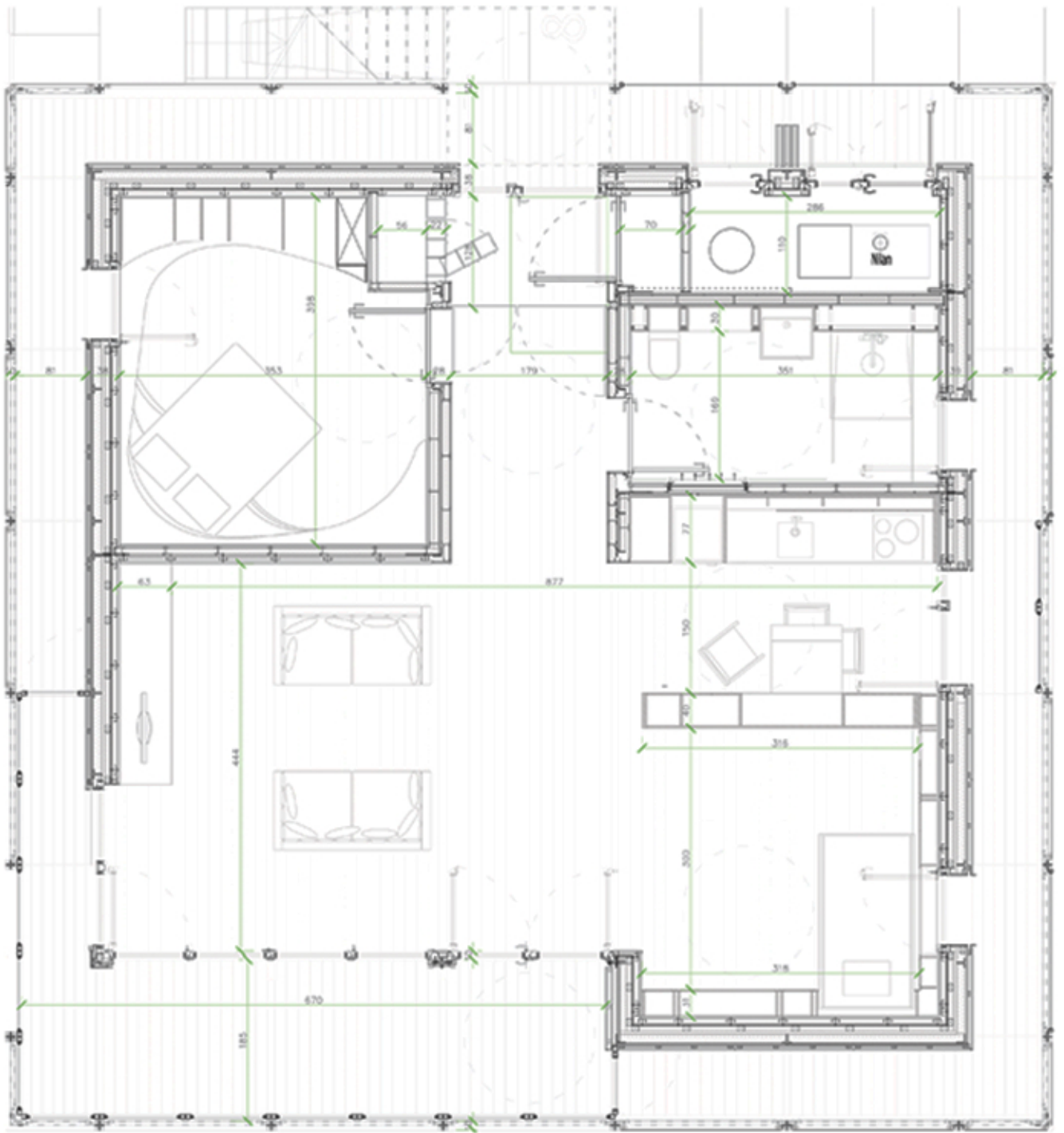








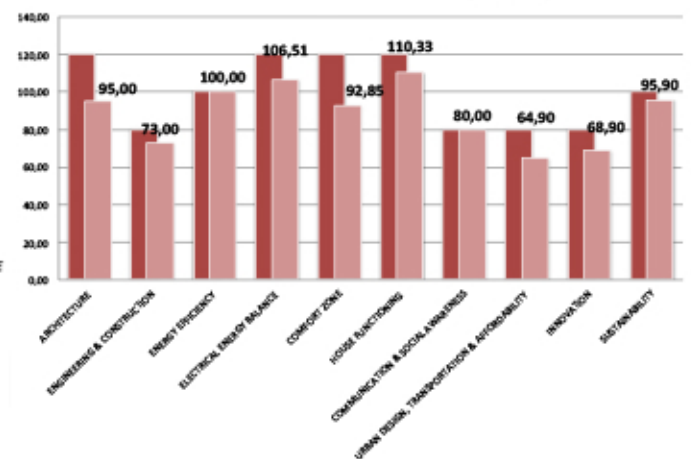
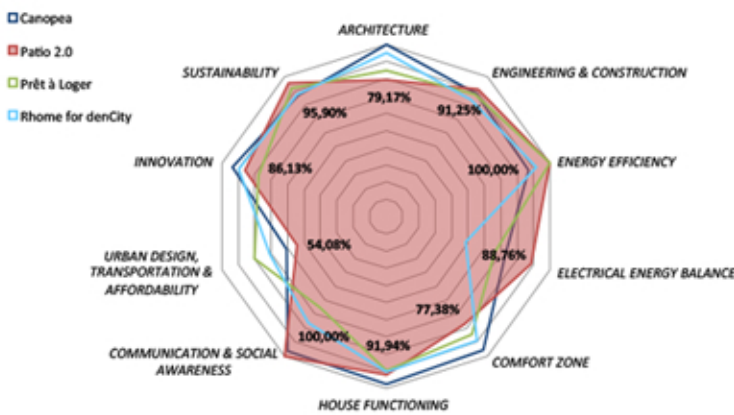
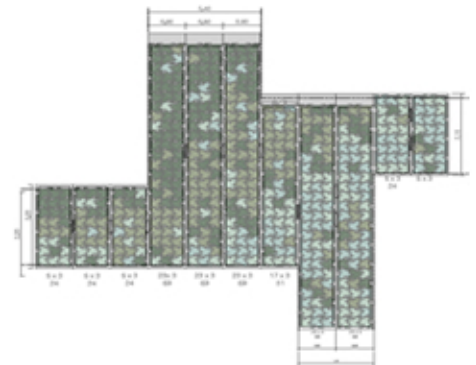
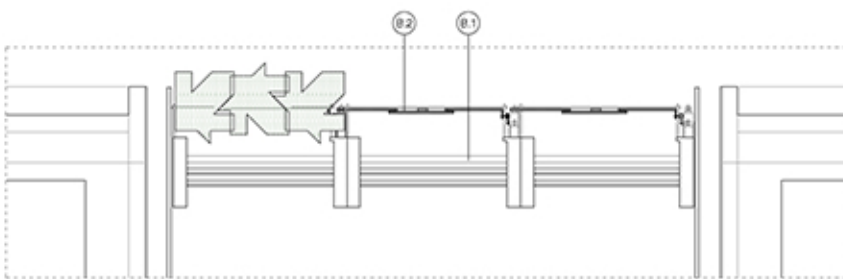
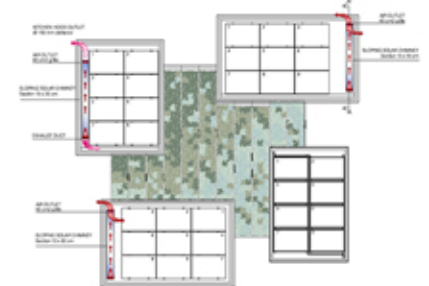
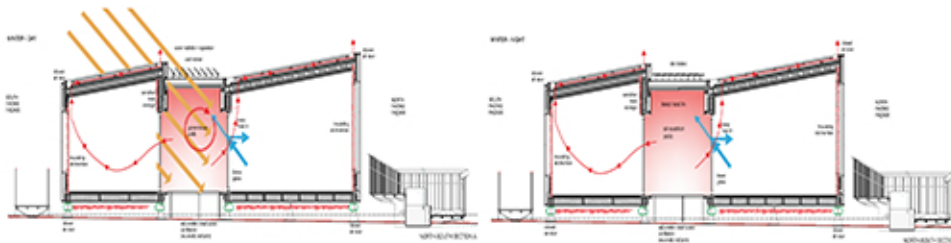


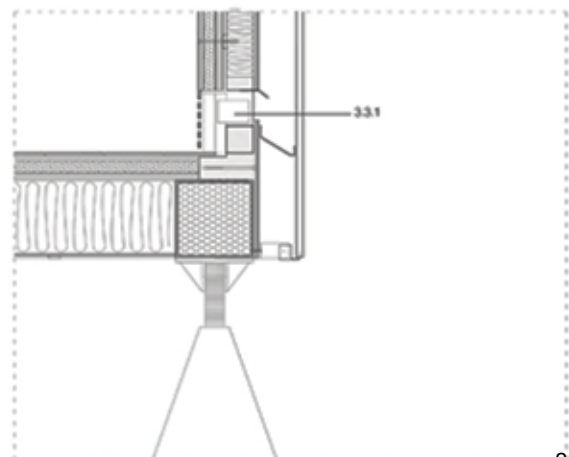
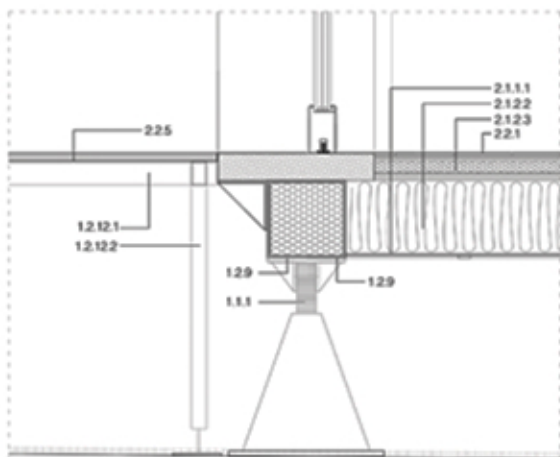
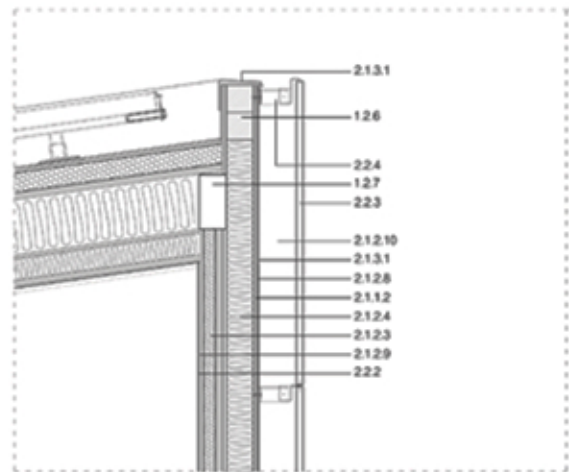
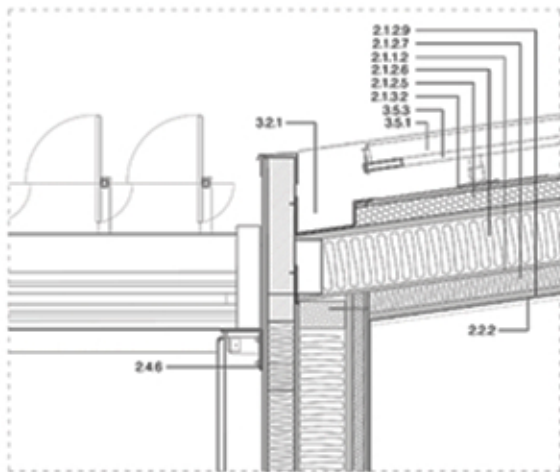




**andalucía**team

**patio**<sup>2.12</sup>



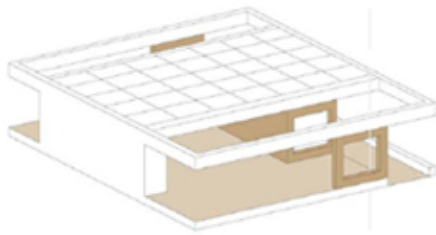




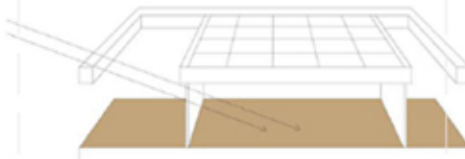




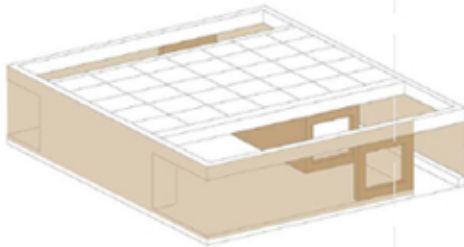
*LISI - THE HOUSE*



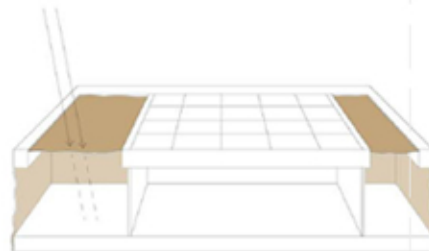
OPEN WINTER FACADE



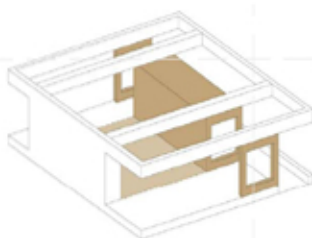
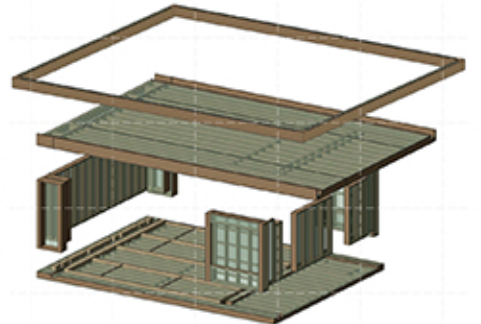
WINTER - PASSIVE SOLAR HEATING



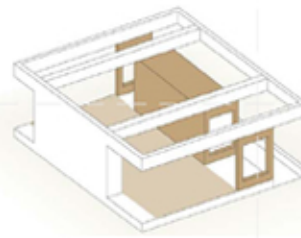
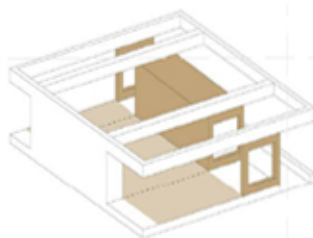
CLOSED SUMMER FACADE



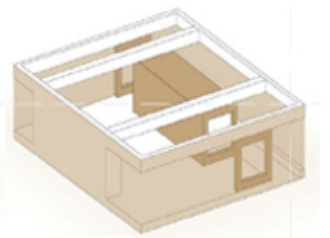
SUMMER - SHADING



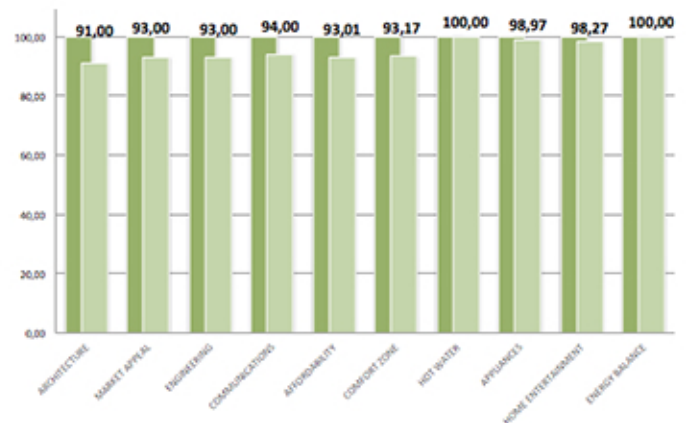
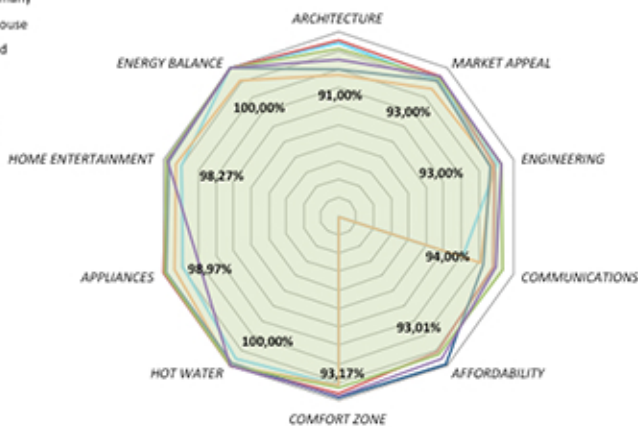
PATIOS - INTERIOR AND EXTERIOR CAN MERGE

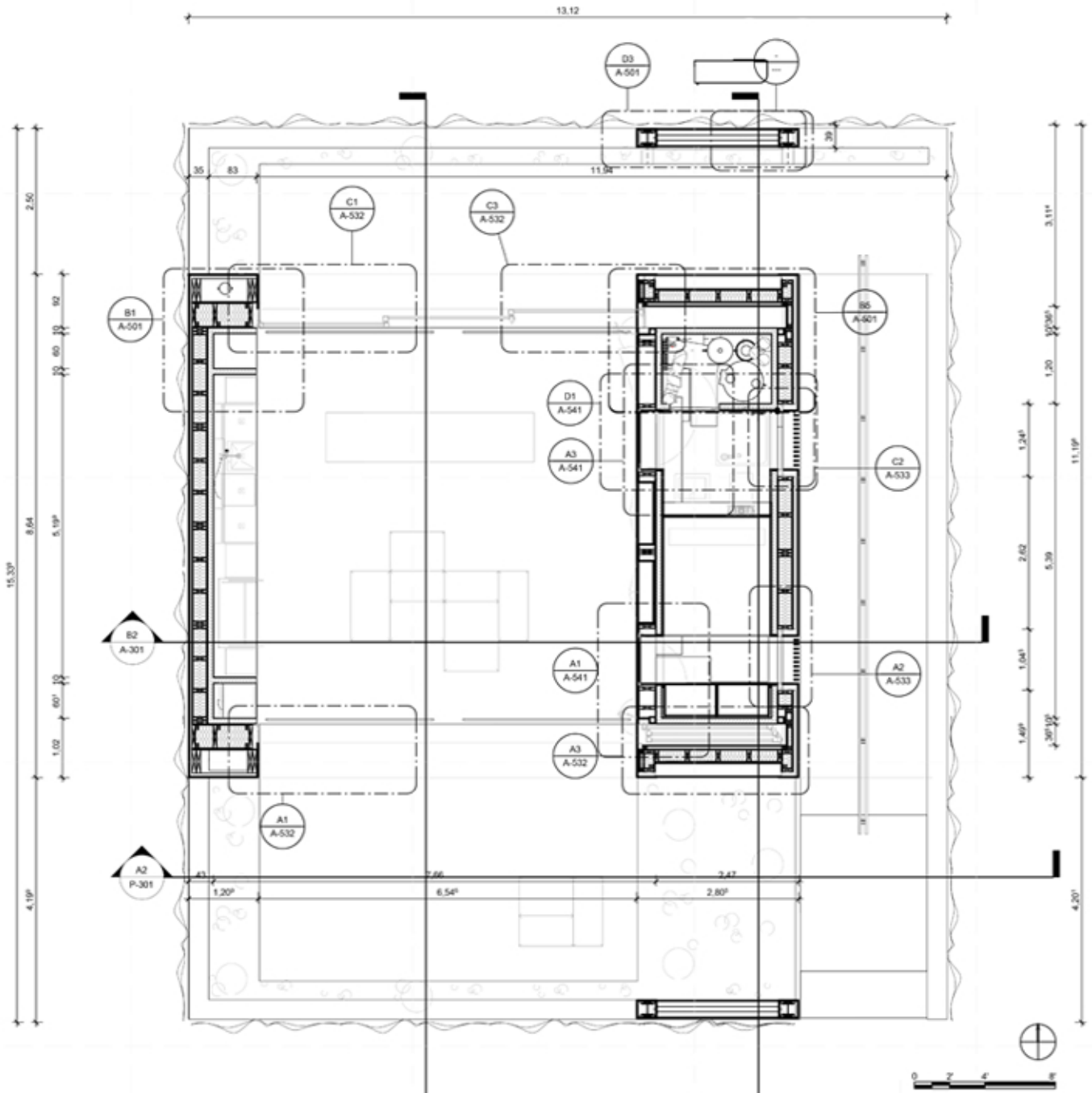


SEMITRANSSPARENT FACADE  
FLEXIBLE BOUNDARY BETWEEN PRIVATE AND SEMI PUBLIC

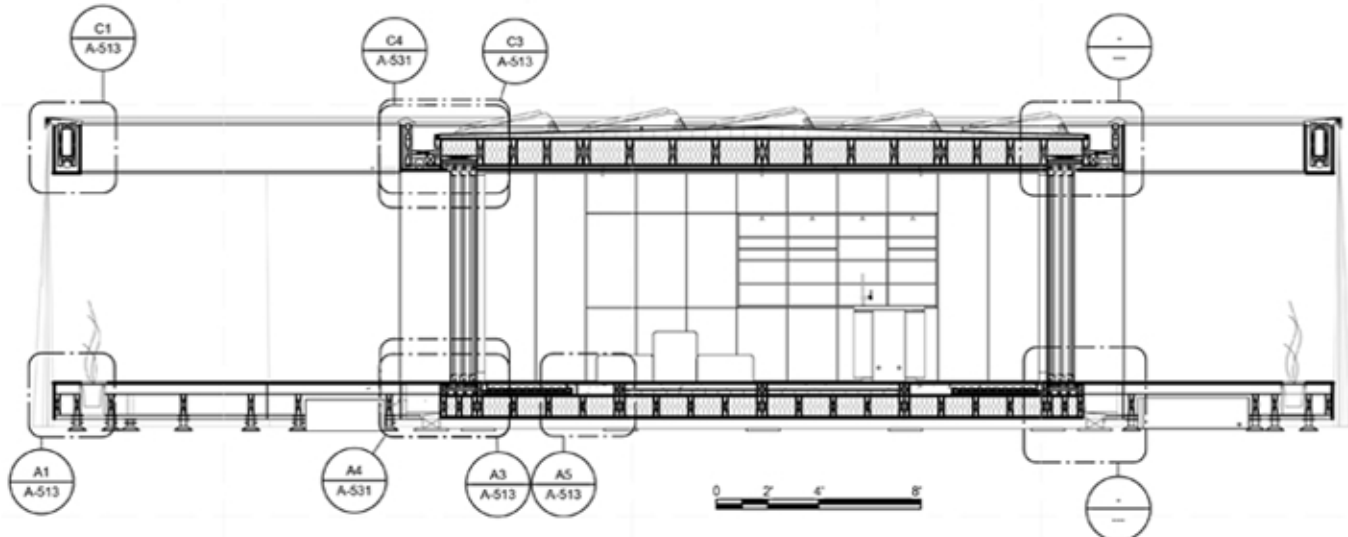


- Team Germany
- Gamble House
- WaterShed
- INhome
- Lisi
- DesertSol





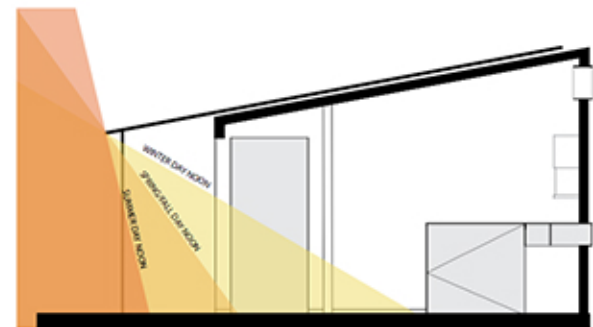
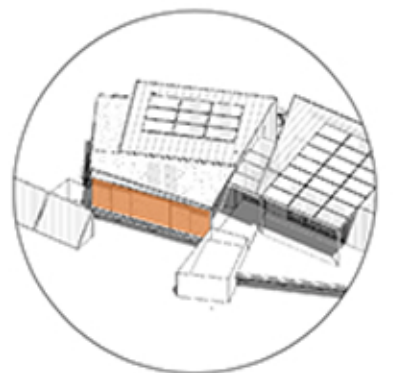
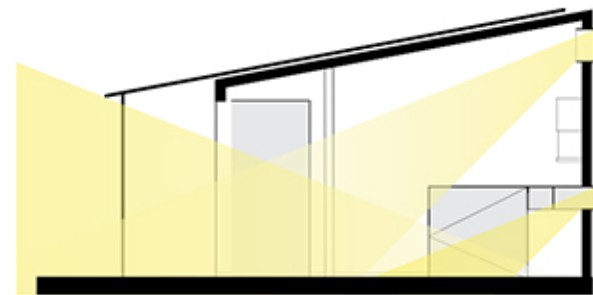
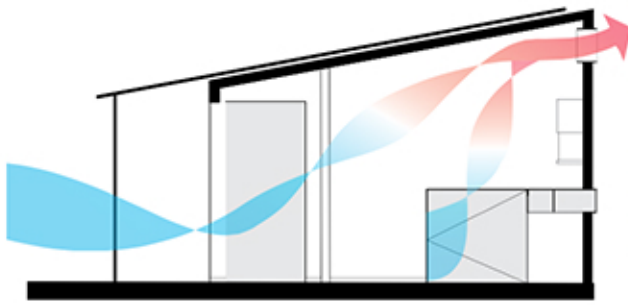
**C1 A-302 Section 1**  
1:48



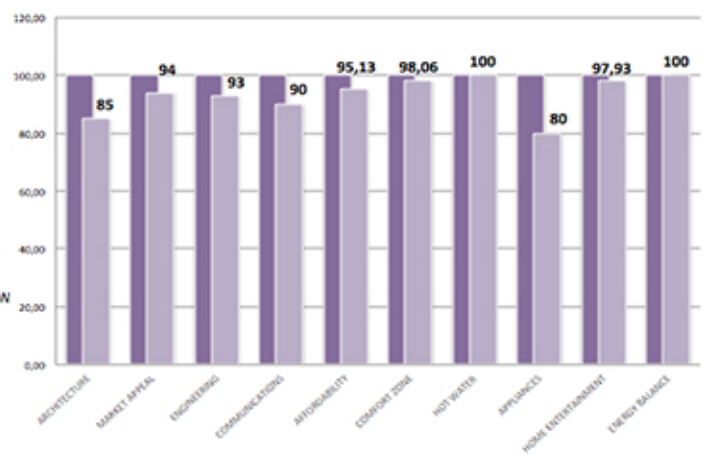
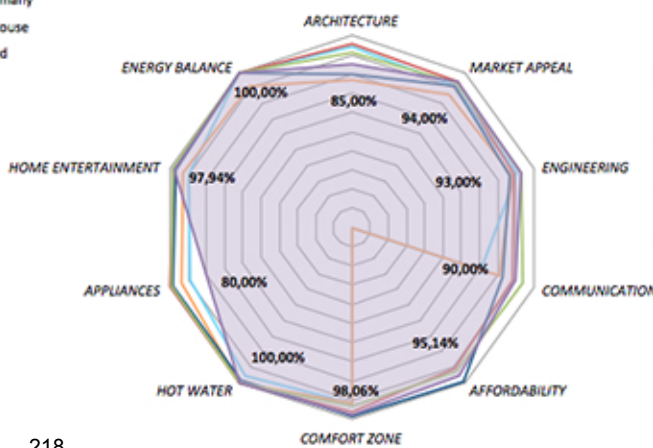


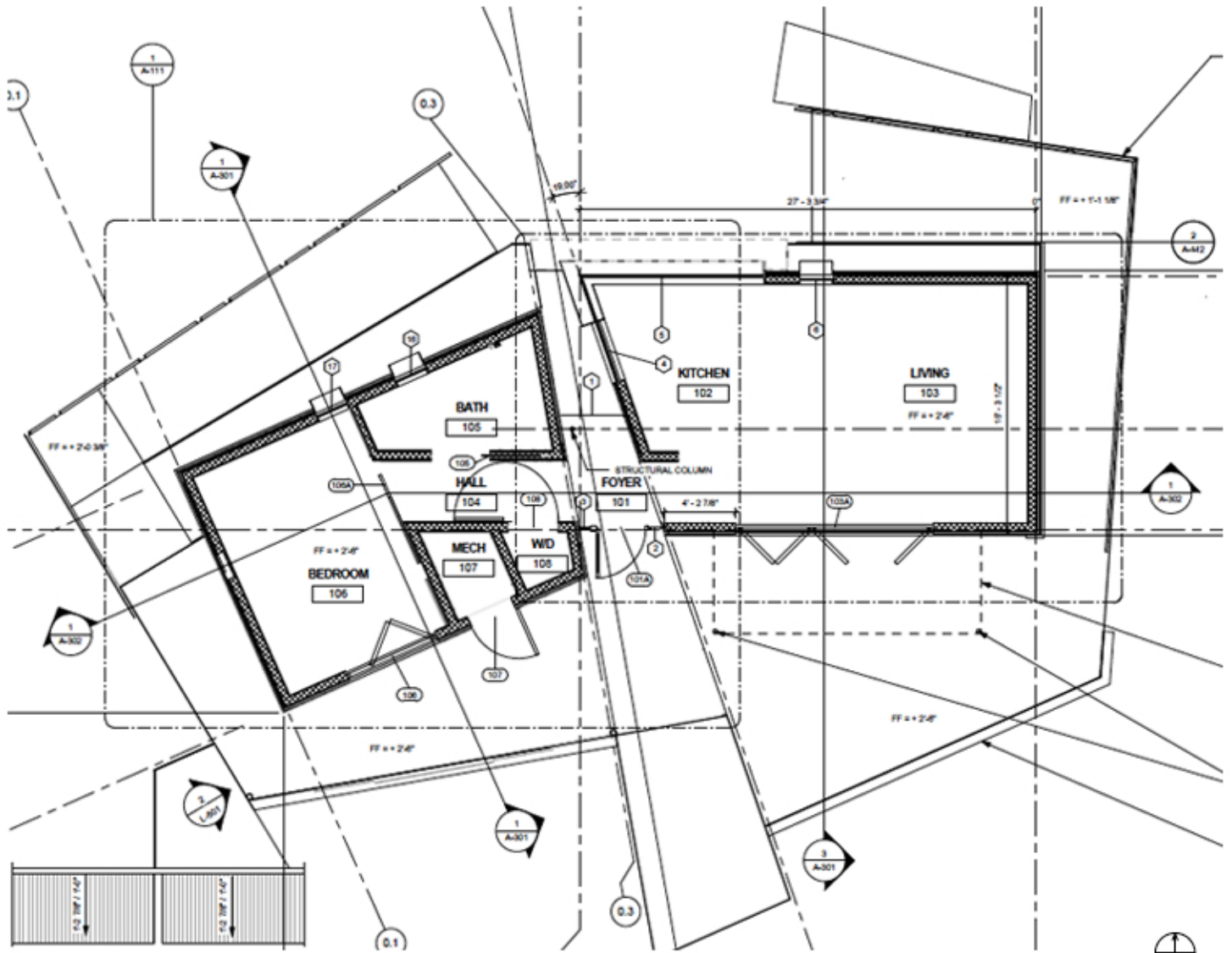
# DESERTSOL

TEAM LAS VEGAS . SOLAR DECATHLON 2013

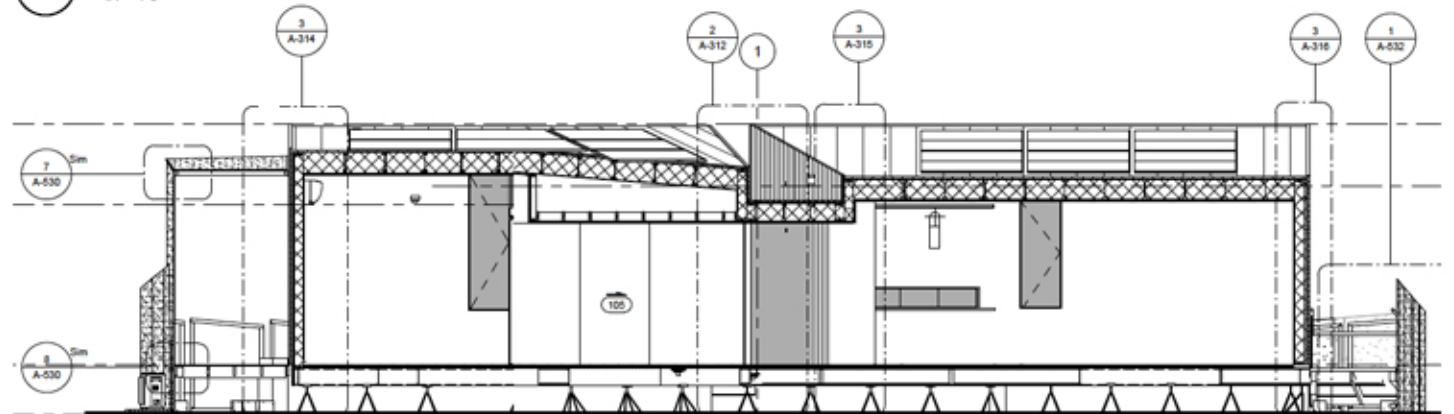


- Team Germany
- Gamble House
- WaterShed
- InHome
- Lisi
- DesertSol

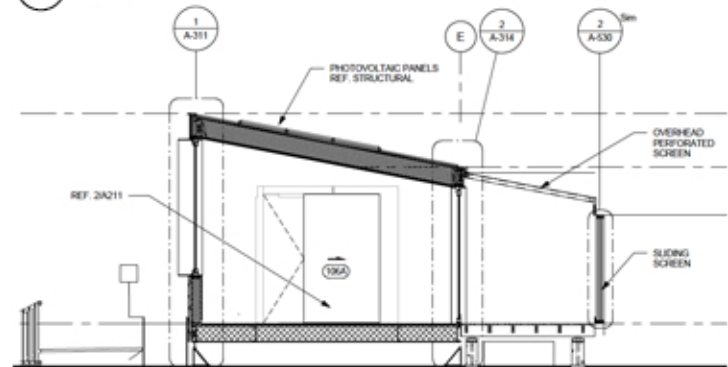




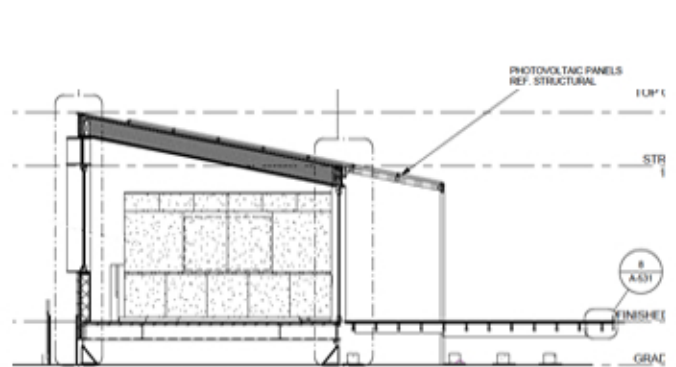
1 FINISHED FLOOR  
1/4" = 1'-0"



1 LONGITUDINAL BUILDING SECTION  
1/4" = 1'-0"



1 BUILDING SECTION THROUGH MODULE A  
1/4" = 1'-0"



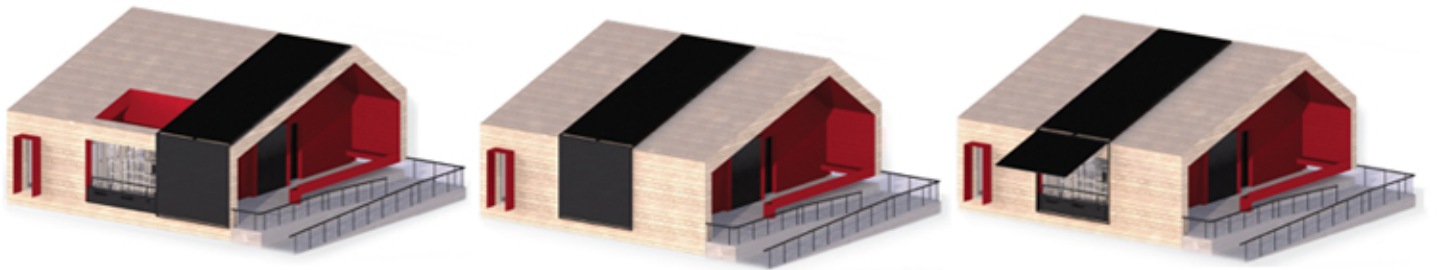
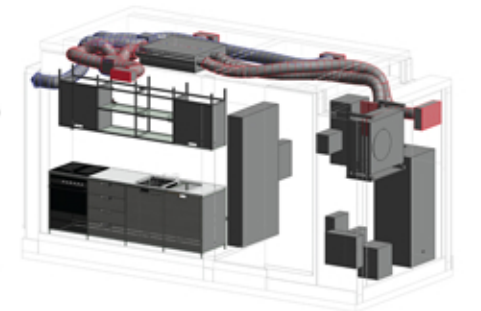
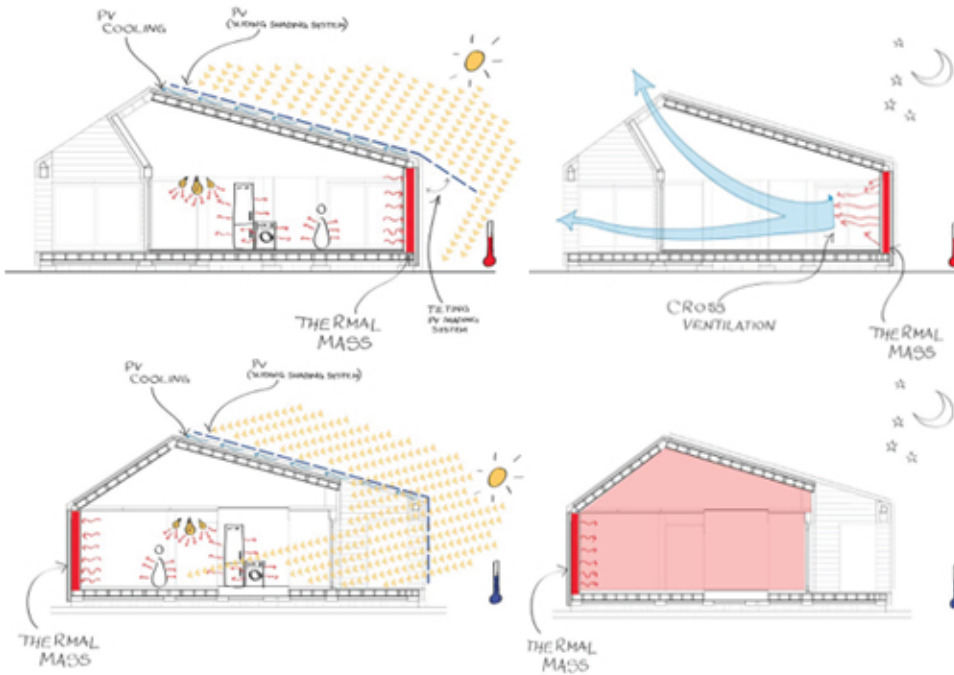
3 BUILDING SECTION THROUGH MODULE B  
1/4" = 1'-0"



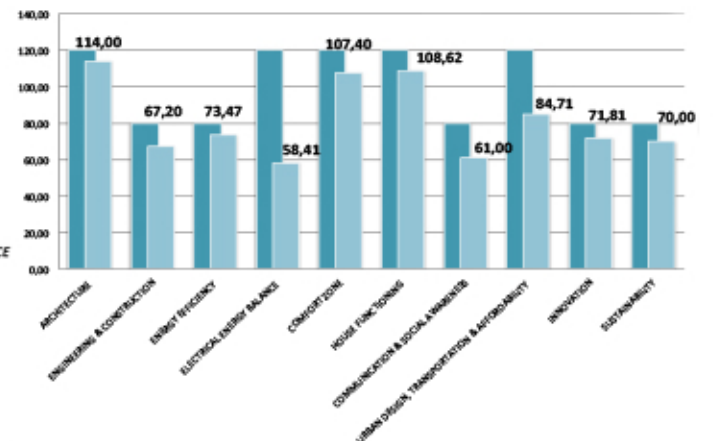
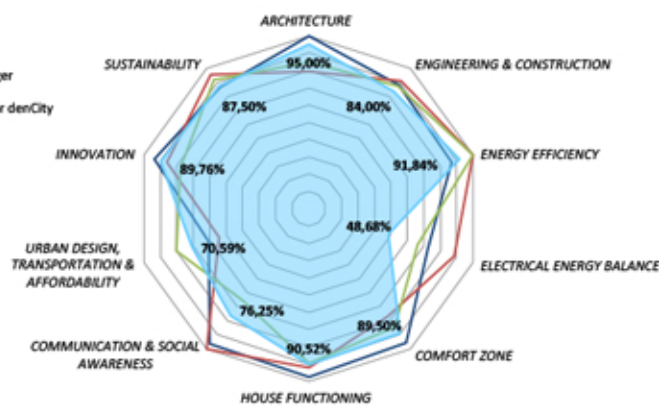


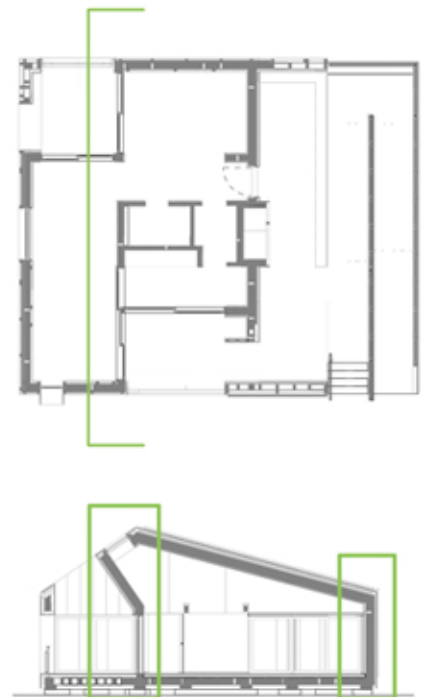
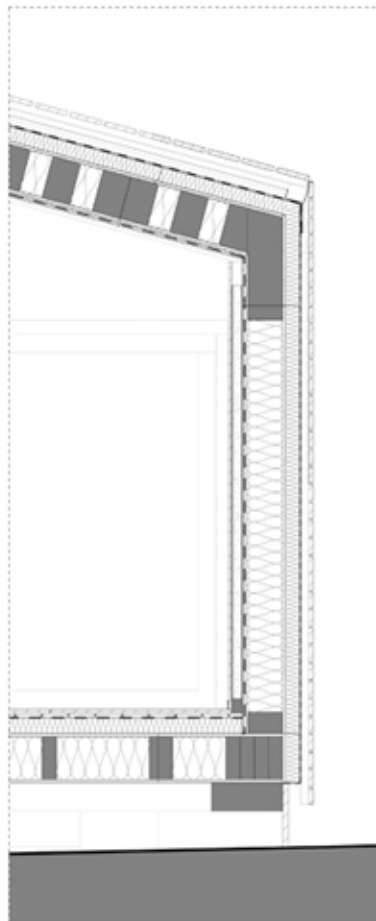
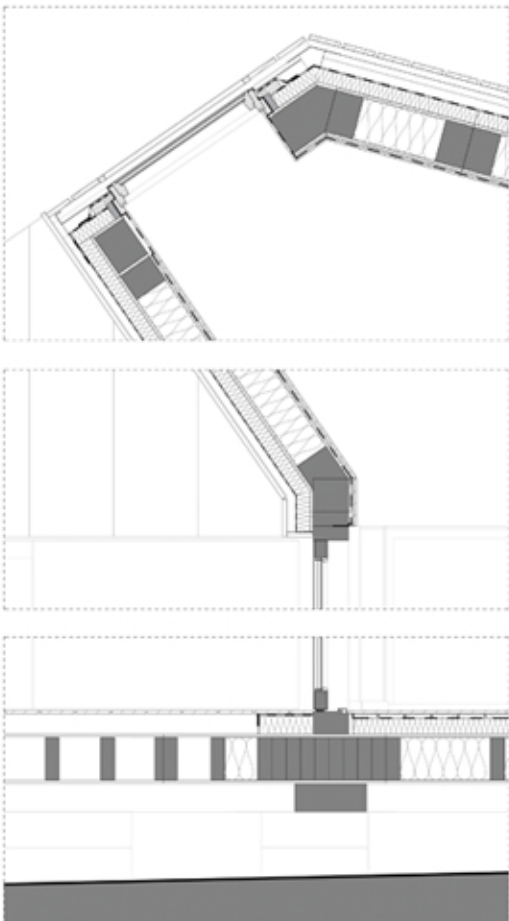
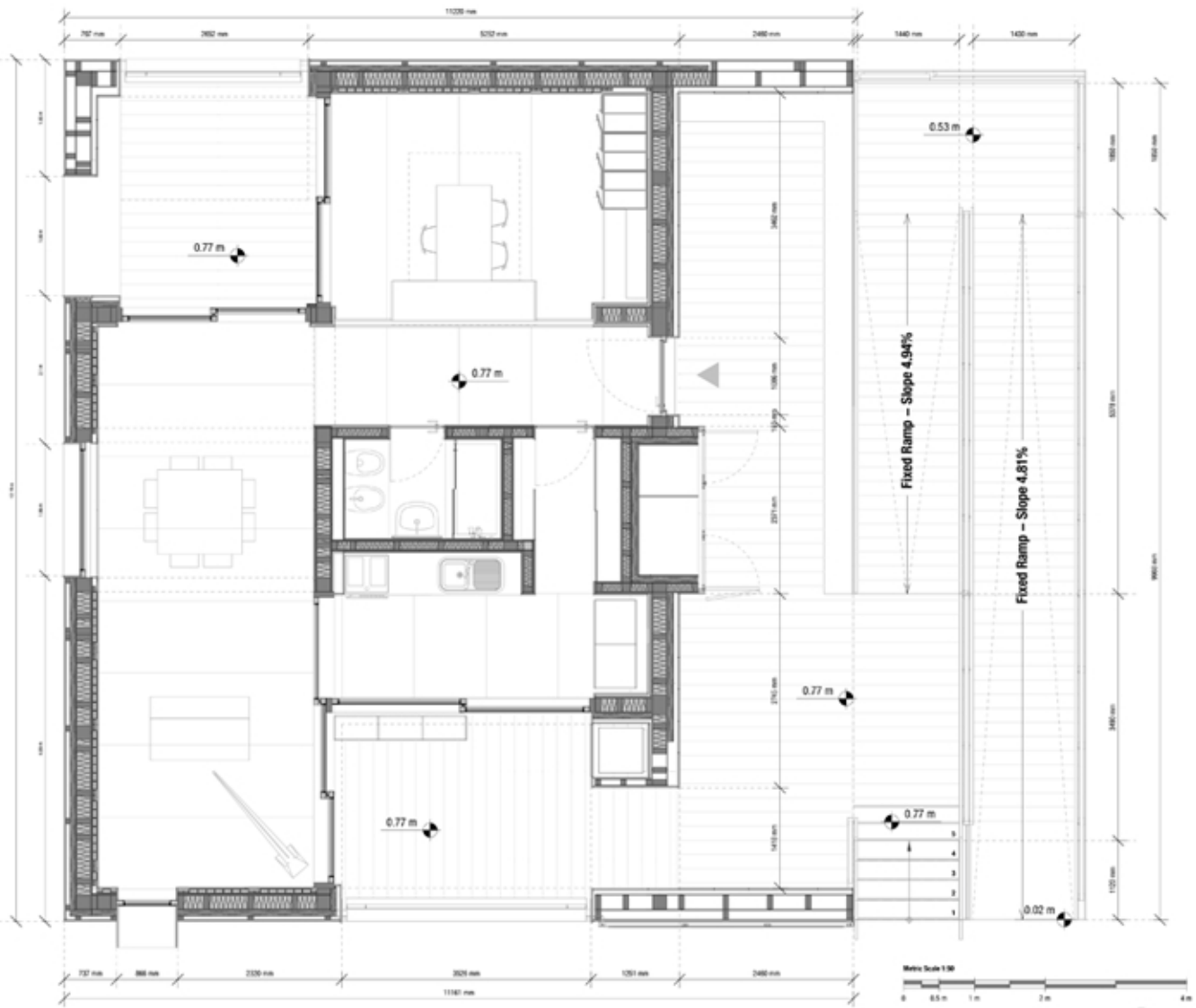
RhO  E  
for denCity

---



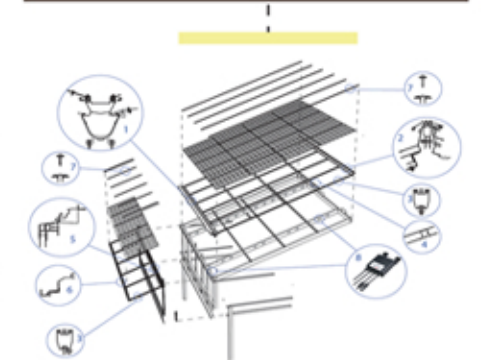
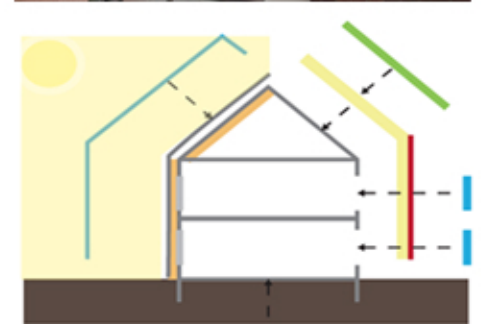
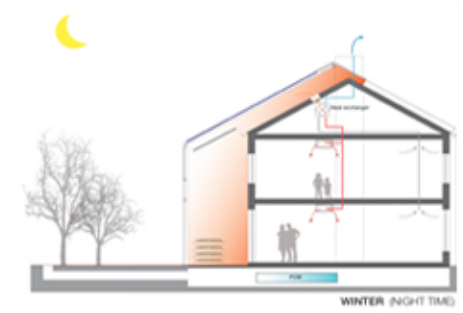
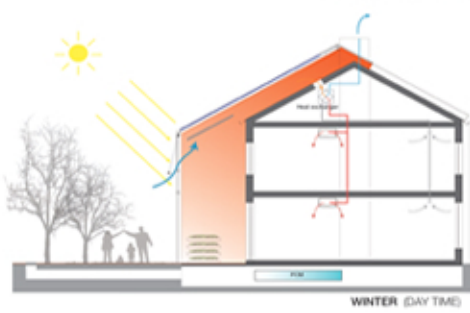
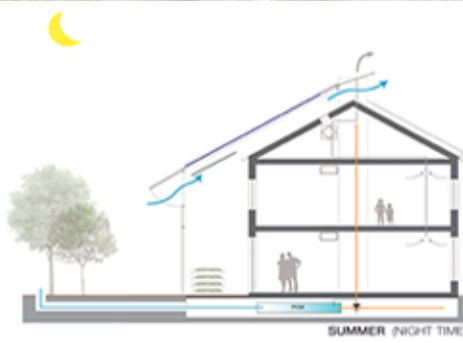
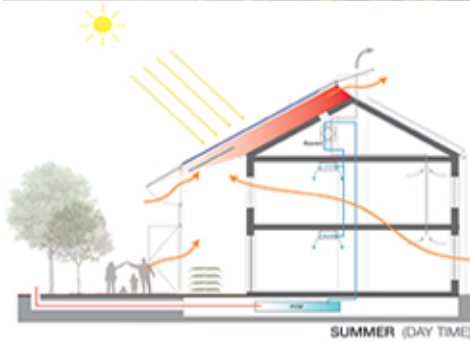
- Canopea
- Patio 2.0
- Prêt à Loger
- Rhyme for denCity



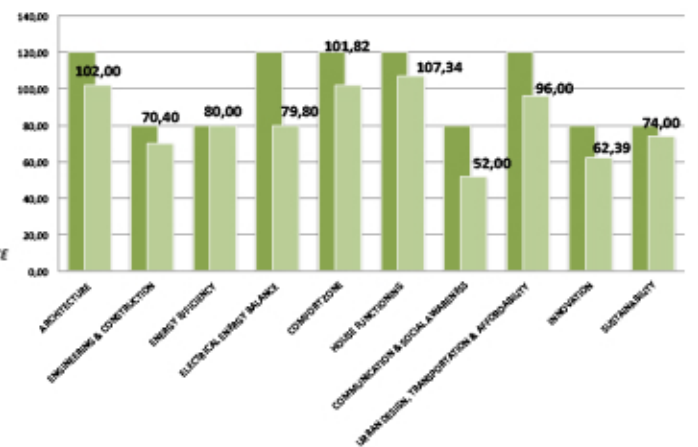
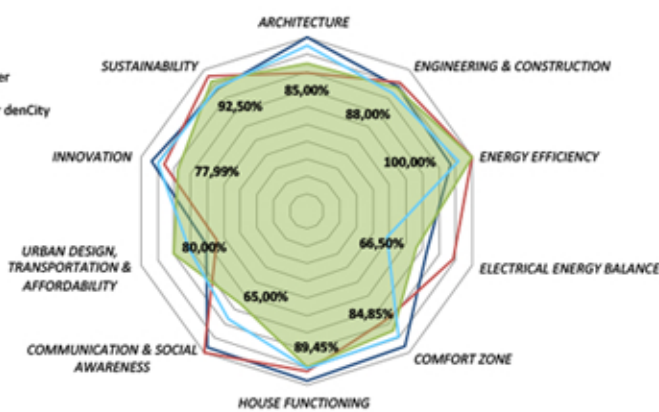


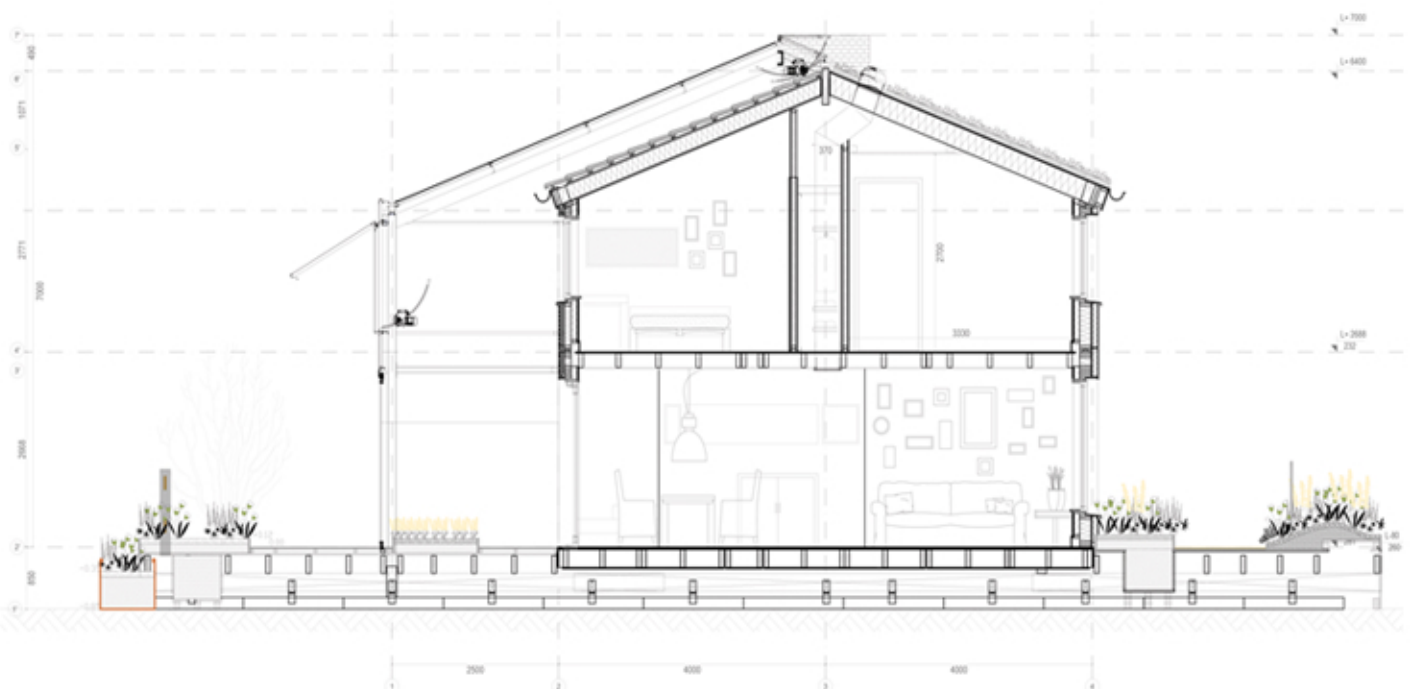
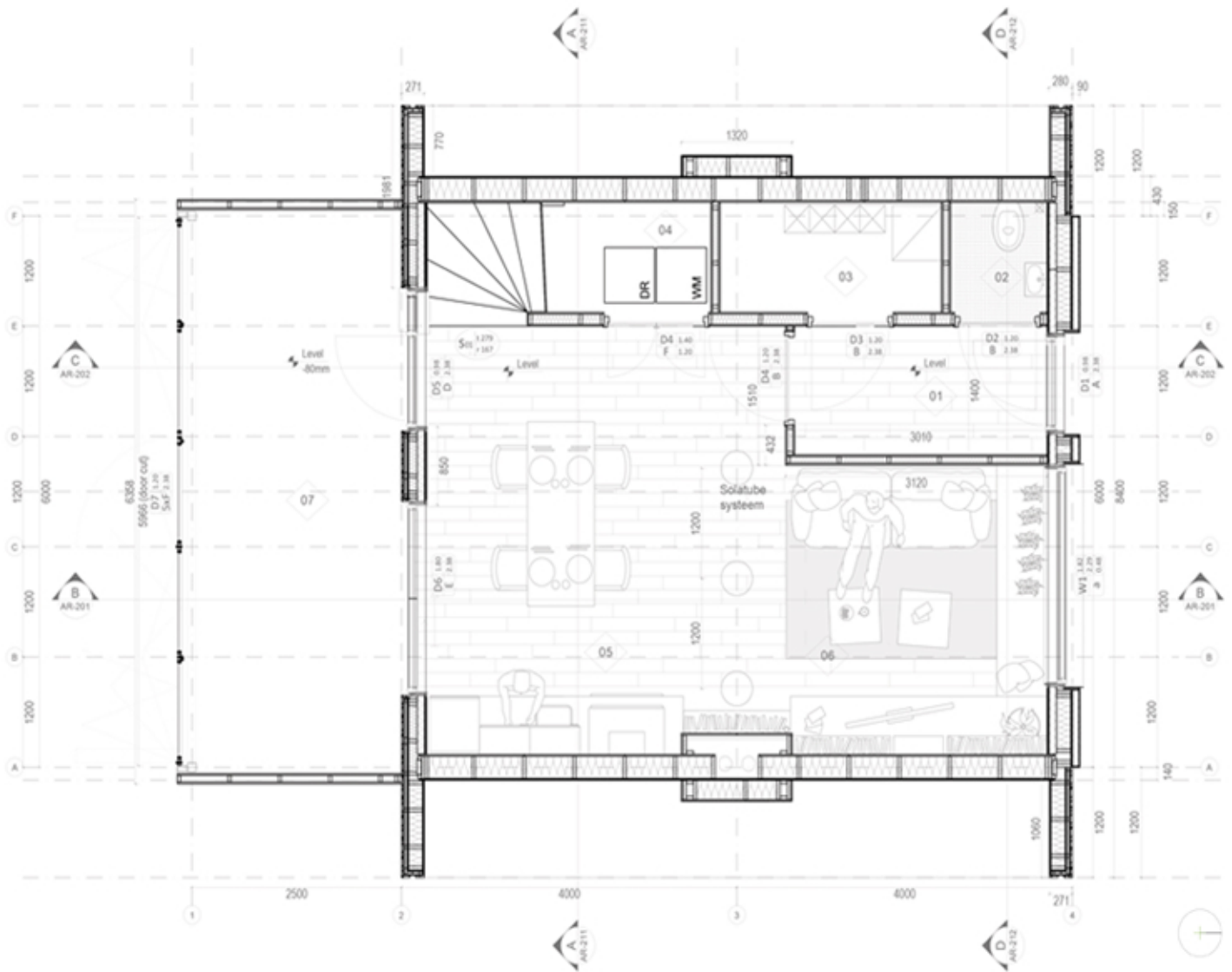






- Canopea
- Patio 2.0
- Prêt à Loger
- Rhome for denCity









## INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 – Archetipi di architetture bioclimatiche; da sinistra, clima temperato, clima caldo secco, clima caldo umido, clima freddo. ....	4
Fig. 2 – Diagramma psicrometrico con le zone di comfort suggerite dall'ASHRAE. ....	10
Fig. 3 – Schema del modello adattivo di Auliciems. ....	12
Fig. 4 – Solar Envelope americana (2015), a sinistra, ed europea (2014) a destra. ....	32
Fig. 5 – Sintesi del processo di analisi ....	34
Fig. 6 - Team Germany, prospetti sud e ovest. ....	35
Fig. 7 - Team Germany, pianta arredata del piano. ....	36
Fig. 8 - Gable House, vista dei prospetti sud ed ovest. ....	37
Fig. 9 - Gable House, Pianta arredata. ....	38
Fig. 10 – WaterShed, vista dei prospetti sud e ovest. ....	38
Fig. 11 – WaterShed, pianta arredata. ....	39
Fig. 12 – INhome, vista del prospetto sud. ....	40
Fig. 13 – INhome, pianta arredata. ....	41
Fig. 14 – Canopea, vista dei prospetti sud e ovest. ....	42
Fig. 15 – Canopea, pianta arredata. ....	43
Fig. 16 – Patio 2.12, vista dei prospetti sud e ovest. ....	44
Fig. 17 – Patio 2.12, pianta arredata. ....	45
Fig. 18 – Lisi, vista dei prospetti sud ed est ....	46
Fig. 19 – Lisi, pianta arredata. ....	47
Fig. 20 – DesertSol, vista del prospetto sud. ....	47
Fig. 21 – DesertSol, pianta arredata. ....	48
Fig. 22 – Rhome for denCity, vista dei prospetti sud ed est. ....	49
Fig. 23 – Rhome for denCity, pianta arredata. ....	50
Fig. 24 – Prêt à Loger, vista dei prospetti sud ed est. ....	51
Fig. 25 - Prêt à Loger, pianta del piano terra e del primo piano. ....	52
Fig. 26 – Matrice 3D per l'analisi comparativa tra i casi di studio ....	59
Fig. 27 – Diagramma bioclimatico di Victor Olgyay con il clima relativo alla città di Alessandria, Egitto. ....	64
Fig. 28 – Diagramma bioclimatico Givoni-Milne. ....	65
Fig. 29 – Diagramma bioclimatico del software Climate Consultant per la città di Bolzano. ....	67
Fig. 30 – Influenza della pendenza di un pendio sulla distanza minima per evitare fenomeni di ombre portate. ....	68
Fig. 31 – Soleggiamento stagionale alle latitudini italiane. ....	69
Fig. 32 – Esempio di geometrie solide equivalenti ma con 'area superficiale differente. ....	70
Fig. 33 – Confronto tra compattezza delle geometrie: Team Germany, altamente compatto, e DesertSol, più articolato. ....	70
Fig. 34 – Effetti del vento in rapporto all'altezza del tetto. ....	71
Fig. 35 – Effetti del vento in rapporto all'altezza e alla profondità dell'edificio. ....	71
Fig. 36 – Lisi, esempio di configurazione a pianta aperta nel contest Solar Decathlon. ....	74
Fig. 37 – Stratigrafia di chiusura in legno: a sinistra costruzione massiccia, a destra costruzione leggera. ....	75
Fig. 38 – Chiusura verticale, Canopea: sistema a parete massiccia. ....	76

Fig. 39 – Chiusura verticale, Rhome for DenCity: sistema a parete intelaiata. ....	77
Fig. 40 – A sinistra: schema della composizione dell’involucro, Prêt à Loger, Delft University of Technology. A destra: dettaglio costruttivo dell’attacco a terra, Lisi, Vien University of Technology. ....	80
Fig. 41 – A sinistra: principio di funzionamento della serra solare di Prêt à Loger, Delft University of Technology. A destra: vista dall’interno del piano superiore del progetto Canopea, Team Rhone-Alpes. ....	82
Fig. 42 – Soluzione tecnologica delle chiusure verticali del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3. ....	83
Fig. 43 – A sinistra: effetto evaporativo della facciata e vasca esterna. A destra: vista dall’interno del patio con la vasca interna e delle lamelle movibili, Patio 2.12, Team Andalusia. ....	85
Fig. 44 – A sinistra: l’imbotte del serramento, la schermatura fotovoltaica riconfigurabile e l’oggetto in copertura del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3. A destra: lamelle in legno orizzontale e pareti verdi del progetto WaterShed, University of Maryland. ..	87
Fig. 45 – A sinistra: schermatura a lamelle orizzontali fotovoltaica, Team Germany, University of Darmstad. In alto a destra: oggetto verticale integrato con solare termico, WaterShed, University of Maryland. In basso a destra: BIPV mobile dello spazio serra, di Prêt à Loger, Delft University. ....	88
Fig. 46 – A sinistra: tende esterne e avvolgibile orizzontale del progetto Lisi, Vien University of Technology. A destra: scorrevoli a rete metallica, DesertSol, University of Nevada.....	89
Fig. 47 – A sinistra: la soluzione a lamelle orientabili del progetto Canopea, Team Rhone-Alpes. A destra: analisi fluidodinamica della distribuzione interna dei flussi d’aria del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3. ....	91
Fig. 48 – A sinistra: schema del comportamento passivo del progetto Rhome for denCity, Università degli Studi Roma3. In alto a destra, schema dell’effetto camino nel progetto INhome, Team Purdue. In basso a destra: schema di funzionamento del camino solare del progetto Patio 2.12, Team Andalusia. ....	92
Fig. 49 –Pianta piano terra e piano del modello architettonico. ....	99
Fig. 50 –Sezioni del modello architettonico (pagina successiva).....	99
Fig. 51 – Gerarchia di selezione dati nel software Design Builder. ....	103
Fig. 52 – Finestra “layout” del modello realizzato in Design Builder; a sinistra, i diversi livelli gerarchici.....	105
Fig. 53 – Finestra “attività” del modello realizzato in Design Builder. A destra gli schedules. ....	106
Fig. 54 – Finestra “costruzione” del modello realizzato in Design Builder; a destra le soluzioni tecnologiche con le relative caratteristiche. ....	108
Fig. 55 – Finestra “aperture” del modello realizzato in Design Builder; a destra le soluzioni tecnologiche con le relative caratteristiche. ....	111
Fig. 56 – Finestra “HVAC” del modello realizzato in Design Builder; a destra i templates d’impianto. ....	113

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti di applicabilità dei parametri ambientali e personali del PMV. ....	9
Tabella 2 – Valori che definiscono la zona di comfort suggeriti dall'ASHRAE. ....	10
Tabella 3 – Numero di partecipanti a tutte le edizioni di Solar Decathlon. ....	17
Tabella 4 – Confronto tra i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon americano. ....	23
Tabella 5 – Confronto tra i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon Europe. ....	30
Tabella 6 - Riassunto comparativo tra i punteggi ottenuti dai progetti di Solar Decathlon americano.....	54
Tabella 7 - Riassunto comparativo tra i punteggi ottenuti dai progetti di Solar Decathlon Europe .....	55
Tabella 8 – Comparazione tra i punteggi conseguiti nei differenti contest. ....	56
Tabella 9 – Piano XY – Analisi del progetto Patio 2.12, Andalusia Team .....	62
Tabella 10 – Caratteristiche generali del modello architettonico di base. ....	96
Tabella 11 – Distribuzione superfici d'involucro.....	97
Tabella 12 – Dati relativi all'occupazione e ai contributi interni. ....	106
Tabella 13 – Caratteristiche delle chiusure verticali opache.....	108
Tabella 14 – Caratteristiche della chiusura orizzontale controterra.....	109
Tabella 15 – Caratteristiche della chiusura orizzontale di copertura. ....	109
Tabella 16 – Caratteristiche della partizione orizzontale interna.....	109
Tabella 17 – Caratteristiche dei serramenti utilizzati nel modello base. ....	112
Tabella 18 – Settaggi relativi alla ventilazione naturale.....	114
Tabella 19 – Risultati del confronto UNI TS 11300-1 e Design Builder nel giorno di progetto invernale.....	118
Tabella 20 – Risultati del confronto UNI TS 11300-1 e Design Builder sulla stagione di riscaldamento. ....	119
Tabella 21 - Caratteristiche medie dell'involucro in funzione dello spessore di isolante termico. ....	126
Tabella 22 - Composizione e caratteristiche delle chiusure verticali in esame .....	128
Tabella 23 - Composizione e caratteristiche delle soluzioni di copertura in esame.....	129
Tabella 24 - Composizione e caratteristiche delle chiusure contro terra in esame. ....	129
Tabella 25 - Caratteristiche medie dell'involucro nelle diverse configurazioni supposte.....	130
Tabella 26 - Proprietà dei vetri presi in esame. ....	131
Tabella 27 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello I.OX. ....	136
Tabella 28 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello O.OX.....	150
Tabella 29 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello A.OX.....	155
Tabella 30 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello S.OX .....	162
Tabella 31 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello OS.OX.....	167
Tabella 32 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello TV.OX.....	172
Tabella 33 - Sintesi delle caratteristiche delle varianti di modello TT.OX .....	177
Tabella 34 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2002 .....	I
Tabella 35 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2005. ....	II
Tabella 36 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2007. ....	II
Tabella 37 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2009. ....	III
Tabella 38 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2011 .....	IV

Tabella 39 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2013 .....	IV
Tabella 40 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2010. ....	V
Tabella 41 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2012. ....	VI
Tabella 42 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2014 .....	VII
Tabella 43 – Partecipanti all'edizione Solar Decathlon China 2013.....	VIII
Tabella 44 - Confronto i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon americano. ....	IX
Tabella 45 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2009 .....	IX
Tabella 46 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2011. ....	X
Tabella 47 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2013. ....	X
Tabella 48 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon Europe edizione 2012. ....	XI
Tabella 49 – Estratto dal regolamento Solar Decathlon Europe edizione 2014. ....	XII
Tabella 50 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon China 2013.....	XIII
Tabella 51 - Piano XY – Analisi del progetto Team Germany, University of Darmstad .....	XVII
Tabella 52 - Analisi del progetto Gable House, University od Illinois .....	XIX
Tabella 53 - Piano XY – Analisi del progetto WaterShed, University of Maryland .....	XXI
Tabella 54 - Piano XY – Analisi del progetto INhome, Purdue University .....	XXIII
Tabella 55 - Analisi del progetto Canopea, University of Grenoble .....	XXVII
Tabella 56 - Analisi del progetto Patio 2.0, Andalusia Team .....	XXXI
Tabella 57 - Analisi del progetto Lisi The House, Team Austria.....	XXXIII
Tabella 58 - Analisi del progetto DesertSol. University of Las Vegas .....	XXXV
Tabella 59 - Analisi del progetto Rhome for DenCity, Università degli Studi di Roma Tre ....	XXXIX
Tabella 60 - Analisi del progetto Prêt à Loger, University of Delft .....	XLIII
Tabella 61 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per ottenere ventilazione naturale .....	XLV
Tabella 62 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per regolare gli apporti solari .....	XLVII
Tabella 63 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate in materia di accumulo .....	XLIX
Tabella 64 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio.....	LIII
Tabella 65 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare il comfort termoigrometrico .....	LV
Tabella 66 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare il comfort acustico interno .....	LVII
Tabella 67 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per massimizzare la flessibilità degli spazi interni.....	LIX
Tabella 68 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per rendere modulare le parti del progetto.....	LXI
Tabella 69 - Piano XZ – Comparazione delle innovazioni adottate dai team .....	LXIII
Tabella 70 - Piano XZ – Comparazione delle strategie di sostenibilità .....	LXV
Tabella 71 - Piano YZ – Comparazione tra scelte morfologiche con valutazione degli effetti connessi.....	LXIX
Tabella 72 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure verticali opache.....	LXXIII
Tabella 73 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure verticali trasparenti e sistemi di oscuramento .....	LXXVII

Tabella 74 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure orizzontali .....	LXXXI
Tabella 75 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di ventilazione meccanica .....	LXXXIII
Tabella 76 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di ventilazione meccanica .....	LXXXV
Tabella 77 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di climatizzazione invernale .....	LXXXVII
Tabella 78 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto fotovoltaico .....	LXXXIX
Tabella 79 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto solare termico.....	XCI
Tabella 80 - Piano YZ - Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto idrico.....	XCIII

## INDICE DEI GRAFICI

Grafico 1 – Distribuzione superfici opache e trasparenti.....	98
Grafico 2 - Trasmittanza termica media e capacità termica interna media per le diverse configurazioni d'involucro.....	131
Grafico 3 - Andamento dei valori medi mensili di temperatura esterna di bulbo secco nelle città in esame.....	132
Grafico 4 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Bolzano.....	133
Grafico 5 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Roma.....	134
Grafico 6 - Andamento della radiazione solare diretta e diffusa, Palermo.....	134
Grafico 7 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Bolzano.....	136
Grafico 8 - Andamento della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.....	137
Grafico 9 - Andamento della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano.....	137
Grafico 10 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Bolzano.....	138
Grafico 11 - Andamento dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.....	138
Grafico 12 - Andamento dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano.....	139
Grafico 13 - Andamento annuale delle medie giornaliere delle differenze di temperatura interno-esterno per le varianti I.OX, Bolzano.....	140
Grafico 14 - Andamento delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, periodo invernale, Bolzano.....	140
Grafico 15 - Andamento delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, periodo estivo, Bolzano.....	141
Grafico 16 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano.....	142

Grafico 17 – GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano. ....	142
Grafico 18 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano. ....	143
Grafico 19 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano. ....	143
Grafico 20 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano. ....	144
Grafico 21 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro, Bolzano. ....	144
Grafico 22 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Roma. ....	146
Grafico 23 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti I.OX, Palemo. ....	146
Grafico 24 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Roma. ....	147
Grafico 25 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti I.OX, Palermo. ....	148
Grafico 26 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro. ....	148
Grafico 27 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro. ....	149
<i>Grafico 28 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.OX, Bolzano. ....</i>	<i>150</i>
Grafico 29 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.OX, Roma. ....	151
Grafico 30 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti O.OX, Palermo. ....	151
Grafico 31 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.OX, Bolzano. ....	152
Grafico 32 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.OX, Roma. ....	152
Grafico 33 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti O.OX, Palermo. ....	153
Grafico 34 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale. ....	153
Grafico 35 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale. ....	154
Grafico 36 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.OX, Bolzano. ....	155
Grafico 37 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.OX, Roma. ....	156
Grafico 38 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti A.OX, Palermo. ....	156
Grafico 39 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.OX, Bolzano. ....	157

Grafico 40 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.OX, Roma. ....	157
Grafico 41 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti A.OX, Palermo. ....	158
Grafico 42 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache. ....	159
Grafico 43 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache. ....	159
Grafico 44 - $\gamma$ medi su periodo di riscaldamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache. ....	160
Grafico 45 - $\gamma$ medi su periodo di raffrescamento in funzione del rapporto tra superfici trasparenti e opache. ....	160
Grafico 46 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.OX, Bolzano. ....	162
Grafico 47 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.OX, Roma. ....	163
Grafico 48 - Andamento invernale della temperatura operante media giornaliera per le varianti S.OX, Palermo. ....	163
Grafico 49 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.OX, Bolzano. ....	164
Grafico 50 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.OX, Roma. ....	164
Grafico 51 - Andamento invernale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti S.OX, Palermo. ....	165
Grafico 52 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est. ....	165
Grafico 53 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest. ....	166
Grafico 54 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.OX, Bolzano. ....	167
Grafico 55 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.OX, Roma. ....	168
Grafico 56 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti OS.OX, Palermo. ....	168
Grafico 57 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.OX, Bolzano. ....	169
Grafico 58 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.OX, Roma. ....	169
Grafico 59 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti OS.OX, Palermo. ....	170
Grafico 60 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati. ....	170
Grafico 61 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati. ....	171
Grafico 62 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.OX, Bolzano. ....	172



Grafico 63 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.0X, Roma. ....	172
Grafico 64 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TV.0X, Palermo. ....	173
Grafico 65 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Bolzano.....	174
Grafico 66 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Roma. ....	174
Grafico 67 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TV.0X, Palermo. ....	175
Grafico 68 - GhD totali su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati. ....	175
Grafico 69 - GhD totali su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati. ....	176
Grafico 70 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.0X, Bolzano. ....	177
Grafico 71 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.0X, Roma.....	178
Grafico 72 - Andamento annuale della temperatura operante media giornaliera per le varianti TT.0X, Palermo.....	178
Grafico 73 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.0X, Bolzano.....	179
Grafico 74 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.0X, Roma. ....	179
Grafico 75 - Andamento annuale dei gradi ora di discomfort giornalieri per le varianti TT.0X, Palermo. ....	180
Grafico 76 – Differenza di temperatura media tra interno ed esterno su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia costruttiva.....	181
Grafico 77 – Differenza di temperatura media tra interno ed esterno su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia costruttiva.....	181
Grafico 78 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.0X, Palermo. ....	182
Grafico 79 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.0X, Palermo. ....	182
Grafico 80 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.0X, Roma. ....	I
Grafico 81 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.0X, Palermo. ....	I
Grafico 82 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro.....	II
Grafico 83 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro.....	II
Grafico 84 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro. ....	III
Grafico 85 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro. ....	III

Grafico 86 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.OX, Bolzano.....	IV
Grafico 87 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.OX, Roma .....	IV
Grafico 88 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.OX, Palermo.....	V
Grafico 89 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale.....	V
Grafico 90 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale.....	VI
Grafico 91 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale.....	VI
Grafico 92 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale.....	VII
Grafico 93 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Bolzano.....	VII
Grafico 94 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Roma .....	VIII
Grafico 95 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Palermo .....	VIII
Grafico 96 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro.....	IX
Grafico 97 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro.....	IX
Grafico 98 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro.....	X
Grafico 99 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro.....	X
Grafico 100 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Bolzano .....	XI
Grafico 101 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Roma.....	XI
Grafico 102 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Palermo.....	XII
Grafico 103 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est .....	XII
Grafico 104 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest.....	XIII
Grafico 105 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est .....	XIII
Grafico 106 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest.....	XIV
Grafico 107 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.OX, Bolzano .....	XIV
Grafico 108 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.OX, Roma .....	XV

Grafico 109 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.OX, Palermo .....	XV
Grafico 110 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati.....	XVI
Grafico 111 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati.....	XVI
Grafico 112 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati .....	XVII
Grafico 113 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati .....	XVII
Grafico 114 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.OX, Bolzano .....	XVIII
Grafico 115 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.OX, Roma .....	XVIII
Grafico 116 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.OX, Palermo .....	XIX
Grafico 117 - $\Delta T$ medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati .....	XIX
Grafico 118 - $\Delta T$ medi su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati .....	XX
Grafico 119 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati .....	XX
Grafico 120 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati .....	XXI
Grafico 121 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Bolzano .....	XXI
Grafico 122 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Roma.....	XXII
Grafico 123 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Palermo.....	XXII
Grafico 124 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Bolzano .....	XXIII
Grafico 125 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Bolzano .....	XXIII
Grafico 126 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Roma. ....	XXIV
Grafico 127 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Roma. ....	XXIV

## ALLEGATO A:

### LISTE DEI PARTECIPANTI A TUTTE LE EDIZIONI DI SD

#### *Solar Decathlon: Washington DC, 2002.*

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	University of Colorado	University of Colorado	U.S.A.
2	University of Virginia	University of Virginia	U.S.A.
3	Auburn University	Auburn University	U.S.A.
4	University of Maryland	University of Maryland	U.S.A.
5	Virginia Polytechnical Institute and State University	Virginia Polytechnical Institute and State University	U.S.A.
6	Crowder College	Crowder College	U.S.A.
7	University of Puerto Rico	University of Puerto Rico	Porto Rico
8	University of Texas at Austin	University of Texas at Austin	U.S.A.
9	University of Missouri-Rolla	University of Missouri-Rolla	U.S.A.
10	University of Delaware	University of Delaware	U.S.A.
11	Tuskegee University	Tuskegee University	U.S.A.
12	Carnegie Mellon	Carnegie Mellon	U.S.A.
13	University of North Carolina at Charlotte	University of North Carolina at Charlotte	U.S.A.
14	Texas A&M University	Texas A&M University	U.S.A.

*Tabella 34 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2002*

#### *Solar Decathlon: Washington DC, 2005.*

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	University of Colorado	University of Colorado	U.S.A.
1	University of Colorado	University of Colorado	U.S.A.
2	Cornell University	Cornell University	U.S.A.
3	California Polytechnic State University	California Polytechnic State University	U.S.A.
4	Virginia Polytechnic Institute and State University	Virginia Polytechnic Institute and State University	U.S.A.
5	New York Institute of Technology	New York Institute of Technology	U.S.A.
6	University of Texas at Austin	University of Texas at Austin	U.S.A.
7	University of Missouri-Rolla	University of Missouri-Rolla and Rolla Technical Institute	U.S.A.
8	University of Maryland	University of Maryland	U.S.A.
9	Universidad Politécnica de Madrid	Universidad Politécnica de Madrid	Spagna
10	Pittsburgh Synergy	Carnegie Mellon, University of Pittsburgh, The Art Institute of Pittsburgh	U.S.A.
11	Universidad de Puerto Rico	Universidad de Puerto Rico	Porto Rico
12	Crowder College	Crowder College	U.S.A.

13	Florida International University	Florida International University	U.S.A.
14	Team Canada	Concordia University and Université de Montréal	Canada
15	Washington State University	Washington State University	U.S.A.
16	Rhode Island School of Design	Rhode Island School of Design	U.S.A.
17	University of Michigan	University of Michigan	U.S.A.
18	University of Massachusetts Dartmouth	University of Massachusetts Dartmouth	U.S.A.

*Tabella 35 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2005.*

**Solar Decathlon: Washington DC, 2007.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Darmstadt	Technische Universität Darmstadt	Germania
2	Maryland	University of Maryland	U.S.A.
3	Santa Clara	Santa Clara University	U.S.A.
4	Penn State	Penn State	U.S.A.
5	Madrid	Universidad Politécnica de Madrid	Spagna
6	Georgia Tech	Georgia Institute of Technology	U.S.A.
7	Colorado	University of Colorado at Boulder	U.S.A.
8	Montreal	École de Technologie Supérieure, Université de Montréal, McGill University	Canada
9	Illinois	University of Illinois at Urbana-Champaign	U.S.A.
10	Missouri-Rolla	University of Missouri-Rolla	U.S.A.
11	Texas	University of Texas at Austin	U.S.A.
12	NYIT	New York Institute of Technology	U.S.A.
13	Cincinnati	University of Cincinnati	U.S.A.
14	Carnegie Mellon	Carnegie Mellon University	U.S.A.
15	MIT	Massachusetts Institute of Technology	U.S.A.
16	Puerto Rico	Universidad de Puerto Rico	Porto Rico
17	Texas A&M	Texas A&M University	U.S.A.
18	Kansas	Kansas State University and University of Kansas	U.S.A.
19	Cornell	Cornell University	U.S.A.
20	Lawrence Tech	Lawrence Technological University	U.S.A.

*Tabella 36 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2007.*

**Solar Decathlon: Washington DC, 2009.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Team Germany	Technische Universität Darmstadt	Germania
2	Illinois	University of Illinois at Urbana-Champaign	U.S.A.
3	Team California	Santa Clara University, California College of the Arts	U.S.A.
4	Team Ontario-BC	University of Waterloo, Ryerson University, Simon Fraser University	Canada
5	Minnesota	University of Minnesota	U.S.A.
6	Team Alberta	University of Calgary, SAIT Polytechnic, Alberta College of Art + Design, Mount Royal College	U.S.A.
7	Cornell	Cornell University	U.S.A.
8	Rice	Rice University	U.S.A.
9	Kentucky	University of Kentucky	U.S.A.
10	Ohio State	The Ohio State University	U.S.A.
11	Team Missouri	Missouri University of Science and Technology, University of Missouri	U.S.A.
12	Iowa State	Iowa State University	U.S.A.
13	Virginia Tech	Virginia_Tech	U.S.A.
14	Team Spain	Universidad Politécnica de Madrid	Spagna
15	Team Boston	Boston Architectural College, Tufts University	U.S.A.
16	Penn State	Penn_State	U.S.A.
17	Puerto Rico	Universidad de Puerto Rico	Porto Rico
18	Arizona	The University of Arizona	U.S.A.
19	University of Louisiana	University_of_Louisiana	U.S.A.
20	WI-Milwaukee	University of Wisconsin-Milwaukee	U.S.A.

*Tabella 37 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2009.***Solar Decathlon: Washington DC, 2011.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Maryland	University of Maryland	U.S.A.
2	Purdue	Purdue University	U.S.A.
3	New Zealand	Victoria University of Wellington	New Zealand
4	Middlebury College	Middlebury College	U.S.A.
5	Ohio State	The Ohio State University	U.S.A.
6	SCI-Arc/Caltech	The Southern California Institute of Architecture and California Institute of Technology	U.S.A.
7	Illinois	University of Illinois at Urbana-Champaign	U.S.A.
8	Tennessee	The University of Tennessee	U.S.A.
9	Team Massachusetts	Massachusetts College of Art and Design and the University of Massachusetts at Lowell	U.S.A.
10	Team Canada	University of Calgary	Canada
11	Florida Int'l	Florida International University	U.S.A.

12	Appalachian State	Appalachian State University	U.S.A.
13	Parsons NS Stevens	Parsons The New School for Design and Stevens Institute of Technology	U.S.A.
14	Tidewater Virginia	Old Dominion University and Hampton University	U.S.A.
15	Team China	Tongji University	Cina
16	Team Belgium	Ghent University	Belgio
17	Team New York	The City College of New York	U.S.A.
18	Team New Jersey	Rutgers - The State University of New Jersey and New Jersey Institute of Technology	U.S.A.
19	Team Florida	The University of South Florida, Florida State University, The University of Central Florida, and The University of Florida	U.S.A.

*Tabella 38 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2011*

**Solar Decathlon: Irvine, 2013.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Team Austria	Vienna University of Technology	Austria
2	Las Vegas	University of Nevada Las Vegas	U.S.A.
3	Czech Republic	Czech Technical University	Repubblica Ceca
4	Stevens	Stevens Institute of Technology	U.S.A.
5	Stanford	Stanford University	U.S.A.
6	Team Ontario	Queen's University, Carleton University, and Algonquin College	U.S.A.
7	Team Capitol DC	The Catholic University of America, George Washington University, and American University	U.S.A.
8	Middlebury College	Middlebury College	U.S.A.
9	Team Alberta	University of Calgary	Canada
10	U of So Cal	University of Southern California	U.S.A.
11	Santa Clara	Santa Clara University	U.S.A.
12	Norwich	Norwich University	U.S.A.
13	North Carolina	The University of North Carolina at Charlotte	U.S.A.
14	SCI-Arc/Caltech	The Southern California Institute of Architecture and California Institute of Technology	U.S.A.
15	Kentucky/Indiana	University of Louisville, Ball State University and University of Kentucky	U.S.A.
16	Missouri S&T	Missouri University of Science and Technology	U.S.A.
17	AZ State/New Mexico	Arizona State University and The University of New Mexico	U.S.A.
18	Team Texas	The University of Texas at El Paso and El Paso Community College	U.S.A.
19	West Virginia	West Virginia University	U.S.A.

*Tabella 39 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon 2013*

**Solar Decathlon Europe: Madrid, 2010.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Virginia Polytechnic Institute & State University	Virginia Polytechnic Institute & State University	U.S.A.
2	University of Applied Sciences Rosenheim	University of Applied Sciences Rosenheim	Germania
3	Stuttgart University of Applied Sciences	Stuttgart University of Applied Sciences	Germania
4	Ecole National Supérieure d'architecture de Grenoble	Ecole National Supérieure d'architecture de Grenoble	Francia
5	Helsinki University of Technology	Helsinki University of Technology	Finlandia
6	Bergische Universität Wuppertal	Bergische Universität Wuppertal	Germania
7	Arts et Métiers Paris Tech	Arts et Métiers Paris Tech	Francia
8	University of Florida	University of Florida	U.S.A.
9	Universidad CEU Cardenal Herrera	Universidad CEU Cardenal Herrera	Spagna
10	Fachhochschule fur Technik und Wirtschaft Berlin	Fachhochschule fur Technik und Wirtschaft Berlin	Germania
11	Tongji	Tongji University	Cina
12	Universidad de Sevilla	Universidad de Sevilla	Spagna
13	Universidad Politécnica de Cataluña	Universidad Politécnica de Cataluña	Spagna
14	Universidad de Valladolid	Universidad de Valladolid	Spagna
15	University of Nottingham	University of Nottingham	Inghilterra
16	Tianjin University	Tianjin University	Cina
17	Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña	Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña	Spagna

*Tabella 40 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2010.***Solar Decathlon Europe: Madrid, 2012.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Rhône-Alpes	Universities of Grenoble, Lyon and Savoy.	Francia
2	Andalucia Team	Universities of Seville, Granada, Malaga and Jaén	Spagna
3	Med in Italy	Università degli Studi Roma3, La Sapienza Università di Roma	Italia
4	Ecolar Home	University of Applied Science Constance	Germania
5	RWTH Aachen University	Aachen University	Germania
6	Odo	Bergische Universität Wuppertal	Germania
7	SMLsystem	Budapest University of Technology and Economics	Ungheria



8	(e)co	ETSAV UPC University	Spagna
9	Prispa	The Technical University of Civil Engineering of Bucharest, "Ion Mincu" University of Architecture and Urbanism in Bucharest, University Politehnica of Bucharest	Romania
10	Fold	Technical University of Denmark	Danimarca
11	Para Eco-House	Tongji University	Cina
12	Ekihouse	Universidad del País Vasco	Spagna
13	Sumbiosi	Arts et Métiers Paris Tech, Institute of Mechanical Engineering of Bordeaux, Technological Resources Center Nobatek	Francia
14	Ekó House	Universidade Federal de Santa Catarina and Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte and Instituto Federal de Santa Catarina	Brasile
15	Omotenashi House	Chiba University	Giappone
16	Cem' casas em movimento	Università di Porto.	Portogallo
17	Astonyshine	Politecnico di Bari, Università di Ferrara, L'École Nationale Supérieure d'Architecture Paris–Malaquais, l'École des Ponts Paris Tech	Francia/Italia
18	Casa pi Unizar	Universidad de Zaragoza	Spagna

Tabella 41 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2012.

#### **Solar Decathlon Europe: Versailles, 2014.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	ROME Rhome for DenCity	Università degli Studi Roma3	Italia
2	Philéas	ENSA Nantes, ESB, Audencia Group, Audencia Nantes, Ecole des Mines Nantes, ISSBA, IUT Nantes, Architectes Ingénieurs Associés, Atlansun, Institut des Matériaux Jean Rouxel, Medico, Novabuild, SAMOA, and SCE	Francia
3	Home with a skin	Delft University of Technology	Olanda
4	RoofTop	University of the Arts Berlin and Technical University of Berlin	Germania
5	Your+	Lucerne University of Applied Sciences and Arts – School of Engineering and Architecture	Svizzera
6	Casa FENIX	Universidad Tecnica Federico Santa Maria – Valparaiso and Université de la Rochelle – Espace Bois de l'IUT	Chile/Francia
7	OnTop	University of Applied Sciences Frankfurt am Main	Germania
8	Embrace	Technical University of Denmark	Danimarca

9	Maison Reciprocity	Université d'Angers and Appalachian State University	Francia/U.S.A.
1	Ressò	Universitat Politècnica de Catalunya	Spagna
1	RenaiHouse	Chiba University	Giappone
1	Orchid House	National Chiao Tung University	Taiwan
1 3	CASA	Universidad Nacional Autonoma de México and the Center of Research in Industrial Design and the School of Engineering and the School of Arts	Messico
1 4	Techstyle Haus	Rhode Island School of Design, Brown University (U.S.A.), and University of Applied Sciences – Erfurt	U.S.A./Germania
1 5	Symbcity	Universisad de Castilla - La Mancha and Universidad de Alcala de Henares	Spagna
1	Tropika	Costa Rica Institute of Technology - Cartago	Costa Rica
1 7	Adaptive House	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Tailandia
1	H Naught	Academy of Architecture and IIT Bombay	India
1 9	EFdeN	Technical University of Civil Engineering Bucharest, University Politehnica of Bucharest, and University of Architecture and Urbanism "Ion Mincu"	Romania
2 0	Liv-Lib'	Université Paris-Est, ENSA Paris Malaquais, ENSA Marne la Vallée, ESTP Paris, Ecole des Ponts Paris Tech, ESIEE Paris, ENSG, and IFSTTAR	Francia

Tabella 42 - Partecipanti all'edizione Solar Decathlon Europe 2014

**Solar Decathlon China: Datong, 2013.**

<b>P</b>	<b>Squadre</b>	<b>Università</b>	<b>Nazionalità</b>
1	Team UOW	University of Wollongong	Australia
2	Team SCUT	South China University of Technology and Huazhong University of Science and Technology	Cina
3	Team Sweden	Chalmers University of Technology	Svezia
4	Team Israel	Tel Aviv University, Shenkar College of Engineering and Design, Neri Bloomfield School of Design and Education, College of Management Academic Studies	Israele
5	Team THU-FIU	Tsinghua University and Florida International University	Cina/U.S.A.
6	Team Xiamen	Xiamen University	Cina
7	Team NUS	National University of Singapore	Singapore

8	Team BE-MA-NY	Polytechnic Institute of New York University, Ghent University, and Worcester Polytechnic Institute (Belgium-United States)	Belgio/U.S.A.
9	Team NJIT-Harbit	New Jersey Institute of Technology and Harbin Institute of Technology	Cina/U.S.A.
10	Team SEU	Southeast University	Cina
11	Team Xaut	Xi'an University of Architecture and Technology	Cina
12	Team SJTU	Shanghai Jiaotong University	Cina
13	Team Green Sun	Inner Mongolia University of Technology	Cina
14	Team SJU	Shandong Jianzhu University	Cina
15	Team BJTU	Beijing Jiaotong University	Cina
16	Team Solar-Home-UTM	Universiti Teknologi Malaysia	Malesia
17	Team IRAN_SUES	Abbaspour University of Technology	Iran
18	Team Alfred and Guilin	Alfred State College and Guilin University of Technology and Alfred University	Cina/U.S.A.
19	Team HelioMet	London Metropolitan University and Guangzhou Academy of Fine Arts	England/Cina

*Tabella 43 – Partecipanti all'edizione Solar Decathlon China 2013.*

## ALLEGATO B:

### I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD AMERICANO

Solar Decathlon 2002		Solar Decathlon 2005		Solar Decathlon 2007	
<i>Decalogo</i>	<i>Punteggio</i>	<i>Decalogo</i>	<i>Punteggio</i>	<i>Decalogo</i>	<i>Punteggio</i>
Design and livability	200	Architecture	200	Architecture	200
Presentation and simulation	100	Dwelling	100	Engineering	150
Graphics and communication	100	Documentation	100	Market Viability	150
Comfort zone	100	Comunication	100	Comunication	100
Refrigeration	100	Comfort zone	100	Comfort zone	100
Hot Water	100	Appliances	100	Appliances	100
Energy balance	100	Hot Water	100	Acqua calda	100
Lighting	100	Lighting	100	Lighting	100
Home business	100	Energy balance	100	Energy balance	100
Getting around	100	Getting around	100	Getting around	100
<b>Totale</b>	<b>1200</b>	<b>Totale</b>	<b>1100</b>	<b>Totale</b>	<b>1200</b>

Tabella 44 - Confronto i dieci contests in diverse edizioni di Solar Decathlon americano.

### Solar Decathlon 2009

#### SECTION III: CONTEST CRITERIA

The Solar Decathlon competition consists of 10 separately scored contests. Each contest contains one or more subcontests. For example, Contest 6: Comfort Zone consists of two separately scored subcontests: Temperature and Humidity. The team with the highest total points at the end of the competition wins. Table 2 shows the competition structure.

Table 2: Competition structure

Contest Number	Subcontest Number	Contest Name	Available Points	Subcontest Name	Available Points	Subcontest Type	Brief Descriptions of Subjective Evaluations and Objective Tasks
1	n/a	Architecture	100	n/a	n/a	Subjective	Architecture Jury evaluates Construction Documents and final constructed project
2	n/a	Market Viability	100	n/a	n/a	Subjective	Market Viability Jury evaluates Construction Documents, Cost Estimate, and final constructed project
3	n/a	Engineering	100	n/a	n/a	Subjective	Engineering Jury evaluates Construction Documents and final constructed project
4	n/a	Lighting Design	75	n/a	n/a	Subjective	Lighting Design Jury evaluates Construction Documents and final constructed project
5	n/a	Communications	75	n/a	n/a	Subjective	Communications Jury evaluates Construction Documents, Final Communications Plan, Web site, and final constructed project
6	6-1	Comfort Zone	100	Temperature	50	Objective   Measured	Keep zone temperature in 72°F – 76°F (22°C – 24°C) range
	6-2			Humidity	50	Objective   Measured	Keep zone relative humidity in 40% – 55% range
7	n/a	Hot Water	100	n/a	n/a	Objective   Task	Deliver 15 gallons of water at average 110°F (43°C) temperature within 10 minutes; 20 water draws during contest week
8	8-1	Appliances	100	Refrigerator	10	Objective   Measured	Keep refrigerator temperature in 34°F – 40°F (1°C - 4°C) range
	8-2			Freezer	10	Objective   Measured	Keep freezer temperature in -20°F – 5°F (-29°C to -15°C) range
	8-3			Clothes Washer	20	Objective   Task	Successfully wash 10 loads of laundry (one load = six bath towels) during contest week
	8-4			Clothes Dryer	40	Objective   Task	Return 10 loads of laundry to their original weight (one load = six bath towels) during contest week
	8-5			Dishwasher	20	Objective   Task	Successfully wash five loads of dishes (one load = six place settings) during contest week
9	9-1	Home Entertainment	100	Cooking	20	Objective   Task	Successfully perform four cooking tasks (one task = vaporize 5 lb of water in less than 2 hours) during contest week
	9-2			Lighting	30	Objective   Measured/Task	C9-2a: Keep work surface @ 50 foot-candles minimum (5 pts), C9-2b: All interior and exterior lights on at full levels at night (25 pts)
	9-3			Dining	10	Subjective	Host two dinner parties for eight people; teams score each other
	9-4			Public Exhibit	35	Objective   Task	Operate TV, computer, and other exhibit devices
	9-5			Home Theater	5	Subjective	Invite neighbors to watch a movie on the home theater system; teams score each other
10	10-1	Net Metering	150	Energy Balance	100	Objective   Measured	Achieve zero net AC energy during contest week
	10-2			Energy Surplus	50	Objective   Measured	Produce surplus net AC energy during contest week; 50 pts for team with max kWh surplus, other teams with surplus get x% of 50 pts, where x is % of max team's kWh
<b>TOTALS</b>			<b>1,000</b>			<b>465 subj. pts   535 obj. pts</b>	<b>Total of five on-site juries</b>

Tabella 45 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2009

## Solar Decathlon 2011

### SECTION III: CONTEST CRITERIA

The Solar Decathlon competition consists of 10 separately scored contests. Each contest contains one or more subcontests. For example, Contest 8: Appliances consists of five separately scored subcontests. The team with the highest total points at the end of the competition wins. Table 2 shows the competition structure.

Table 2: Competition structure

Contest Number	Subcontest Number	Contest Name	Available Points	Subcontest Name	Available Points	Subcontest Type	Brief Description
1	n/a	Architecture <sup>4</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Architecture Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual architecture presentation, and final constructed project
2	n/a	Market Appeal <sup>4</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Market Appeal Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual sales presentation, and final constructed project
3	n/a	Engineering <sup>4</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Engineering Jury reviews and evaluates the drawings, construction specs, energy analysis results and discussion, audiovisual engineering presentation, and final constructed project
4	n/a	Communications	100	n/a	n/a	Juried	Communications Jury reviews and evaluates the Web site, video walkthrough, onsite public exhibit, and public exhibit materials
5	n/a	Affordability	100	n/a	n/a	Juried	Cost estimator reviews the drawings and construction specifications to estimate construction costs
6	6-1	Comfort Zone	100	Temperature	75	Measured   Monitored	Keep zone temperature in 71°F – 76°F (22°C – 24°C) range Keep zone relative humidity below 60%
	6-2			Humidity	25	Measured   Monitored	
7	n/a	Hot Water	100	n/a	n/a	Measured   Task	Deliver 15 gallons of water at average 110°F (43°C) temperature within 10 minutes; 16 water draws during contest week
8	8-1	Appliances	100	Refrigerator	10	Measured   Monitored	Keep refrigerator temperature in 34°F – 40°F (1°C – 4°C) range
	8-2			Freezer	10	Measured   Monitored	Keep freezer temperature in -20°F – 5°F (-29°C to -15°C) range
	8-3			Clothes Washer	20	Measured   Task	Successfully wash 8 loads of laundry (one load = six bath towels) during contest week
	8-4			Clothes Dryer	40	Measured   Task	Return 8 loads of laundry to their original weight (one load = six bath towels) during contest week
	8-5			Dishwasher	20	Measured   Task	Successfully wash five loads of dishes (one load = six place settings) during contest week
9	9-1	Home Entertainment	100	Lighting	40	Measured   Task	All interior and exterior lights on at full levels at night
	9-2			Cooking	20	Measured   Task	Successfully perform four cooking tasks (one task = vaporize 5 lb of water in less than 2 hours) during contest week
	9-3			Dinner Party	10	Juried	Host two dinner parties for up to 8 guests; teams score each other
	9-4			Home Electronics	25	Measured   Task	Operate a TV and computer during specified hours
	9-5			Movie Night	5	Juried	Invite neighbors to watch a movie on the home theater system; teams score each other
10	n/a	Energy Balance	100	n/a	100	Measured   Monitored	Produce at least as much electrical energy (kWh) as is consumed during contest week
<b>TOTALS</b>			<b>1,000</b>	<b>515 total juried points and 485 total measured points from 19 individually scored contest elements</b>			

<sup>4</sup> Lighting quality and lighting control evaluations are conducted by the Architecture, Market Appeal, and Engineering juries.

Tabella 46 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2011.

## Solar Decathlon 2013

### SECTION III: CONTEST CRITERIA

The Solar Decathlon competition consists of 10 separately scored contests. Each contest contains one or more subcontests. For example, Contest 8: Appliances consists of five separately scored subcontests. The team with the highest total points at the end of the competition wins. Table 2 shows the competition structure.

Table 2: Competition structure

Contest Number	Subcontest Number	Contest Name	Available Points	Subcontest Name	Available Points	Subcontest Type	Brief Description
1	n/a	Architecture <sup>3</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Architecture Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual presentation, architecture narrative, and final constructed project
2	n/a	Market Appeal	100	n/a	n/a	Juried	Market Appeal Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual presentation, market appeal narrative, and final constructed project
3	n/a	Engineering	100	n/a	n/a	Juried	Engineering Jury reviews and evaluates the drawings, construction specs, energy analysis results and discussion, audiovisual presentation, engineering narrative and final constructed project
4	n/a	Communications	100	n/a	n/a	Juried	Communications Jury reviews and evaluates the team website, audiovisual presentation, communications narrative, onsite public exhibit, and public exhibit materials
5	n/a	Affordability	100	n/a	n/a	Juried	Cost estimator reviews the drawings, construction specifications, and final constructed project to estimate construction costs
6	6-1	Comfort Zone	100	Temperature	75	Measured   Monitored	Keep zone temperature in 71°F – 76°F (22°C – 24°C) range Keep zone relative humidity below 60%
	6-2			Humidity	25	Measured   Monitored	
7	n/a	Hot Water	100	n/a	n/a	Measured   Task	Deliver 15 gallons of water at average 110°F (43°C) temperature within 10 minutes; 16 water draws during contest week
8	8-1	Appliances	100	Refrigerator	10	Measured   Monitored	Keep refrigerator temperature in 34°F – 40°F (1°C – 4°C) range
	8-2			Freezer	10	Measured   Monitored	Keep freezer temperature in -20°F – 5°F (-29°C -15°C) range
	8-3			Clothes Washer	20	Measured   Task	Successfully wash 8 loads of laundry (one load = six bath towels) during contest week
	8-4			Clothes Dryer	40	Measured   Task	Return 8 loads of laundry to their original weight (one load = six bath towels) during contest week
	8-5			Dishwasher	20	Measured   Task	Successfully wash five loads of dishes (one load = eight place settings) during contest week
9	9-1	Home Entertainment	100	Lighting	40	Measured   Task	All interior and exterior lights on at full levels at night
	9-2			Cooking	20	Measured   Task	Successfully perform six cooking tasks (one task = vaporize 5 lb of water in less than 2 hours) during contest week
	9-3			Dinner Party	10	Juried	Host two dinner parties for up to 8 guests; teams score each other
	9-4			Home Electronics	25	Measured   Task	Operate a TV and computer during specified hours
	9-5			Movie Night	5	Juried	Invite neighbors to watch a movie on the home theater system; teams score each other
10	n/a	Energy Balance	100	n/a	100	Measured   Monitored	Produce at least as much electrical energy (kWh) as is consumed during contest week
<b>TOTALS</b>			<b>1,000</b>	<b>515 total juried points and 485 total measured points from 19 individually scored contest elements</b>			

<sup>3</sup> Lighting quality and lighting control evaluations are conducted by the Architecture, Market Appeal, and Engineering juries.

Tabella 47 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon americano edizione 2013.

## ALLEGATO C:

### I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD EUROPE

#### Solar Decathlon Europe 2012

##### 14.5. Official Scoring

Participant teams and general public will have access to all the information related to the monitoring of the houses, as well as to the scorings, tables, different measurements results, scorings periods, etc.

Chart 2. Solar Decathlon Europe 2012: Points distribution

No.	Contest/Sub-contest Name	Contests Points	SubContests Points	Assigned by
1	Architecture	120		Jury
2	Engineering & Construction	80		Jury
3	Energy Efficiency	100		Jury
4	Electrical Energy Balance	120		
	4.1 Electricity Autonomy		60	Monitored performance
	4.2 Temporary correlation		40	Monitored performance
	4.3 Electricity use per measurable area		20	Monitored performance
5	Comfort Conditions	120		
	5.1 Temperature		70	Monitored performance
	5.2 Humidity		10	Monitored performance
	5.3 Indoor Air Quality		5	Monitored performance
	5.4 Workstation Lighting		20	Task / Monitored
	5.5 Acoustic		15	Monitored performance
6	House Functioning	120		
	6.1 Refrigerator		5	Monitored performance
	6.2 Freezer		5	Monitored performance
	6.3 Clothes Washer		20	Task + Monitored
	6.4 Clothes Dryer		10	Task Completion
	6.5 Dish Washer		15	Task + Monitored
	6.6 Home Electronics		5	Task + Monitored
	6.7 Oven		15	Task + Monitored
	6.8 Cooking		15	Task Completion
	6.9 Hot Water Draws		20	Task Completion
	6.10 Dinner		10	Guests
7	Communication and Social Awareness	80		Jury
8	Industrialization & Market Viability	80		Jury
9	Innovation	80		Jury
10	Sustainability	100		Jury

Tabella 48 - Estratto dal regolamento Solar Decathlon Europe edizione 2012.

## Solar Decathlon Europe 2014

### Official Scoring

Participant teams and general public will have access to all the information related to the monitoring of the houses, as well as to the scorings, tables, different measurements results, scorings periods, etc.

**Chart 2. Solar Decathlon Europe 2014: Points distribution**

No.	Contest/Sub-contest Name	Contests Points	Sub Contests Points	Assigned by
1	Architecture	120		Jury
2	Engineering & Construction	80		Jury
3	Energy Efficiency	80		Jury
4	Electrical Energy Balance	120		
	4.1 Load consumption per surface area		40	Monitored performance
	4.2 Positive electrical balance		15	Monitored performance
	4.3 Temporary Generation-Consumption Correlation		25	Monitored performance
	4.4 House adjustment to network load state		25	Monitored performance
	4.5 Power peaks		15	Monitored performance
5	Comfort Conditions	120		
	5.1 Temperature		50	Monitored performance
	5.2 Humidity		10	Monitored performance
	5.3 Indoor Air Quality – CO2		15	Monitored performance
	5.4 Indoor Air Quality - VOC		10	Test
	5.5 Natural Lighting		20	Test
	5.6 Acoustic		15	Test
6	House Functioning	120		
	6.1 Refrigeration		5	Monitored performance
	6.2 Freezing		5	Monitored performance
	6.3 Clothes Washer		20	Task + Monitored
	6.4 Clothes Drying		10	Task Completion
	6.5 Dishwashing		10	Task + Monitored
	6.6 Home Electronics		5	Task + Monitored
	6.7 Oven		5	Task + Monitored
	6.8 Cooking		5	Task Completion
	6.9 Hot Water Draws		20	Task Completion
	6.10 Dinner		15	Guests evaluation
	6.11 Water Balance		20	Counting
7	Communication and Social Awareness	80		Jury
8	Urban design, Transportation and Affordability	120		Jury
9	Innovation	80		Jury
10	Sustainability	80		Jury

*Tabella 49 – Estratto dal regolamento Solar Decathlon Europe edizione 2014.*

## ALLEGATO D:

### I DIECI CONTESTS NELLE EDIZIONI DI SD CHINA

#### Solar Decathlon China 2013

##### SECTION III: CONTEST CRITERIA

The Solar Decathlon China competition consists of 10 separately scored contests. Each contest contains one or more subcontests. For example, Contest 8: Appliances consists of five separately scored subcontests. The team with the highest total points at the end of the competition wins. Table 2 shows the competition structure.

Table 2: Competition structure

Contest Number	Subcontest Number	Contest Name	Available Points	Subcontest Name	Available Points	Subcontest Type	Brief Description
1	n/a	Architecture <sup>2</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Architecture Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual architecture presentation, and final constructed project
2	n/a	Market Appeal <sup>2</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Market Appeal Jury reviews and evaluates the drawings, construction specifications, audiovisual sales presentation, and final constructed project
3	n/a	Engineering <sup>2</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Engineering Jury reviews and evaluates the drawings, construction specs, energy analysis results and discussion, audiovisual engineering presentation, and final constructed project
4	n/a	Communications	100	n/a	n/a	Juried	Communications Jury reviews and evaluates the Web site, video walkthrough, onsite public exhibit, and public exhibit materials
5	n/a	Solar Application <sup>2</sup>	100	n/a	n/a	Juried	Solar Application Jury reviews and evaluates the drawings, construction specs, energy analysis results and discussion, audiovisual solar application presentation, and final constructed project
6	6-1	Comfort Zone	100	Temperature	75	Measured   Monitored	Keep zone temperature in 22°C – 25°C range
	6-2			Humidity	25	Measured   Monitored	Keep zone relative humidity below 60%
7	n/a	Hot Water	100	n/a	n/a	Measured   Task	Deliver 60 liters of water at average 45°C temperature within 10 minutes; 16 water draws during contest week
8	8-1	Appliances	100	Refrigerator	10	Measured   Monitored	Keep refrigerator temperature in 1°C - 4°C range
	8-2			Freezer	10	Measured   Monitored	Keep freezer temperature in -30°C to -15°C range
	8-3			Clothes Washer	20	Measured   Task	Successfully wash 8 loads of laundry (one load = six bath towels) during contest week
	8-4			Clothes Dryer	40	Measured   Task	Return 8 loads of laundry to their original weight (one load = six bath towels) during contest week
	8-5			Dishwasher	20	Measured   Task	Successfully wash five loads of dishes (one load = six place settings) during contest week
9	9-1	Home Entertainment	100	Lighting	40	Measured   Task	All interior and exterior lights on at full levels at night
	9-2			Cooking	20	Measured   Task	Successfully perform four cooking tasks (one task = vaporize 2kg of water in less than 2 hours) during contest week
	9-3			Dinner Party	10	Juried	Host two dinner parties for up 8 guests; teams score each other
	9-4			Home Electronics	25	Measured   Task	Operate a TV and computer during specified hours
	9-5			Movie Night	5	Juried	Invite neighbors to watch a movie on the home theater system; teams score each other
10	n/a	Energy Balance	100	n/a	100	Measured   Monitored	Produce at least as much electrical energy (kWh) as is consumed during contest week
<b>TOTALS</b>			<b>1,000</b>	<b>515 total juried points and 485 total measured points from 19 individually scored contest elements</b>			

<sup>2</sup> Lighting quality and lighting control evaluations are conducted by the Architecture, Market Appeal, Engineering and Solar Application juries.





ALLEGATO E:  
LA MATRICE 3D

C.01_Team Germany	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	La morfologia dell'edificio e l'assenza di elementi separatori interni favorisce la ventilazione naturale	-	Ventilazione notturna per il raffreddamento dei PCM grazie alle aperture contrapposte su più livelli	-
Regolazione degli apporti solari	Forma compatta con apertura schermate dal rivestimento continuo, che in corrispondenza delle aperture, prende la funzione di frangisole	PV orientabili come rivestimento esterno	- Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza - Veneziane integrate nei serramenti (dove non schermati da frangisole)	-
Accumulo e sfasamento	-	Inserimento di Phase-changing-material (PCM) nelle chiusure e nelle partizioni; comportamento passivo, il calore viene accumulato nelle pareti	-	Inserimento di PCM nel controsoffitto per creare limitare i picchi di temperatura; comportamento semi-attivo, poiché regolando la velocità del flusso d'aria nel sistema di ventilazione, si agisce sulla quantità di energia che raggiunge il PCM
Efficienza energetica	Volume relativamente compatto ma con grande superficie a disposizione per il posizionamento di PV (facendo attenzione che la superficie disperdente avesse bassissimi valori di U)	- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro - Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia	Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza	- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro - Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia
Comfort termoigrometrico	-	Involucro performante		
Comfort acustico	-	Adeguito compromesso tra leggerezza delle chiusure e performance acustiche		
Flessibilità	Flessibilità interna degli spazi grazie a pareti scorrevoli che permettono di aprire/chiedere ambienti per creare zone di maggior privacy, in un unico open space "single room concept" - ambienti separati solo dalla differente quota (piano terra ambienti pubblici, loggia al piano primo ambiente più intimo e raccolto)	Elementi prefabbricati con possibilità di decidere la configurazione in accordo con le esigenze dell'utente finale		
Modularità	Unità abitativa costituita da quattro moduli in legno preassemblati, rinforzati da OBS, interconnessi tra loro in loco	-	-	-
Innovazione	-	- Isolamento con pannelli sottovuoto - Impiego di paraffine come PCM	-	Impiego di Sali idrati come PCM
Sostenibilità	-	Impiego di legno locale come principale materiale da costruzione		

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Pannelli fotovoltaici integrati nel sistema di oscuramento, come frangisole mobili e regolabili	-	-
La velocità dell'aria nel sistema di ventilazione regola la quantità di energia accumulata nel PCM del controsoffitto	-	-	-	-	Accumulo e recupero di acqua piovana per irrigare il verde di pertinenza
Recuperatore di calore ad elevata efficienza	Sistema a cascata: prima i sistemi passivi (Muri con PCM, poi soffitto PCM, poi oscuramento con persiane fotovoltaiche), solo infine si ricorre ai sistemi attivi, ossia alla pompa di calore	Aria preriscaldata dal passaggio in intercapedine di parete, dietro a PV, arriva alla pompa di calore meno fredda	PV sulla copertura ed in facciata	-	Riscaldamento con pompa di calore (di HVAC) con ausilio di resistenza elettrica
Pompa di calore aria-aria, abbinata a recuperatore di calore e a scambiatore di calore per la produzione di ACS (che ne migliora il rendimento in fase estiva)			-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Aria esterna ed espulsione della pompa di calore prendono d'aria dall'intercapedine tra isolamento della CV e finitura esterna in frangisole, in regime invernale, per migliorare il rendimento della pompa di calore; in regime estivo, invece, attinge direttamente all'esterno			-	-	-
-	-	-	-	-	-

Tabella 51 - Piano XY – Analisi del progetto Team Germany, University of Darmstad

C.02_Gable House	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<i>Ventilazione naturale</i>	Spazio interno prevalente aperto per un migliore flusso di aria naturale	-	Ampie vetrate sul lato sud, per favorire la ventilazione naturale	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	Aperture principalmente verso sud, per massimizzare i guadagni solari in regime invernale	-	Schermature scorrevoli sulle grandi aperture del lato sud - Piccole aperture sulle altre tre facciate, per minimizzare le dispersioni	Piccolo porticato che regola gli apporti solari, limitando la radiazione diretta sulla facciata
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-
<i>Efficienza energetica</i>	- Forma compatta, con un vantaggioso rapporto S/V - Esposizione ottimale per massimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale	Isolamento con schiuma poliuretanic a celle chiuse	Serramenti altamente performanti e con esposizione ottimale per massimizzare i guadagni invernali	-
<i>Comfort termoisometrico</i>	Favorevole rapporto S/V	Involucro ben isolato, con orientamento delle aperture a sud per ottimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale		
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	Open space, per la massima flessibilità degli spazi interni - Arredi riconfigurabili, per meglio adattarsi alle esigenze dell'utenza	-	-	-
<i>Modularità</i>	Modularità visiva della facciata sud (8 ft finestra-muro-finestra)	Costruzione a secco, con modulo di piccole dimensioni		
<i>Innovazione</i>	Design che richiama l'architettura tipica delle campagne del Midwest, ma in chiave moderna	-	-	-
<i>Sostenibilità</i>	Impiego di materiali di recupero (dalla demolizioni di fattorie e vecchie abitazioni tipiche)	Impiego di materiali di recupero e materiali a basso impatto ambientale (di provenienza locale): struttura in bambù lamellare (di rapida crescita), tetto in metallo (riciclabile)		

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Serbatoio di accumulo per ACS e per acque grigie
-	-	-	PV montati su tetto metallico (per facilità di montaggio e equiparabilità di vita utile)	-	Pompa di calore per la produzione di ACS
Sistema con pompa di calore reversibile con recuperatore di calore			-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Tabella 52 - Analisi del progetto Gable House, University of Illinois

C.03_WaterShed	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	-	-	Presenza di lucernari su pareti contrapposte, che favoriscono il naturale movimento dell'aria attraverso l'edificio	-
Regolazione degli apporti solari	Giardino verticale a schermatura del lato nord-ovest	-	Lucernari su tutto il lato nord e sud, protetti dalla radiazione diretta da aggetti della copertura, scelta di serramenti performanti - aperture limitate in direzione est ed ovest per la difficoltà del controllo degli apporti solari	- Ampie porzioni della copertura aggettanti, riparando da radiazione diretta la zona di garden-deck - Con l'impiego di software (Energy Plus) è stata valutata la correlazione tra lunghezza degli aggetti e energia annua per raffreddamento/riscaldamento
Accumulo e sfasamento	La geometria delle falde (impluvio) permette di raccogliere le acque piovane e di conservarle in una cisterna per poterle riutilizzare per l'irrigazione	-	-	Posizionamento di una chiusura orizzontale capacitiva (terreno) sulla falda nord
Efficienza energetica	Geometria ottimizzata per limitare i carichi in stagione estiva e massimizzare gli apporti solari in quella invernale	Valutazione dell'influenza delle prestazioni della chiusura (U, R) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte	- Ampie superfici vetrate sul lato nord e sud, con serramenti performanti e opportuni sistemi schermanti, per massimizzare i guadagni invernali e limitare gli apporti estivi - Limitate superfici vetrate sui lati est ed ovest, data la difficoltà di controllo degli apporti in queste direzioni	Valutazione dell'influenza delle caratteristiche delle chiusure (U, R, lunghezza aggetti) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte - Tetto verde sulla falda rivolta a nord (inclinazione 10°)
Comfort termoigrometrico	Volume compatto, con un favorevole rapporto S/V	Involucro altamente isolato, per minimizzare le dispersioni termiche		
Comfort acustico	-	-	-	-
Flessibilità	Tre moduli: uno pubblico (living), uno privato (camera) e uno di interconnessione (bagno) - arredamento riconfigurabile per trasformare la camera in ufficio e per rendere la zona living un'ampia sala da pranzo con tavolo per molti commensali	-	-	-
Modularità	Tre moduli preassemblati, trasportati in loco e posti in opera, interconnettendo le tre parti	-	-	-
Innovazione	-	-	-	-
Sostenibilità	-	-	-	Tetto verde è componente attivo che "consuma" CO2; se impiegato per la coltivazione di ortaggi, si limita il fabbisogno di cibo e quindi la CO2 immessa per il trasporto di questo; - Scarti organici debitamente trattati possono diventare fertilizzante per la copertura e le zone verdi di pertinenza dell'edificio

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Pannelli fotovoltaici posizionati su elemento verticale di schermatura (oltre che in copertura)	Collettore solare montato verticalmente aiuta a schermare il lato sud-est dell'edificio	-
-	-	-	-	-	Cisterna per accumulo di acqua piovana per irrigare
Recuperatore entalpico	Sistema di raffreddamento e controllo dell'umidità "Liquid Desiccant Waterfall" (LDW), che lavora in abbinamento all'impianto solare (gran parte della frazione latente) + impianto a mini-split (lavorando su carichi inferiori, richiede meno elettricità)	Scambiatore termico all'interno del LDW permette di riscaldare l'ambiente interno con l'extra-calore proveniente dall'impianto solare non impiegato per la produzione di ACS	Posizionati sulla falda rivolta a sud del modulo pubblico e su elemento schermante verticale - 100% del fabbisogno energetico dell'edificio	Pannelli solari sottovuoto per la produzione di ACS e per il funzionamento di LDW - 100% del fabbisogno di ACS, 100% della dissecazione in regime estivo e una frazione di riscaldamento in regime invernale	ACS prodotta grazie a pannelli solari
Sistema composto da due split (uno per ambiente) con unica unità esterna, abbinato a recuperatore di calore entalpico			-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	LWD migliorato, aumentando la superficie di contatto tra aria interna da deumidificare e soluzione salina essiccante		-	-	-
					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recupero e filtraggio delle acque grigie da impiegare nell'irrigazione</li> <li>- Recupero dell'acqua piovana per irrigazione, filtrata in "wetland" sottostante al modulo centrale dell'edificio</li> </ul>

Tabella 53 - Piano XY – Analisi del progetto WaterShed, University of Maryland



C.04_INhome	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	Geometria tradizionale americana ottimizzata per creare ventilazione naturale tramite lucernari (alti) e ampie superfici apribili (in basso)	-	- Lucernari ad azionamento meccanico, tramite sensori, per ottimizzare la ventilazione naturale in base alle condizioni del contesto - Ampie finestre creano, in abbinamento ai lucernari, moti d'aria naturali	-
Regolazione degli apporti solari	-	-	- Lucernari per illuminazione indiretta - Grandi aperture a sud per favorire l'illuminazione naturale - Aggetti studiati per minimizzare la radiazione diretta in regime estivo (surriscaldamento), permettendo l'ingresso di radiazione diffusa	- Scelta della lunghezza degli aggetti in base ad analisi parametriche, per minimizzare il carico HVAC su base annua
Accumulo e sfasamento	-	-	-	-
Efficienza energetica	Morfologia tradizionale ottimizzata per favorire il comportamento passivo dell'edificio	SIPS - Structurally Insulated Panles - BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolarne l'umidità	- 73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali - Scelta delle finestre fatta in via parametrica, tramite software (EnergyPlus), per determinare il tipo di serramento ottimale	- Aggetti dimensionati per ottimizzare gli apporti solari nell'arco dell'anno - Falda rivolta a sud per massimizzare la superficie disponibile per PV
Comfort termoigrometrico	-	BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolarne l'umidità	Esposizione e prestazioni delle chiusure verticali decise in via parametrica	-
Comfort acustico	-	-	-	-
Flessibilità	-	-	-	-
Modularità	-	-	-	-
Innovazione	Geometria tradizionale integrata con sistemi di controllo per minimizzare i consumi dell'edificio e il comfort interno	BioWall	-	-
Sostenibilità	-	-	73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	Serbatoio cilindrico all'interno del garage, in posizione sempre ombreggiata
Pompa di calore reversibile alimentata da PV, con addizionale resistenza elettrica per garantire il riscaldamento anche nelle giornate più rigide - Recuperatore entalpico di energia			Dimensionato per ottenere lo net-zero energy balance su base annua	-	Impiego di una pompa di calore aria-acqua per la produzione di ACS
-	Separazione nel trattamento dei carichi sensibili e latenti, tramite l'adozione di sistemi che adottano l'espansione diretta e il recupero di energia		-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	- Inserimento di BioWall per migliorare la qualità dell'aria - separazione dei carichi sensibili e latenti		-	-	-
-	-	-	-	-	Pompa di calore ad elevata efficienza

Tabella 54 - Piano XY – Analisi del progetto INhome, Purdue University

C.05_Canopea	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	Ventilazione trasversale	-	Sistema di oscuramento con lamelle in vetro orientabili per permettere la ventilazione	-
Regolazione degli apporti solari	- Celle solari in doppio vetro - Tende esterne e lamelle in vetro	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Facciata ventilata su entrambi i lati	- Triplo vetro $g = 0,5$ - Sistema di oscuramento con tende esterne - Doppia pelle con serramenti scorrevoli - Persiane auto avvolgenti	- Pannelli PVT - Doppi vetri con celle PV - Pittura simil celle
Accumulo e sfasamento	Bassa inerzia per permettere rapidi adattamenti alle variazioni climatiche	- Maggiore inerzia data da finitura in pannelli in terra - In generale, inerzia bassa per risposta termica rapida	-	-
Efficienza energetica	- Forma quadrata compatta - Zone cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Facciata ventilata su entrambi i lati	Effetto serra delle vetrate limita dispersioni	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Produzione solare e schermatura - Strato di isolamento con aria ferma
Comfort termoigrometrico	Spazi cuscinetto che riducono il salto termico	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termo-igrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente	-	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termo-igrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente
Comfort acustico	- Spazi cuscinetto che smorzano l'onda sonora - Separazione fisica dei 3 moduli abitativi (nucleo tecnico, camera padronale, spazio evolutivo)	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure - Rivestimento più massivo	- Azione schermante della doppia pelle (vetri esterni) - Lamelle in vetro orientabili (-7dB in configurazione chiusa) - No ponti termici dei sistemi di oscuramento - Materiali assorbenti all'interno della doppia pelle per evitare risonanza	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure
Flessibilità	- Diverse distribuzioni interne possibili (due camere o ufficio o salotto ampio) grazie ad "Armadio Mobile" - Possibilità di ampliare lo spazio interno grazie a loggia - Arredo adattabile alle esigenze - Facile accesso ai locali tecnici per manutenzione - Spazio comune multifunzionale - Corridoio di passaggio comune con accesso al locale tecnico	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali	Doppia pelle con pannelli scorrevoli aumenta spazio abitativo	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Schermatura celle PV tra doppi vetri	Schermatura pannelli ibridi PVT	-
Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfasamento di 12h nel fornire aria calda/fredda	Serbatoio di accumulo termico		Batterie di accumulo	- Serbatoio d'accumulo - Batterie di accumulo	Serbatoio acque grigie/nere, acqua piovana, acque chiare
- Scambiatore di calore controcorrente ad aria - Pompa di calore aria-aria connessa al serbatoio ACS - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Inclinazione 5° e rivestimento riflettente sul lato in ombra - Ventilazione migliora efficienza	- Pompa di calore acqua-acqua (JVP) - Migliore efficienza PVT con fluido a bassa T - Ventilazione migliora efficienza - Valorizzazione del raffrescamento radiativo - Formazione di condensa che migliora efficienza	- Minimizzare perdite di pressione - Minimizzare lunghezza tubi - Riutilizzo acque piovane per irrigazione tramite fito purificazione e distribuzione per gravità - Scambiatore calore a tubo tra acque grigie e acqua da riscaldare - Pompa di calore acqua-acqua (JVP) connessa ai serbatoi - Pompa di calore aria-aria individuale
Mandata a pavimento e ripresa a soffitto	Pannelli radianti a soffitto		Schermatura celle PV tra doppi vetri	Schermatura pannelli ibridi PVT	-
Passaggi acustici: passaggi di ventilazione tra le partizioni che permettono di far circolare aria tra due ambienti e al tempo stesso non far passare il rumore	-	-	-	-	-
Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)			Facile accessibilità dal piano comune	- Modalità di funzionamento reversibile - Facile accessibilità dal piano comune - Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)	- Tubi in PET, PEX-Al-PEX, PVC - Serbatoi acque grigie/nere e chiare all'esterno sotto il solaio, quello acqua piovana piano comune

<i>Modularità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 moduli principali: nucleo tecnico prefabbricato, camera padronale, spazio flessibile evolutivo</li> <li>- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro</li> </ul>	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno		Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
<i>Innovazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribuzioni spaziale come singola unità abitativa applicata al concetto di "mini-torre"</li> <li>- Spazio comune che conferisce senso di comunità</li> <li>- Utilizzo acciaio e legno: maggiore libertà distributiva</li> <li>- Corridoio esterno permette visione a 360° e amplia lo spazio abitativo <ul style="list-style-type: none"> <li>- Armadio mobile</li> <li>- Zone cuscinetto</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trattamento legno finitura</li> <li>- Utilizzo acciaio e legno</li> <li>- Rivestimento in pannelli in terra</li> <li>- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro</li> <li>- Pannelli VIP (Vacuum Insulated Panel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro</li> <li>- Sistema di oscuramento persiane avvolgibili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trattamento legno finitura</li> <li>- Utilizzo acciaio e legno- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro</li> </ul>
<i>Sostenibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio)</li> <li>- Integrazione sociale grazie a spazi comuni</li> <li>- Utilizzo del comportamento passivo specialmente nel piano comune</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" <ul style="list-style-type: none"> <li>- Legno locale</li> <li>- Materiali naturali</li> </ul> </li> <li>- Alto contenuto di riciclabilità</li> </ul>	Minor impatto rispetto a plexiglass, maggiore rispetto a policarbonato (ma prestazioni più elevate)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" <ul style="list-style-type: none"> <li>- Legno locale</li> <li>- Materiali naturali</li> </ul> </li> <li>- Alto contenuto di riciclabilità</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moduli superiori: 4 file, 11 colonne</li> <li>- Moduli inferiori: 6 file, 11 colonne</li> <li>- 84 m2</li> </ul>	8 moduli, 14 m2	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT</li> <li>- Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfasamento di 12h nel fornire aria calda/fredda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT</li> <li>- Materiali MCP per aumentare capacità termica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con accumulo termico pannelli radianti, produzione ACS e ventilazione e funzionamento di raffreddamento radiativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scambiatore di calore a</li> <li>- Utilizzo di valvole per inversione del ciclo delle pompe di calore</li> </ul>
<p>Integrazione con pompa di calore e sistema PVT: migliore utilizzo di energia elettrica e calore</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo come copertura: minor impatto rispetto a un tetto tradizionale</li> <li>- Riciclabile per utilizzo celle in altri PV</li> <li>- Ridotti valori di EPBT e ERF</li> </ul>	<p>Produzione calore e elettricità PVT migliorano EPBT e ERF</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preservazione acque con recupero acqua piovana</li> <li>- Apparecchiatura volte a ridurre consumo idrico</li> </ul>

Tabella 55 - Analisi del progetto Canopea, University of Grenoble

C.06_Patio 2.12	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<i>Ventilazione naturale</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilazione trasversale</li> <li>- Effetto camino con camini solari in copertura</li> <li>- Pressioni e depressioni locali create dal vento grazie a forma spigolata dell'involucro</li> </ul>	Convogliamento aria della facciata ventilata raffrescata all'interno ed espulsa dai camini solari	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>- Camini solari</li> </ul>
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Stagni con fontane per mitigare l'aria esterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effetto evaporativo dello strato di rivestimento in ceramica realizzato con sistema di irrigazione</li> <li>- Facciata ventilata raffrescata con evaporazione acqua da stagno</li> <li>- Isolamento termico 10 cm lana di roccia</li> <li>- Strato riflettente che migliora la dispersione della radiazione solare</li> <li>- Utilizzo colori chiari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>- Triplo vetro basso emissivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>- Isolamento termico 11 cm lana di roccia</li> </ul>
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aria rinfrescata da effetto evaporativo nello strato di ventilazione viene incanalato e trasportato all'interno</li> <li>- Utilizzo colori scuri</li> </ul>	-	-
<i>Efficienza energetica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	Ceramica miglior comportamento termico e durabilità	Triplo vetro basso emissivo	-
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica del salto termico interno-esterno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ceramica miglior comportamento termico</li> <li>- Isolamento termico 10 cm lana di roccia</li> </ul>	Doppia pelle con effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico	Isolamento termico 11 cm lana di roccia
<i>Comfort acustico</i>	-	Utilizzo di sughero per controllare riverbero	Doppia pelle	Utilizzo di sughero per controllare riverbero

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
Passaggi d'aria integrati con arredo	-	-	-	-	-
Serbatoio accumulo termico	-	-	-	-	Sistema di irrigazione per creare effetto evaporativo in facciata
Serbatoio accumulo termico			Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	- Serbatoio accumulo termico - Serbatoio espansione - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-10 serbatoi e 3 stagni esterni - Recupero acque piovane
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC	- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	Efficienza 20%	- PVT - Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	- Utilizzo acque degli stagni per condizionamento - Recupero acque grigie e purificazione e riutilizzo per irrigazione e effetto evaporativo - Riuso acque lavandini per bagni
-	Utilizzo acqua stagno esterno	-	-	-	-
- Posizionamento in blocco separato e dedicato			-	Posizionamento in blocco separato e dedicato	-



<i>Flessibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilità di disporre i blocchi a piacere, variarne il numero o le funzioni</li> <li>- Variabilità funzionale del patio e adattabilità</li> <li>- Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali di più blocchi</li> <li>- Integrazione Isole Tecnologiche e blocchi prefabbricati</li> <li>- Trasportabilità dei blocchi e adattabilità a diversi siti</li> <li>- Integrazione arredo e servizi tecnologici</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	-	Adattamento alle condizioni di luce esterna	-
<i>Modularità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 blocchi prefabbricati</li> <li>- 2 "Isole Tecnologiche"</li> <li>- Possibilità di aggiungere e/p rimuovere blocchi a piacere</li> <li>- Modularità regola organizzazione spaziale e dimensionale dei blocchi</li> </ul>	Blocco prefabbricato	-	-
<i>Innovazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reinterpretazione degli spazi abitativi mediterranei e del concetto di patio: spazio di espansione e regolazione climatica</li> <li>- Somma di 4 blocchi prefabbricati molto flessibili (small lofts) con spazio comune centrale (patio) che fa da unione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri</li> <li>- Raffrescamento evaporativo della facciata ventilata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luce fornita dal patio e non più relazione diretta interno-esterno tramite le chiusure trasparenti</li> </ul>	Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri
<i>Sostenibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali per rispondere al problema della densità</li> <li>- Basso impatto ambientale e facilità di riuso dell'intero blocco (cambiare posto senza cambiare casa)</li> <li>- Comportamento termoregolatore passivo del patio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero</li> <li>- Sistemi prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"</li> </ul>		

-	Fan coils integrati nell'arredo	- Connessioni indipendenti dei PV e possibilità di espansione del campo solare legata all'aggiunta del modulo - Integrazione architettonica	Integrazione architettonica	Mandata e ripresa integrata con arredo	
-	-	-	Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo	- Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo - 8 PVT, 13,28 m2	-
- Utilizzo acqua stagno esterno - Raffrescamento evaporativo		- Modularità del pannello e adattamento al blocco - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	Sistema di filtraggio per recupero acque grigie	
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC		Ridotti valori di EPBT e ERF		- Riuso acque domestiche grazie a trattamento di filtraggio naturale delle piante - Terminali a risparmio idrico - Riuso acqua da lavandini per bagni	

Tabella 56 - Analisi del progetto Patio 2.0, Andalusia Team

C.07_LISI The House	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	Pianta aperta, "open space"	-	Fronte nord e sud con parete vetrata apribile, per permettere una efficace ventilazione trasversale	-
Regolazione degli apporti solari	Configurazione della copertura e delle schermature modificabile in base alle condizioni climatiche e alle esigenze dell'utenza	-	Schermature in tessuto (curtain) per regolare il flusso di energia solare incidente sulle zone vetrate e sul patio	Tetto mobile con sensori ed attuatori per modificare la propria configurazione in base alle condizioni climatiche (possibilità di modifiche da parte dell'utenza mediante app)
Accumulo e sfasamento	Disponibilità di vani tra il piano di calpestio (rialzato) e il suolo per il posizionamento di serbatoi di accumulo idrico	-	-	Accumulo posto al di sotto del pavimento dell'edificio, realizzato mediante serbatoi per accumulo idrico
Efficienza energetica	Ventilazione naturale in tutto l'ambiente	Scelta delle prestazioni ( $U > = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) tramite ottimizzazioni da software per evitare fenomeni di surriscaldamento	- Scelta ottimizzata tramite software (TRNSYS) del tipo di serramento (evitare surriscaldamento estivo e permettere un riscaldamento passivo invernale) - Sistema di schermature mobili e modulabili per regolare il flusso di radiazione solare - Aperture per ventilazione naturale	Adeguato isolamento termico ( $U=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ per tetto e $U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ per controterra)
Comfort termoigrometrico	-	Adeguato isolamento dell'involucro per evitare fenomeni di surriscaldamento o di condensa superficiale ed interstiziale		
Comfort acustico	Patio, spazio filtro per attutire i disturbi dall'esterno	-	Privacy modulabile in base alla configurazione degli oscuranti tessili	-
Flessibilità	Spazio interno riconfigurabile grazie alla possibilità di apertura delle vetrate, per creare un unico ambiente con il patio esterno	-	Vetrate scorrevoli permettono di gestire in maniera dinamica il rapporto tra interno ed esterno	Copertura mobile per permettere differenti configurazioni estetiche, spaziali e prestazioni dell'elemento
Modularità	-	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente	Tutti gli elementi vetrate scorrevoli presentano le medesime dimensioni	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente
Innovazione	Configurazione variabile per adattarsi alle esigenze dell'utenza e alle condizioni climatiche	-	-	-
Sostenibilità	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto</li> <li>- Impiego di materiali locali, largamente diffusi e facilmente reperibili, con un soddisfacente rapporto costi/prestazioni</li> </ul>		

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
- Pompa di calore aria-acqua ad elevata efficienza - Recuperatore di calore entalpico	Impiego di pompa di calore invertibile aria-acqua, per sfruttare la corrente prodotta dall'impianto PV per il riscaldamento/raffrescamento dell'edificio.		Doppio impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per una maggior indipendenza energetica dell'edificio	-	
- Recuperatore entalpico per umidificare i flussi d'aria in ingresso - Filtri per il controllo della qualità dell'aria in ingresso	Impianto a pavimento per un miglior comfort termico (ridotto gradiente termico)		-	-	-
Piccoli flussi d'aria, con conseguente limitata rumorosità del sistema	Impianto a pavimento, massima silenziosità		-	-	-
	- Duplice funzionamento per un singolo impianto, che si adatta alle esigenze estive ed invernali - Impianto a pavimento per una maggiore flessibilità spaziale interna		-	-	Elementi di distribuzione dell'acqua nelle chiusure, in modo da mantenere l'ambiente interno libero da impedimenti impiantistici
-	-	-	installazione di due impianti fotovoltaici indipendenti, per garantire maggior affidabilità e modularità dell'impianto e dell'approvvigionamento	-	-
-	-	-	-	-	Sistema di recupero di energia per preriscaldamento dell'acqua della doccia, utilizzando l'acqua di scarico della doccia
Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile				-	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile

Tabella 57 - Analisi del progetto Lisi The House, Team Austria

C.08_DesertSol	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	-	-	Ampie vetrate sulla facciata sud	-
Regolazione degli apporti solari	Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari	-	- Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari in base alle condizioni climatiche stagionali - Tende a controllo manuale poste sulle aperture del lato nord e sud permettono di regolare il flusso di radiazione solare in ingresso	-
Accumulo e sfasamento	-	-	-	-
Efficienza energetica	Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari e sfruttare la luce naturale durante il giorno	- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus) - U=0.33 W/m2K - Isolamento in Spray foam	Schermature regolabili per un'ottimizzazione degli apporti solari	- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus) - U=0.18 W/m2K (copertura) - U=2.22 W/m2K (controterra) - Isolamento in Spray foam
Comfort termoigrometrico	Geometria che favorisce la ventilazione e la regolazione degli apporti solari per limitare il fenomeno del surriscaldamento degli ambienti interni	Chiusura performante, altamente isolata	- Ampie vetrate per favorire la ventilazione naturale - Sistemi di schermatura regolabile associati a sensori ed attuatori per ottimizzare le prestazioni dell'involucro	Chiusure performanti, altamente isolata
Comfort acustico	Separazione degli ambienti per un comfort acustico in fase di impiego	-	-	-
Flessibilità	- Due aree separate (living e notte) per maggiore vivibilità degli spazi - Partizioni verticali mobili per aumentare la privacy della zona notte quando richiesto - TV a scomparsa, grazie a contro pareti	-	Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari e la privacy interna	-
Modularità	-	Telaio in legno con passo regolare	- Serramenti modulari	Telaio in legno con passo regolare
Innovazione	-	-	-	-
Sostenibilità	Geometrie ottimizzate per il clima caldo (in cui si pensa di realizzare il progetto)	Impiego di materiali diffusi e facilmente reperibili nell'arco di pochi km, con ottimizzazione dello spessore dell'isolante in base alle condizioni climatiche nel sito di insediamento		

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	- Serbatoio per l'accumulo di acqua calda proveniente dall'impianto solare con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature	- Accumulo di acqua per l'irrigazione e per il consumo domestico
recuperatore entalpico di energia	Impianto ad aria con Split	Impianto idronico a pavimento, che sfrutta come primaria fonte di energia l'acqua calda prodotta dall'impianto solare	Due stringhe di pannelli fotovoltaici per una potenza totale di 6,75 kW	- Collettore a tubi sottovuoto posto con angolazione ottimizzata per la produzione di acqua calda sia per uso domestico sia per il sistema di riscaldamento a pavimento - Serbatoio per l'accumulo di acqua calda con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature	-
Controllo dell'umidità e della qualità dell'aria mediante sistema a split con recuperatore entalpico		Pannelli radianti a pavimento, per un ridotto gradiente termico	- Energia elettrica impiegabile per climatizzazione estiva dell'edificio - Dimensionamento per raggiungere un bilancio annuo positivo	- Sistema con serbatoio con doppio scambiatore, per alimentare impianto di riscaldamento e ACS - Collettore a tubi sottovuoto posto a livello del suolo	Accumulo idrico caldo e freddo
Sistema a mini-split, con piccoli flussi d'aria e unità motocondensante all'esterno dell'edificio		-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Recuperatore di calore entalpico		Impianto solare come principale fonte energetica	Dimensionato per soddisfare il fabbisogno energetico annuo dell'edificio	-	-

Tabella 58 - Analisi del progetto DesertSol. University of Las Vegas

C.09_Rhome for DenCity	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilazione trasversale</li> <li>- Effetto camino</li> <li>- Logge contrapposte</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posizionamento su facciate opposte</li> <li>- Lucernari in copertura (effetto camino)</li> </ul>	-
Regolazione degli apporti solari	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schermatura mobile in facciata e copertura</li> <li>- Sistema di imbotte per i serramenti</li> <li>- Logge contrapposte</li> <li>- Balaustra loggia sud</li> <li>- Orientamento ottimale Est-Ovest dell'asse maggiore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm in doppio strato, tra la struttura (bassa densità) e cappotto (alta densità)</li> <li>- Facciate ventilate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassi g</li> <li>- Rivestimenti basso emissivi</li> <li>- Posizione e dimensioni per captare radiazione in inverno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Micro ventilazione tra copertura e PV</li> </ul>
Accumulo e sfasamento	Distribuzione uniforme perimetrale delle pareti capacitive	Pareti capacitive realizzate tramite rivestimento in sabbia in tubi di alluminio	-	-
Efficienza energetica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme compatte e rettangolari</li> <li>- Basso rapporto S/V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Facciate ventilate</li> <li>- Chiusure capacitive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minor consumo elettrico grazie a lucernari</li> <li>-Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Micro ventilazione tra copertura e PV</li> </ul>
Comfort termoigrometrico	Logge fresche anche d'estate grazie a pannelli solari termodinamici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controllo umidità con barriera al vapore ed elementi traspiranti</li> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Facciate ventilate</li> <li>- Chiusure capacitive</li> </ul>	Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico	-
Comfort acustico	-	Aumento del comfort grazie a chiusure capacitive	-	-
Flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "3D Core", locale di servizio centrale (bagno, cucina, locale tecnico): elemento caratterizzante la distribuzione interna</li> <li>- Spazi multi-funzionali e variabili per diverse funzioni (riposo, lavoro, tempo libero): in 60 m2 si possono avere 2 camere, salotto, ufficio, cucina, bagno per 2, 3 o persone</li> <li>- Facciate variabili con diverse configurazioni</li> <li>- Arrendamento configurabile e movimentabile per avere diverse funzioni</li> </ul>	Diverse configurazioni stratigrafiche	Illuminazione naturale ottimale in ogni ambiente e per ogni spazio funzionale	-
Modularità	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libertà compositiva legata al modulo, ma ambiente vivibile e articolabile</li> <li>- Semplicità e velocità d'installazione</li> </ul>	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno		Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno (pannelli in fibra di legno sulle facce e cuore in truciolato)

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Pannelli su schermatura mobile (scorrevole e pieghevole) in facciata e copertura	Installazione del "Solar Box" su balaustra della loggia	-
-	Serbatoio accumulo		Connessione alla rete, ma strategia volta a massimizzare il rapporto produzione/consumo immediato	Serbatoio accumulo	3 Serbatoi: acque chiare, acque nere/grigie, acque meteoriche
Scambiatore di calore a rotore essicante con batterie alimentate dalla pompa di calore e ricircolo	Pompa di calore aria/acqua		Risparmio energetico fino al 100 %	- Risparmio energetico fino al 85% - Minime perdite per distribuzione grazie a posizione ottimale e isolamento tubi	- Scambiatore di calore (ACS) - Minime perdite per distribuzione grazie a posizionamento centrale - Minimi cablaggi elettrici pompe grazie a posizionamento centrale
Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	Pannelli radianti		Effetto schermatura sulle logge	Processo termodinamico del "Solar Box" raffresca logge	-
-	-	-	-	-	-
Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	-	-	- Perfetta integrazione architettonica - Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo	Facile accessibilità per manutenzione grazie a collocamento esterno e nel "3D Core"	- Posizionamento esterno sotto il solaio dei 3 serbatoi: facile manutenzione e, nel caso di perdita, nessun danno - Pompe collocate vicino al pannello elettrico e alle utenze - Mandata con tubi PEX-b
-	-	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo - 25 file, 3 colonne in copertura - 8 file, 3 colonne in facciata - Dettata da necessità di potenza del PV e dalla dimensione delle logge	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo dettata dalla balaustra	-



<i>Innovazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logge: forma ad L con doppia esposizione, centro di produzione solare, estensione dell'ambiente interno ("espansione controllata")</li> <li>- Flessibilità dell'arredo</li> <li>- Luce artificiale da sistemi fissi regolabile in base alle funzione dello spazio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Piastrelle fotoluminescenti</li> <li>- Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno</li> <li>- Telaio multipiano in legno (Platform Frame)</li> <li>- Chiusure capacitive</li> </ul>	<p>Oscuramento PV flessibile e scorrevole</p>	<p>Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno</p>
<i>Sostenibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio)</li> <li>- Arredo: benefici elevati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"</li> <li>- Sabbia per pareti capacitive "in situ" e "non legata": trasporto solo si sistemi leggeri prefabbricati e possibilità di restituire la sabbia all'ambiente quando smantellata</li> </ul>	<p>Serramenti che minimizzano perdite e massimizzano apporti gratuiti</p>	<p>Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"</p>

Sensore rilevamento livello CO2 e altri agenti inquinanti	Sinergia con comportamento passivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PV flessibile, scorrevole e leggero con efficienza da 14% a 20%</li> <li>- Integrazione con solare in configurazione chiusa: calore prodotto viene ceduto e recuperato dal "Solar Box"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "Solar Box": innovativo pannello termodinamico con pompa di calore a gas (Klea) a bassissima temperatura (-30°C) con pittura idroponica</li> <li>- Produzione 24/7</li> <li>- Design</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recupero acque grigie e nere: nessuna produzione di sostanze secondarie tossiche e dannose</li> <li>- Possibilità di totale indipendenza idrica grazie a recupero su tutti i tipi di acque</li> <li>- Rubinetteria innovativa Ideal Standard</li> </ul>
Integrazione con gli altri sistemi impiantistici				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riutilizzo acque grigie e/o nere: 91 % di risparmio sul consumo idrico</li> <li>- Risparmio consumo acqua da rubinetti (9l a 5l)</li> <li>- Integrazione con gli altri sistemi impiantistici</li> </ul>

Tabella 59 - Analisi del progetto Rhome for DenCity, Università degli Studi di Roma Tre

C.10_Prêt à Loger	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
Ventilazione naturale	- Effetto camino - Ventilazione trasversale	-	Mobilità delle chiusure vetrate per permettere ventilazione	-
Regolazione degli apporti solari	Orientamento della pelle: vetro a sud, isolamento a nord	- Maggior isolamento nella parte a nord - Facciata ventilata a sud	- Posizionamento a sud della pelle - Schermatura in pannelli scorrevoli al di sotto della pelle	Tetto verde
Accumulo e sfasamento	-	Utilizzo di materiale a cambiamento di fase	-	-
Efficienza energetica	Spazio cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione	-	-	-
Comfort termoigrometrico	Spazio cuscinetto per mitigare salto termico interno-esterno	-	Effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico	-
Comfort acustico	Spazio cuscinetto per smorzare onda sonora	Utilizzo materiali assorbenti sulle pareti di separazione	- Utilizzo piante nello spazio vetrato	-
Flessibilità	- Pelle adattabile a diverse tipologie di strutture esistenti - Funzionamento della pelle e adattabilità alle condizioni climatiche stagionali - Ampliamento spazio abitativo possibile in ogni direzione a seconda del miglior orientamento - Adattabilità a ogni dimensione	-	- Parti vetrate fuori modulo per sopperire alle tolleranze di larghezza e lunghezza - Mobilità chiusure trasparenti	-
Modularità	Struttura modellata in funzione dei moduli vetrati	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno	-	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	Effetto schermante delle celle infravetro	Effetto schermante dei pannelli	-
-	-	Serbatoio accumulato (comune con ACS)	-	Serbatoio accumulato termico	- Serbatoio accumulato acqua piovana - Serbatoio accumulato acque chiare e scure - Serbatoio accumulato ACS (comune con riscaldamento)
- Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra - Cassetta con materiali a cambiamento di fase che raffredda l'aria in ingresso		- Radiatori a basse T - Pompa di calore a ciclo refrigerante - Riscaldatore elettrico per aumentare T - Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra	- Efficienza 16,5% del modulo, 19,2% delle celle - Ottimizzatori di potenza	- Pompa di calore a ciclo refrigerante - Pompa di calore ausiliare che funziona in ambiente - Produzione anche in assenza di radiazione solare - Raffrescamento delle celle PV con miglioramento efficienza - Riscaldatore elettrico per aumentare T	Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni
-	-	-	-	-	-
- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	-	-	-
-	-	-	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle - Facilità di sostituzione dei pannelli	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle	- Tubi in PVC
-	-	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente - 20 moduli sul tetto, 5 in facciata	Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente	-

<i>Innovazione</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione tra pelle e giardino: nuovo spazio ottenuto da ottimizzazione dell'esistente grazie all'adattabilità della pelle</li> <li>- Rivalorizzazione del patrimonio esistente</li> <li>- Intervento di rivalutazione sia architettonica che energetica</li> </ul>	-	Funzionamento della pelle come serra o spazio ventilato	-
<i>Sostenibilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Miglioramento spaziale: utilizzo in ogni stagione dello spazio vetrato</li> <li>- Miglioramento energetico: comportamento adattabile in funzione della stagione</li> <li>- Integrazione tra giardino e pelle</li> <li>- Rivalorizzazione del patrimonio esistente e del heritage culturale</li> <li>- Biodiversità grazie a giardino</li> <li>- Materiali locali per giardino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"</li> <li>- Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente</li> <li>- Telai in materiale plastico riciclato</li> </ul>	Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con esistente</li> <li>- Integrazione con camini di ventilazione e serra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con esistente</li> <li>- Integrazione con camini di ventilazione</li> </ul>	Integrazione con esistente	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione con esistente</li> <li>- Raffrescamento PV</li> </ul>	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiali a cambiamento di fase: durabilità alta e nessun costo operativo e di manutenzione</li> <li>- Quasi totale uso della ventilazione naturale</li> </ul>	-	Utilizzo aria preriscaldata della spazio cuscinetto	Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti</li> <li>- Integrazione con PV: migliorarne efficienza e al tempo stesso produrre ACS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni</li> <li>- Incremento della consapevolezza del consumo idrico tramite contatori visibili</li> <li>- Limitazione dell'acqua in fogna grazie a tetto verde</li> </ul>

*Tabella 60 - Analisi del progetto Prêt à Loger, University of Delft*

Ventilazione naturale	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	La morfologia dell'edificio e l'assenza di elementi separatori interni favorisce la ventilazione naturale	-	Ventilazione notturna per il raffreddamento dei PCM grazie alle aperture contrapposte su più livelli	-
<b>C.02_Gable House</b>	Spazio interno prevalente aperto per un migliore flusso di aria naturale	-	Ampie vetrate sul lato sud, per favorire la ventilazione naturale	-
<b>C.03_WaterShed</b>	-	-	Presenza di lucernari su pareti contrapposte, che favoriscono il naturale movimento dell'aria attraverso l'edificio	-
<b>C.04_INhome</b>	Geometria tradizionale americana ottimizzata per creare ventilazione naturale tramite lucernari (alti) e ampie superfici apribili (in basso)	-	- Lucernari ad azionamento meccanico, tramite sensori, per ottimizzare la ventilazione naturale in base alle condizioni del contesto - Ampie finestre creano, in abbinamento ai lucernari, moti d'aria naturali	-
<b>C.05_Canopea</b>	Ventilazione trasversale	-	Sistema di oscuramento con lamelle in vetro orientabili per permettere la ventilazione	-
<b>C.06_Patio 2.12</b>	- Ventilazione trasversale - Effetto camino con camini solari in copertura - Pressioni e depressioni locali create dal vento grazie a forma spigolata dell'involucro	Convogliamento aria della facciata ventilata raffrescata all'interno ed espulsa dai camini solari	- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")	- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna") - Camini solari
<b>C.07_LISI The House</b>	Pianta aperta, "open space"	-	Fronte nord e sud con parete vetrata apribile, per permettere una efficace ventilazione trasversale	-
<b>C.08_DesertSol</b>	-	-	Ampie vetrate sulla facciata sud	-
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- Ventilazione trasversale - Effetto camino - Logge contrapposte	-	- Posizionamento su facciate opposte - Lucernari in copertura (effetto camino)	-
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	- Effetto camino - Ventilazione trasversale	-	Mobilità delle chiusure vetrate per permettere ventilazione	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Passaggi d'aria integrati con arredo	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Tabella 61 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per ottenere ventilazione naturale



Regolazione degli apporti solari	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA	
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento
<b>C.01_Team Germany</b>	Forma compatta con apertura schermate dal rivestimento continuo, che in corrispondenza delle aperture, prende la funzione di frangisole	PV orientabili come rivestimento esterno	- Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza - Veneziane integrate nei serramenti (dove non schermati da frangisole)
<b>C.02_Gable House</b>	Aperture principalmente verso sud, per massimizzare i guadagni solari in regime invernale	-	Schermature scorrevoli sulle grandi aperture del lato sud - Piccole aperture sulle altre tre facciate, per minimizzare le dispersioni
<b>C.03_WaterShed</b>	Giardino verticale a schermatura del lato nord-ovest	-	Lucernari su tutto il lato nord e sud, protetti dalla radiazione diretta da aggetti della copertura, scelta di serramenti performanti - aperture limitate in direzione est ed ovest per la difficoltà del controllo degli apporti solari
<b>C.04_INhome</b>	-	-	- Lucernari per illuminazione indiretta - Grandi aperture a sud per favorire l'illuminazione naturale - Aggetti studiati per minimizzare la radiazione diretta in regime estivo (surriscaldamento), permettendo l'ingresso di radiazione diffusa
<b>C.05_Canopea</b>	- Celle solari in doppio vetro - Tende esterne e lamelle in vetro	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Facciata ventilata su entrambi i lati	- Triplo vetro $g = 0,5$ - Sistema di oscuramento con tende esterne - Doppia pelle con serramenti scorrevoli - Persiane autoavvolgenti
<b>C.06_Patio 2.12</b>	- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo - Stagni con fontane per mitigare l'aria esterna	- Effetto evaporativo dello strato di rivestimento in ceramica realizzato con sistema di irrigazione - Facciata ventilata raffrescata con evaporazione acqua da stagno - Isolamento termico 10 cm lana di roccia - Strato riflettente che migliora la dispersione della radiazione solare - Utilizzo colori chiari	- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna") - Triplo vetro basso emissivo
<b>C.07_LISI The House</b>	Configurazione della copertura e delle schermature modificabile in base alle condizioni climatiche e alle esigenze dell'utenza	-	Schermature in tessuto (curtain) per regolare il flusso di energia solare incidente sulle zone vetrate e sul patio
<b>C.08_DesertSol</b>	Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari	-	- Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari in base alle condizioni climatiche stagionali - Tende a controllo manuale poste sulle aperture del lato nord e sud permettono di regolare il flusso di radiazione solare in ingresso
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- Schermatura mobile in facciata e copertura - Sistema di imbotte per i serramenti - Logge contrapposte - Balaustra loggia sud - Orientamento ottimale Est-Ovest dell'asse maggiore	- Isolamento termico min 20 cm in doppio strato, tra la struttura (bassa densità) e cappotto (alta densità) - Facciate ventilate	- Bassi g - Rivestimenti bassoemissivi - Posizione e dimensioni per captare radiazione in inverno
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	Orientamento della pelle: vetro a sud, isolamento a nord	- Maggior isolamento nella parte a nord - Facciata ventilata a sud	- Posizionamento a sud della pelle - Schermatura in pannelli scorrevoli al di sotto della pelle

TECNOLOGIA	IMPIANTI					
Chiusure Orizzontali	Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	Pannelli fotovoltaici integrati nel sistema di oscuramento, come frangisole mobili e regolabili	-	-
Piccolo porticato che regola gli apporti solari, limitando la radiazione diretta sulla facciata	-	-	-	-	-	-
- Ampie porzioni della copertura aggettanti, riparando da radiazione diretta la zona di garden-deck - Con l'impiego di software (Energy Plus) è stata valutata la correlazione tra lunghezza degli aggetti e energia annua per raffreddamento/riscaldamento	-	-	-	Pannelli fotovoltaici posizionati su elemento verticale di schermatura (oltre che in copertura)	Collettore solare montato verticalmente aiuta a schermare il lato sud-est dell'edificio	-
- Scelta della lunghezza degli aggetti in base ad analisi parametriche, per minimizzare il carico HVAC su base annua	-	-	-	-	-	-
- Pannelli PVT - Doppi vetri con celle PV - Pittura simil celle	-	-	-	Schermatura celle PV tra doppi vetri	Schermatura pannelli ibridi PVT	-
- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna") - Isolamento termico 11 cm lana di roccia	Serbatoio accumulo termico	-	-	-	-	Sistema di irrigazione per creare effetto evaporativo in facciata
Tetto mobile con sensori ed attuatori per modificare la propria configurazione in base alle condizioni climatiche (possibilità di modifiche da parte dell'utenza mediante app)	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
- Isolamento termico min 20 cm - Micro ventilazione tra copertura e PV	-	-	-	Pannelli su schermatura mobile (scorrevole e pieghevole) in facciata e copertura	Installazione del "Solar Box" su balastra della loggia	-
Tetto verde	-	-	-	Effetto schermante delle celle infravetro	Effetto schermante dei pannelli	-

Tabella 62 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per regolare gli apporti solari

Accumulo e sfasamento	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	-	Inserimento di Phase-changing-material (PCM) nelle chiusure e nelle partizioni; comportamento passivo, il calore viene accumulato nelle pareti	-	Inserimento di PCM nel controsoffitto per creare limitare i picchi di temperatura; comportamento semi-attivo, poiché regolando la velocità del flusso d'aria nel sistema di ventilazione, si agisce sulla quantità di energia che raggiunge il PCM
<b>C.02_Gable House</b>	-	-	-	-
<b>C.03_WaterShed</b>	La geometria delle falde (impluvio) permette di raccogliere le acque piovane e di conservarle in una cisterna per poterle riutilizzare per l'irrigazione	-	-	Posizionamento di una chiusura orizzontale capacitiva (terreno) sulla falda nord
<b>C.04_INhome</b>	-	-	-	-
<b>C.05_Canopea</b>	Bassa inerzia per permettere rapidi adattamenti alle variazioni climatiche	- Maggiore inerzia data da finitura in pannelli in terra - In generale, inerzia bassa per risposta termica rapida	-	-
<b>C.06_Patio 2.12</b>	-	- Aria rinfrescata da effetto evaporativo nello strato di ventilazione viene incanalato e trasportato all'interno - Utilizzo colori scuri	-	-
<b>C.07_LISI The House</b>	Disponibilità di vani tra il piano di calpestio (rialzato) e il suolo per il posizionamento di serbatoi di accumulo idrico	-	-	Accumulo posto al di sotto del pavimento dell'edificio, realizzato mediante serbatoi per accumulo idrico
<b>C.08_DesertSol</b>	-	-	-	-
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	Distribuzione uniforme perimetrale delle pareti capacitive	Pareti capacitive realizzate tramite rivestimento in sabbia in tubi di alluminio	-	-
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	-	Utilizzo di materiale a cambiamento di fase	-	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
La velocità dell'aria nel sistema di ventilazione regola la quantità di energia accumulata nel PCM del controsoffitto	-	-	-	-	Accumulo e recupero di acqua piovana per irrigare il verde di pertinenza
-	-	-	-	-	Serbatoio di accumulo per ACS e per acque grigie
-	-	-	-	-	- cisterna per accumulo di acqua piovana per irrigare
-	-	-	-	-	Serbatoio cilindrico all'interno del garage, in posizione sempre ombreggiata
Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfasamento di 12h nel fornire aria calda/fredda	Serbatoio di accumulo termico	Serbatoio di accumulo termico	Batterie di accumulo	- Serbatoio d'accumulo - Batterie di accumulo	Serbatoio acque grigie/nere, acqua piovana, acque chiare
Serbatoio accumulo termico	Serbatoio accumulo termico	Serbatoio accumulo termico	Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	- Serbatoio accumulo termico - Serbatoio espansione - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-10 serbatoi e 3 stagni esterni - Recupero acque piovane
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	- Serbatoio per l'accumulo di acqua calda proveniente dall'impianto solare con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature	- Accumulo di acqua per l'irrigazione e per il consumo domestico
-	Serbatoio accumulo		Connessione alla rete, ma strategia volta a massimizzare il rapporto produzione/consumo immediato	Serbatoio accumulo	3 Serbatoi: acque chiare, acque nere/grigie, acque meteoriche
-	-	Serbatoio accumulo (comune con ACS)	-	Serbatoio accumulo termico	- Serbatoio accumulo acqua piovana - Serbatoio accumulo acque chiare e scure - Serbatoio accumulo ACS (comune con riscaldamento)

Tabella 63 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate in materia di accumulo

Efficienza energetica	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	Volume relativamente compatto ma con grande superficie a disposizione per il posizionamento di PV (facendo attenzione che la superficie disperdente avesse bassissimi valori di U)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro</li> <li>- Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia</li> </ul>	Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro</li> <li>- Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia</li> </ul>
<b>C.02_Gable House</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forma compatta, con un vantaggioso rapporto S/V</li> <li>- Esposizione ottimale per massimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale</li> </ul>	Isolamento con schiuma poliuretanica a celle chiuse	Serramenti altamente performanti e con esposizione ottimale per massimizzare i guadagni invernali	-
<b>C.03_WaterShed</b>	Geometria ottimizzata per limitare i carichi in stagione estiva e massimizzare gli apporti solari in quella invernale	Valutazione dell'influenza delle prestazioni della chiusura (U, R) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampie superfici vetrate sul lato nord e sud, con serramenti performanti e opportuni sistemi schermanti, per massimizzare i guadagni invernali e limitare gli apporti estivi</li> <li>- Limitate superfici vetrate sui lati est ed ovest, data la difficoltà di controllo degli apporti in queste direzioni</li> </ul>	Valutazione dell'influenza delle caratteristiche delle chiusure (U, R, lunghezza aggetti) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte - Tetto verde sulla falda rivolta a nord (inclinazione 10°)
<b>C.04_INhome</b>	Morfologia tradizionale ottimizzata per favorire il comportamento passivo dell'edificio	<ul style="list-style-type: none"> <li>SIPS - Structurally Insulated Panles</li> <li>- BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolare l'umidità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali</li> <li>- Scelta delle finestre fatta in via parametrica, tramite software (EnergyPlus), per determinare il tipo di serramento ottimale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aggetti dimensionati per ottimizzare gli apporti solari nell'arco dell'anno</li> <li>- Falda rivolta a sud per massimizzare la superficie disponibile per PV</li> </ul>
<b>C.05_Canopea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forma quadrata compatta</li> <li>- Zone cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto <math>A_{netta}/A_{lorda}</math>)</li> <li>- Facciata ventilata su entrambi i lati</li> </ul>	Effetto serra delle vetrate limita dispersioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto <math>A_{netta}/A_{lorda}</math>)</li> <li>- Produzione solare e schermatura</li> <li>- Strato di isolamento con aria ferma</li> </ul>

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
Recuperatore di calore ad elevata efficienza	Sistema a cascata: prima i sistemi passivi (Muri con PCM, poi soffitto PCM, poi oscuramento con persiane fotovoltaiche), solo infine si ricorre ai sistemi attivi, ossia alla pompa di calore	Aria preriscaldata dal passaggio in intercapedine di parete, dietro a PV, arriva alla pompa di calore meno fredda	PV sulla copertura ed in facciata	-	Riscaldamento con pompa di calore (di HVAC) con ausilio di resistenza elettrica
-	-	-	PV montati su tetto metallico (per facilità di montaggio e equiparabilità di vita utile)	-	Pompa di calore per la produzione di ACS
Recuperatore entalpico	Sistema di raffreddamento e controllo dell'umidità "Liquid Desiccant Waterfall" (LDW), che lavora in abbinamento all'impianto solare (gran parte della frazione latente) + impianto a mini-split (lavorando su carichi inferiori, richiede meno elettricità)	Scambiatore termico all'interno del LDW permette di riscaldare l'ambiente interno con l'extra-calore proveniente dall'impianto solare non impiegato per la produzione di ACS	posizionati sulla falda rivolta a sud del modulo pubblico (inclinazione 12,8°) e su elemento schermante verticale - 100% del fabbisogno energetico dell'edificio	Pannelli solari sottovuoto per la produzione di ACS e per il funzionamento di LDW - 100% del fabbisogno di ACS, 100% della dissecazione in regime estivo e una frazione di riscaldamento in regime invernale	ACS prodotta grazie a pannelli solari
Pompa di calore reversibile alimentata da PV, con addizionale resistenza elettrica per garantire il riscaldamento anche nelle giornate più rigide - Recuperatore entalpico di energia			Dimensionato per ottenere lo net-zero energy balance su base annua	-	Impiego di una pompa di calore aria-acqua per la produzione di ACS
- Scambiatore di calore controcorrente ad aria - Pompa di calore aria-aria connessa al serbatoio ACS - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)	- Inclinazione 5° e rivestimento riflettente sul lato in ombra - Ventilazione migliora efficienza	- Pompa di calore acqua-acqua (JVP) - Migliore efficienza PVT con fluido a bassa T - Ventilazione migliora efficienza - Valorizzazione del raffrescamento radiativo - Formazione di condensa che migliora efficienza	- Minimizzare perdite di pressione - Minimizzare lunghezza tubi - Riutilizzo acque piovane per irrigazione tramite fito purificazione e distribuzione per gravità - Scambiatore calore a tubo tra acque grigie e acqua da riscaldare - Pompa di calore acqua-acqua (JVP) connessa ai serbatoi - Pompa di calore aria-aria individuale

<b>C.06_Patio 2.12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	<p>Ceramica miglior comportamento termico e durabilità</p>	<p>Triplo vetro basso emissivo</p>	<p>-</p>
<b>C.07_LISI The House</b>	<p>Ventilazione naturale in tutto l'ambiente</p>	<p>Scelta delle prestazioni (<math>U &gt; 0,2</math> W/m<sup>2</sup>K) tramite ottimizzazioni da software per evitare fenomeni di surriscaldamento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scelta ottimizzata tramite software (TRNSYS) del tipo di serramento (evitare surriscaldamento estivo e permettere un riscaldamento passivo invernale)</li> <li>- Sistema di schermature mobili e modulabili per regolare il flusso di radiazione solare</li> <li>- Aperture per ventilazione naturale</li> </ul>	<p>Adeguate isolamento termico (<math>U=0,2</math> W/m<sup>2</sup>K per tetto e <math>U=0,3</math> W/m<sup>2</sup>K per controterra)</p>
<b>C.08_DesertSol</b>	<p>Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari e sfruttare la luce naturale durante il giorno</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus)</li> <li>- <math>U=0.33</math> W/m<sup>2</sup>K</li> <li>- Isolamento in Spray foam</li> </ul>	<p>Schermature regolabili per un'ottimizzazione degli apporti solari</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus)</li> <li>- <math>U=0.18</math> W/m<sup>2</sup>K (copertura)</li> <li>- <math>U=2.22</math> W/m<sup>2</sup>K (controterra)</li> <li>- Isolamento in Spray foam</li> </ul>
<b>C.09_Rhyme for DenCity</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme compatte e rettangolari</li> <li>- Basso rapporto S/V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Facciate ventilate</li> <li>- Chiusure capacitive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minor consumo elettrico grazie a lucernari</li> <li>-Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento termico min 20 cm</li> <li>- Microventilazione tra copertura e PV</li> </ul>
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	<p>Spazio cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> <li>- Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<p>Efficienza 20%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PVT</li> <li>- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%)</li> <li>- Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo acque degli stagni per condizionamento</li> <li>- Recupero acque grigie e purificazione e riutilizzo per irrigazione e effetto evaporativo</li> <li>- Riuso acque lavandini per bagni</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore aria-acqua ad elevata efficienza</li> <li>- Recuperatore di calore entalpico</li> </ul>	<p>Impiego di pompa di calore invertibile aria-acqua, per sfruttare la corrente prodotta dall'impianto PV per il riscaldamento/raffrescamento dell'edificio.</p>		<p>Doppio impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per una maggior indipendenza energetica dell'edificio</p>	-	
<p>Recuperatore entalpico di energia</p>	<p>Impianto ad aria con Split</p>	<p>Impianto idronico a pavimento, che sfrutta come primaria fonte di energia l'acqua calda prodotta dall'impianto solare</p>	<p>Due stringhe di pannelli fotovoltaici per una potenza totale di 6,75 kW</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collettore a tubi sottovuoto posto con angolazione ottimizzata per la produzione di acqua calda sia per uso domestico sia per il sistema di riscaldamento a pavimento</li> <li>- Serbatoio per l'accumulo di acqua calda con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature</li> </ul>	-
<p>Scambiatore di calore a rotore essicante con batterie alimentate dalla pompa di calore e ricircolo</p>	<p>Pompa di calore aria/acqua</p>		<p>Risparmio energetico fino al 100 %</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risparmio energetico fino al 85%</li> <li>- Minime perdite per distribuzione grazie a posizione ottimale e isolamento tubi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scambiatore di calore (ACS)</li> <li>- Minime perdite per distribuzione grazie a posizionamento centrale</li> <li>- Minimi cablaggi elettrici pompe grazie a posizionamento centrale</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra</li> <li>- Cassetta con materiali a cambiamento di fase che raffredda l'aria in ingresso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiatori a basse T</li> <li>- Pompa di calore a ciclo refrigerante</li> <li>- Riscaldatore elettrico per aumentare T</li> <li>- Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza 16,5% del modulo, 19,2% delle celle</li> <li>- Ottimizzatori di potenza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompa di calore a ciclo refrigerante</li> <li>- Pompa di calore ausiliare che funziona in ambiente</li> <li>- Produzione anche in assenza di radiazione solare</li> <li>- Raffrescamento delle celle PV con miglioramento efficienza</li> <li>- Riscaldatore elettrico per aumentare T</li> </ul>	<p>Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni</p>

Tabella 64 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio



Comfort termoigrometrico	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	-	Involucro performante		
<b>C.02_Gable House</b>	Favorevole rapporto S/V	Involucro ben isolato, con orientamento delle aperture a sud per ottimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale		
<b>C.03_WaterShed</b>	Volume compatto, con un favorevole rapporto S/V	Involucro altamente isolato, per minimizzare le dispersioni termiche		
<b>C.04_INhome</b>	-	BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolarne l'umidità	Esposizione e prestazioni delle chiusure verticali decise in via parametrica	-
<b>C.05_Canopea</b>	Spazi cuscinetto che riducono il salto termico	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termo-igrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente	-	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termo-igrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente
<b>C.06_Patio 2.12</b>	Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica del salto termico interno-esterno	- Ceramica miglior comportamento termico - Isolamento termico 10 cm lana di roccia	Doppia pelle con effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico	Isolamento termico 11 cm lana di roccia
<b>C.07_LISI The House</b>	-	Adeguate isolamento dell'involucro per evitare fenomeni di surriscaldamento o di condensa superficiale ed interstiziale		
<b>C.08_DesertSol</b>	Geometria che favorisce la ventilazione e la regolazione degli apporti solari per limitare il fenomeno del surriscaldamento degli ambienti interni	Chiusura performante, altamente isolata	- Ampie vetrate per favorire la ventilazione naturale - Sistemi di schermatura regolabile associati a sensori ed attuatori per ottimizzare le prestazioni dell'involucro	Chiusure performanti, altamente isolata
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	Logge fresche anche d'estate grazie a pannelli solari termodinamici	- Controllo umidità con barriera al vapore ed elementi traspiranti - Isolamento termico min 20 cm - Facciate ventilate - Chiusure capacitive	Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico	-
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	Spazio cuscinetto per mitigare salto termico interno-esterno	-	Effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
Pompa di calore aria-aria, abbinata a recuperatore di calore e a scambiatore di calore per la produzione di ACS (che ne migliora il rendimento in fase estiva)			-	-	-
Sistema con pompa di calore reversibile con recuperatore di calore			-	-	-
Sistema composto da due split (uno per ambiente) con unica unità esterna, abbinato a recuperatore di calore entalpico			-	-	-
-	Separazione nel trattamento dei carichi sensibili e latenti, tramite l'adozione di sistemi che adottano l'espansione diretta e il recupero di energia		-	-	-
Mandata a pavimento e ripresa a soffitto	Pannelli radianti a soffitto		Schermatura celle PV tra doppi vetri	Schermatura pannelli ibridi PVT	-
-	Utilizzo acqua stagno esterno	-	-	-	-
- Recuperatore entalpico per umidificare i flussi d'aria in ingresso - Filtri per il controllo della qualità dell'aria in ingresso	Impianto a pavimento per un miglior comfort termico (ridotto gradiente termico)		-	-	-
Controllo dell'umidità e della qualità dell'aria mediante sistema a split con recuperatore entalpico		Pannelli radianti a pavimento, per un ridotto gradiente termico	- Energia elettrica impiegabile per climatizzazione estiva dell'edificio - Dimensionamento per raggiungere un bilancio annuo positivo	- Sistema con serbatoio con doppio scambiatore, per alimentare impianto di riscaldamento e ACS - Collettore a tubi sottovuoto posto a livello del suolo	Accumulo idrico caldo e freddo
Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	Pannelli radianti		Effetto schermatura sulle logge	Processo termodinamico del "Solar Box" raffresca logge	-
-	-	-	-	-	-

Tabella 65 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare il comfort termoigrometrico

Comfort acustico	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	-	Adeguate compromesso tra leggerezza delle chiusure e performance acustiche		
<b>C.02_Gable House</b>	-	-	-	Zona porticato funge da filtro e limita il disturbo acustico all'interno dell'edificio
<b>C.03_WaterShed</b>	-	-	-	-
<b>C.04_INhome</b>	-	-	-	-
<b>C.05_Canopea</b>	- Spazi cuscinetto che smorzano l'onda sonora - Separazione fisica dei 3 moduli abitativi (nucleo tecnico, camera padronale, spazio evolutivo)	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure - Rivestimento più massivo	- Azione schermante della doppia pelle (vetri esterni) - Lamelle in vetro orientabili (- 7dB in configurazione chiusa) - No ponti termici dei sistemi di oscuramento - Triplo vetro - Materiali assorbenti all'interno della doppia pelle per evitare risonanza	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure
<b>C.06_Patio 2.12</b>	-	Utilizzo di sughero per controllare riverbero	Doppia pelle	Utilizzo di sughero per controllare riverbero
<b>C.07_LISI The House</b>	Patio, spazio filtro per attutire i disturbi dall'esterno	-	Privacy modulabile in base alla configurazione degli oscuranti tessili	-
<b>C.08_DesertSol</b>	separazione degli ambienti per un comfort acustico in fase di impiego	-	-	-
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	-	Aumento del comfort grazie a chiusure capacitive	-	-
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	Spazio cuscinetto per smorzare onda sonora	Utilizzo materiali assorbenti sulle pareti di separazione	- Utilizzo piante nello spazio vetrato	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Passaggi acustici: passaggi di ventilazione tra le partizioni che permettono di far circolare aria tra due ambienti e al tempo stesso non far passare il rumore	-	-	-	-	-
- Posizionamento in blocco separato e dedicato			-	Posizionamento in blocco separato e dedicato	-
Piccoli flussi d'aria, con conseguente limitata rumorosità del sistema	Impianto a pavimento, massima silenziosità		-	-	-
Sistema a mini-split, con piccoli flussi d'aria e unità motocondensante all'esterno dell'edificio		-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni	-	-	-

Tabella 66 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per migliorare il comfort acustico interno

Flessibilità	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	Flessibilità interna degli spazi grazie a pareti scorrevoli che permettono di aprire/chiedere ambienti per creare zone di maggior privacy, in un unico open space"single room concept" - ambienti separati solo dalla differente quota (piano terra ambienti pubblici, loggia al piano primo ambiente più intimo e raccolto)	Elementi prefabbricati con possibilità di decidere la configurazione in accordo con le esigenze dell'utente finale		
<b>C.02_Gable House</b>	Open space, per la massima flessibilità degli spazi interni - Arredi riconfigurabili, per meglio adattarsi alle esigenze dell'utenza	-	-	-
<b>C.03_WaterShed</b>	Tre moduli: uno pubblico (living), uno privato (camera) e uno di interconnessione (bagno) - arredamento riconfigurabile per trasformare la camera in ufficio e per rendere la zona living un'ampia sala da pranzo con tavolo per molti commensali	-	-	-
<b>C.04_INhome</b>	-	-	-	-
<b>C.05_Canopea</b>	- Diverse distribuzioni interne possibili (due camere o ufficio o salotto ampio) grazie ad "Armadio Mobile" - Possibilità di ampliare lo spazio interno grazie a loggia - Arredo adattabile alle esigenze - Facile accesso ai locali tecnici per manutenzione - Spazio comune multifunzionale - Corridoio di passaggio comune con accesso al locale tecnico	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali	Doppia pelle con pannelli scorrevoli aumenta spazio abitativo	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali
<b>C.06_Patio 2.0</b>	- Possibilità di disporre i blocchi a piacere, variarne il numero o le funzioni: progettazione customizzata - Variabilità funzionale del patio e adattabilità - Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali di più blocchi - Integrazione Isole Tecnologiche e blocchi prefabbricati - Trasportabilità dei blocchi e adattabilità a diversi siti - Integrazione arredo e servizi tecnologici - Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio	-	Adattamento alle condizioni di luce esterna	-
<b>C.07_LISI The House</b>	Spazio interno riconfigurabile grazie alla possibilità di apertura delle vetrate, per creare un unico ambiente con il patio esterno	-	Vetrate scorrevoli permettono di gestire in maniera dinamica il rapporto tra interno ed esterno	Copertura mobile per permettere differenti configurazioni estetiche, spaziali e prestazioni dell'elemento
<b>C.08_DesertSol</b>	- Due aree separate (living e notte) per maggiore vivibilità degli spazi - Partizioni verticali mobili per aumentare la privacy della zona notte quando richiesto - TV a scomparsa, grazie a contropareti	-	Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari e la privacy interna	-
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- "3D Core", locale di servizio centrale (bagno, cucina, locale tecnico): elemento caratterizzante la distribuzione interna - Spazi multi-funzionali e variabili per diverse funzioni (riposo, lavoro, tempo libero): in 60 m2 si possono avere 2 camere, salotto, ufficio, cucina, bagno per 2, 3 o persone - Facciate variabili con diverse configurazioni - Arrendamento configurabile e movimentabile per avere diverse funzioni	Diverse configurazioni stratigrafiche	Illuminazione naturale ottimale in ogni ambiente e per ogni spazio funzionale	-
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	- Pelle adattabile a diverse tipologie di strutture esistenti - Funzionamento della pelle e adattabilità alle condizioni climatiche stagionali - Ampliamento spazio abitativo possibile in ogni direzione a seconda del miglior orientamento - Adattabilità a ogni dimensione	-	- Parti vetrate fuori modulo per sopperire alle tolleranze di larghezza e lunghezza - Mobilità chiusure trasparenti	-

IMPIANTI				
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)			Facile accessibilità dal piano comune	- Modalità di funzionamento reversibile - Facile accessibilità dal piano comune - Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)
-	Fan coils integrati nell'arredo		- Connessioni indipendenti dei PV e possibilità di espansione del campo solare legata all'aggiunta del modulo - Integrazione architettonica	Integrazione architettonica
- Duplice funzionamento per un singolo impianto, che si adatta alle esigenze estive ed invernali - Impianto a pavimento per una maggiore flessibilità spaziale interna			-	-
-	-	-	-	-
Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	-	-	- Perfetta integrazione architettonica - Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo	Facile accessibilità per manutenzione grazie a collocamento esterno e nel "3D Core"
-	-	-	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle - Facilità di sostituzione dei pannelli	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle

Tabella 67 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per massimizzare la flessibilità degli spazi interni

Modularità	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	Unità abitativa costituita da quattro moduli in legno preassemblati, rinforzati da OBS, interconnessi tra loro in loco	-	-	-
<b>C.02_Gable House</b>	Modularità visiva della facciata sud (8 ft finestra-muro-finestra)	Costruzione a secco, con modulo di piccole dimensioni		
<b>C.03_WaterShed</b>	Tre moduli preassemblati, trasportati in loco e posti in opera, interconnettendo le tre parti	-	-	-
<b>C.04_INhome</b>	-	-	-	-
<b>C.05_Canopea</b>	- 3 moduli principali: nucleo tecnico prefabbricato, camera padronale, spazio flessibile evolutivo - Decomposizione in nuclei, pelle e involucro	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno		
<b>C.06_Patio 2.0</b>	- 4 blocchi prefabbricati - 2 "Isole Tecnologiche" - Possibilità di aggiungere e/p rimuovere blocchi a piacere - Modularità regola organizzazione spaziale e dimensionale dei blocchi	Blocco prefabbricato	-	-
<b>C.07_LISI The House</b>	-	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente	Tutti gli elementi vetrati scorrevoli presentano le medesime dimensioni	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente
<b>C.08_DesertSol</b>	-	Telaio in legno con passo regolare	- Serramenti modulari	Telaio in legno con passo regolare
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- Libertà compositiva legata al modulo, ma ambiente vivibile e articolabile - Semplicità e velocità d'installazione	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno		Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno (pannelli in fibra di legno sulle facce e cuore in truciolato)
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	Struttura modellata in funzione dei moduli vetrati	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno	-	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	- Moduli superiori: 4 file, 11 colonne - Moduli inferiori: 6 file, 11 colonne - 84 m <sup>2</sup>	8 moduli, 14 m <sup>2</sup>	-
-	-	-	Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo	- Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo - 8 PVT, 13,28 m <sup>2</sup>	-
-	-	-	Installazione di due impianti fotovoltaici indipendenti, per garantire maggior affidabilità e modularità dell'impianto e dell'approvvigionamento	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo - 25 file, 3 colonne in copertura - 8 file, 3 colonne in facciata - Dettata da necessità di potenza del PV e dalla dimensione delle logge	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo dettata dalla balaustra	-
-	-	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente - 20 moduli sul tetto, 5 in facciata	Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente	-

Tabella 68 - Piano XZ – Comparazione delle strategie adottate per rendere modulare le parti del progetto



Innovazione	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	-	- Isolamento con pannelli sottovuoto - Impiego di paraffine come PCM	-	Impiego di Sali idrati come PCM
<b>C.02_Gable House</b>	Design che richiama l'architettura tipica delle campagne del Midwest, ma in chiave moderna	-	-	-
<b>C.03_WaterShed</b>	-	-	-	-
<b>C.04_INhome</b>	Geometria tradizionale integrata con sistemi di controllo per minimizzare i consumi dell'edificio e il comfort interno	BioWall	-	-
<b>C.05_Canopea</b>	- Distribuzioni spaziale come singola unità abitativa applicata al concetto di "mini-torre" - Spazio comune che conferisce senso di comunità - Utilizzo acciaio e legno: maggiore libertà distributiva - Corridoio esterno permette visione a 360° e amplia lo spazio abitativo - Armadio mobile - Zone cuscinetto	- Trattamento legno finitura - Utilizzo acciaio e legno - Rivestimento in pannelli in terra - Decomposizione in nuclei, pelle e involucro - Pannelli VIP (Vacuum Insulated Panel)	- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro - Sistema di oscuramento persiane avvolgibili	- Trattamento legno finitura - Utilizzo acciaio e legno- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro
<b>C.06_Patio 2.0</b>	- Reinterpretazione degli spazi abitativi mediterranei e del concetto di patio: spazio di espansione e regolazione climatica - Somma di 4 blocchi prefabbricati molto flessibili (small lofts) con spazio comune centrale (patio) che fa da unione	- Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri - Raffrescamento evaporativo della facciata ventilata	- Luce fornita dal patio e non più relazione diretta interno-esterno tramite le chiusure trasparenti	Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri
<b>C.07_LISI The House</b>	Configurazione variabile per adattarsi alle esigenze dell'utenza e alle condizioni climatiche	-	-	-
<b>C.08_DesertSol</b>	-	-	-	-
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- Logge: forma ad L con doppia esposizione, centro di produzione solare, estensione dell'ambiente interno ("espansione controllata") - Flessibilità dell'arredo - Luce artificiale da sistemi fissi regolabile in base alle funzione dello spazio	- Piastrelle fotoluminescenti - Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno - Telaio multipiano in legno (Platform Frame) - Chiusure capacitive	Oscuramento PV flessibile e scorrevole	Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	- Integrazione tra pelle e giardino: nuovo spazio ottenuto da ottimizzazione dell'esistente grazie all'adattabilità della pelle - Rivalorizzazione del patrimonio esistente - Intervento di rivalutazione sia architettonica che energetica	-	Funzionamento della pelle come serra o spazio ventilato	-

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
Aria esterna ed espulsione della pompa di calore prendono d'aria dall'intercapedine tra isolamento della CV e finitura esterna in frangisole, in regime invernale, per migliorare il rendimento della pompa di calore; in regime estivo, invece, attinge direttamente all'esterno			-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	LWD migliorato, aumentando la superficie di contatto tra aria interna da deumidificare e soluzione salina essiccante		-	-	-
-	- Inserimento di BioWall per migliorare la qualità dell'aria - separazione dei carichi sensibili e latenti		-	-	-
- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT - Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfilamento di 12h nel fornire aria calda/fredda	- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT - Materiali MCP per aumentare capacità termica		- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT	- Integrazione con accumulo termico pannelli radianti, produzione ACS e ventilazione e funzionamento di raffreddamento radiativo	- Scambiatore di calore a - Utilizzo di valvole per inversione del ciclo delle pompe di calore
- Utilizzo acqua stagno esterno - Raffrescamento evaporativo			- Modularità del pannello e adattamento al blocco - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	Sistema di filtraggio per recupero acque grigie
-	-	-	-	-	Sistema di recupero di energia per preriscaldamento dell'acqua della doccia, utilizzando l'acqua di scarico della doccia
-	-	-	-	-	-
Sensore rilevamento livello CO2 e altri agenti inquinanti	Sinergia con comportamento passivo		- PV flessibile, scorrevole e leggero con efficienza da 14% a 20% - Integrazione con solare in configurazione chiusa: calore prodotto viene ceduto e recuperato dal "Solar Box"	- "Solar Box": innovativo pannello termodinamico con pompa di calore a gas (Klea) a bassissima temperatura (-30°C) con pittura idroponica - Produzione 24/7 - Design	- Recupero acque grigie e nere: nessuna produzione di sostanze secondarie tossiche e dannose - Possibilità di totale indipendenza idrica grazie a recupero su tutti i tipi di acque - Rubinetteria innovativa Ideal Standard
- Integrazione con esistente - Integrazione con camini di ventilazione e serra	- Integrazione con esistente - Integrazione con camini di ventilazione	Integrazione con esistente	-	- Integrazione con esistente - Raffrescamento PV	-

Tabella 69 - Piano XZ – Comparazione delle innovazioni adottate dai team

Sostenibilità	Morfologia e Organizzazione Spaziale	TECNOLOGIA		
		Chiusure Verticali Opache	Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento	Chiusure Orizzontali
<b>C.01_Team Germany</b>	-	Impiego di legno locale come principale materiale da costruzione		
<b>C.02_Gable House</b>	Impiego di materiali di recupero (dalla demolizioni di fattorie e vecchie abitazioni tipiche)	Impiego di materiali di recupero e materiali a basso impatto ambientale (di provenienza locale): struttura in bambù lamellare (di rapida crescita), tetto in metallo (riciclabile)		
<b>C.03_WaterShed</b>	-	-	-	Tetto verde è componente attivo che "consuma" CO2; se impiegato per la coltivazione di ortaggi, si limita il fabbisogno di cibo e quindi la CO2 immessa per il trasporto di questo; - Scarti organici debitamente trattati possono diventare fertilizzante per la copertura e le zone verdi di pertinenza dell'edificio
<b>C.04_INhome</b>	-	-	73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali	-
<b>C.05_Canopea</b>	- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio) - Integrazione sociale grazie a spazi comuni - Utilizzo del comportamento passivo	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Legno locale - Materiali naturali - Alto contenuto di riciclabilità	Minor impatto rispetto a plexiglass, maggiore rispetto a policarbonato (ma prestazioni più elevate)	Vedi Chiusure Verticali Opache
<b>C.06_Patio 2.0</b>	- Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali per rispondere al problema della densità - Basso impatto ambientale e facilità di riuso dell'intero blocco (cambiare posto senza cambiare casa) - Comportamento termoregolatore passivo del patio	- Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero - Sistemi prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"		
<b>C.07_LISI The House</b>	-	- Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Impiego di materiali locali, largamente diffusi e facilmente reperibili, con un soddisfacente rapporto costi/prestazioni		
<b>C.08_DesertSol</b>	Geometrie ottimizzate per il clima caldo (in cui si pensa di realizzare il progetto)	Impiego di materiali diffusi e facilmente reperibili nell'arco di pochi km, con ottimizzazione dello spessore dell'isolante in base alle condizioni climatiche nel sito di insediamento		
<b>C.09_Rhome for DenCity</b>	- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio) - Arredo: benefici elevati	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Sabbia per pareti capacitive "in situ" e "non legata": trasporto solo si sistemi leggeri prefabbricati e possibilità di restituire la sabbia all'ambiente	Serramenti che minimizzano perdite e massimizzano apporti gratuiti	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"
<b>C.10_Prêt à Loger</b>	- Miglioramento spaziale: utilizzo in ogni stagione dello spazio vetrato - Miglioramento energetico: comportamento adattabile in funzione della stagione - Integrazione tra giardino e pelle - Rivalorizzazione del patrimonio esistente e del heritage culturale - Biodiversità grazie a giardino - Materiali locali per giardino	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente	- Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente - Telai in materiale plastico riciclato	Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente

IMPIANTI					
Ventilazione	Cooling	Heating	PV	Solare	Idrico
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	- Recupero e filtraggio delle acque grigie da impiegare nell'irrigazione - Recupero dell'acqua piovana per irrigazione, filtrata in "wetland" sottostante al modulo centrale dell'edificio
-	-	-	-	-	Pompa di calore ad elevata efficienza
Integrazione con pompa di calore e sistema PVT: migliore utilizzo di energia elettrica e calore			- Utilizzo come copertura: minor impatto rispetto a un tetto tradizionale - Riciclabile per utilizzo celle in altri PV - Ridotti valori di EPBT e ERF	Produzione calore e elettricità PVT migliorano EPBT e ERF	- Preservazione acque con recupero acqua piovana - Apparecchiatura volte a ridurre consumo idrico
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC			Ridotti valori di EPBT e ERF		- Riutilizzo acque domestiche grazie a trattamento di filtraggio naturale delle piante - Terminali a risparmio idrico - Riutilizzo acqua da lavandini per bagni
Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile				-	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile
-Recuperatore di calore entalpico -Impianto solare come principale fonte energetica			Dimensionato per il fabbisogno energetico annuo dell'edificio	-	-
Integrazione con gli altri sistemi impiantistici					- Riutilizzo acque grigie e/o nere: 91 % di risparmio sul consumo idrico - Risparmio consumo acqua da rubinetti (9l a 5l) - Integrazione con gli altri sistemi impiantistici
- Materiali a cambiamento di fase: durabilità alta e nessun costo operativo e di manutenzione - Quasi totale uso della ventilazione naturale	-	Utilizzo aria pre-riscaldata della spazio cuscinetto	Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti	- Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti - Integrazione con PV: migliorarne efficienza e al tempo stesso produrre ACS	- Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni - Incremento della consapevolezza del consumo idrico tramite contatori visibili - Limitazione dell'acqua in fogna grazie a tetto verde

Tabella 70 - Piano XZ – Comparazione delle strategie di sostenibilità

<i>Morfologia e Organizzazione Spaziale</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	La morfologia dell'edificio e l'assenza di elementi separatori interni favorisce la ventilazione naturale	Spazio interno prevalente aperto per un migliore flusso di aria naturale	-	Geometria tradizionale americana ottimizzata per creare ventilazione naturale tramite lucernari (alti) e ampie superfici apribili (in basso)	Ventilazione trasversale
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	Forma compatta con apertura schermate dal rivestimento continuo, che in corrispondenza delle aperture, prende la funzione di frangisole	Aperture principalmente verso sud, per massimizzare i guadagni solari in regime invernale	Giardino verticale a schermatura del lato nord-ovest	-	- Celle solari in doppio vetro - Tende esterne e lamelle in vetro
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	La geometria delle falde (impluvio) permette di raccogliere le acque piovane e di conservarle in una cisterna per poterle riutilizzare per l'irrigazione	-	Bassa inerzia per permettere rapidi adattamenti alle variazioni climatiche
<i>Efficienza energetica</i>	Volume relativamente compatto ma con grande superficie a disposizione per il posizionamento di PV (facendo attenzione che la superficie disperdente avesse bassissimi valori di U)	- Forma compatta, con un vantaggioso rapporto S/V - Esposizione ottimale per massimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale	Geometria ottimizzata per limitare i carichi in stagione estiva e massimizzare gli apporti solari in quella invernale	Morfologia tradizionale ottimizzata per favorire il comportamento passivo dell'edificio	- Forma quadrata compatta - Zone cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione
<i>Comfort termoigrometrico</i>	-	Favorevole rapporto S/V	Volume compatto, con un favorevole rapporto S/V	-	Spazi cuscinetto che riducono il salto termico
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	- Spazi cuscinetto che smorzano l'onda sonora - Separazione fisica dei 3 moduli abitativi (nucleo tecnico, camera padronale, spazio evolutivo)

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilazione trasversale</li> <li>- Effetto camino con camini solari in copertura</li> <li>- Pressioni e depressioni locali create dal vento grazie a forma spigolata dell'involucro</li> </ul>	Pianta aperta, "open space"	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilazione trasversale</li> <li>- Effetto camino</li> <li>- Logge contrapposte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effetto camino</li> <li>- Ventilazione trasversale</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Stagni con fontane per mitigare l'aria esterna</li> </ul>	Configurazione della copertura e delle schermature modificabile in base alle condizioni climatiche e alle esigenze dell'utenza	Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schermatura mobile in facciata e copertura</li> <li>- Sistema di imbotte per i serramenti</li> <li>- Logge contrapposte</li> <li>- Balaustra loggia sud</li> <li>- Orientamento ottimale Est-Ovest dell'asse maggiore</li> </ul>	Orientamento della pelle: vetro a sud, isolamento a nord
-	Disponibilità di vani tra il piano di calpestio (rialzato) e il suolo per il posizionamento di serbatoi di accumulo idrico	-	Distribuzione uniforme perimetrale delle pareti capacitive	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica a comportamento passivo</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	Ventilazione naturale in tutto l'ambiente	Geometria ottimizzata per favorire la regolazione degli apporti solari e sfruttare la luce naturale durante il giorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme compatte e rettangolari</li> <li>- Basso rapporto S/V</li> </ul>	Spazio cuscinetto per miglioramento comfort, prestazioni energetiche e protezione
Patio fa da spazio cuscinetto di regolazione termica del salto termico interno-esterno	-	Geometria che favorisce la ventilazione e la regolazione degli apporti solari per limitare il fenomeno del surriscaldamento degli ambienti interni	Logge fresche anche d'estate grazie a pannelli solari termodinamici	Spazio cuscinetto per mitigare salto termico interno-esterno
-	Patio, spazio filtro per attutire i disturbi dall'esterno	Separazione degli ambienti per un comfort acustico in fase di impiego	-	Spazio cuscinetto per smorzare onda sonora

<i>Flessibilità</i>	<p>Flessibilità interna degli spazi grazie a pareti scorrevoli che permettono di aprire/chiedere ambienti per creare zone di maggior privacy, in un unico open space "single room concept"</p> <p>- ambienti separati solo dalla differente quota (piano terra ambienti pubblici, loggia al piano primo ambiente più intimo e raccolto)</p>	<p>Open space, per la massima flessibilità degli spazi interni</p> <p>- Arredi riconfigurabili, per meglio adattarsi alle esigenze dell'utenza</p>	<p>Tre moduli: uno pubblico (living), uno privato (camera) e uno di interconnessione (bagno)</p> <p>- arredamento riconfigurabile per trasformare la camera in ufficio e per rendere la zona living un'ampia sala da pranzo con tavolo per molti commensali</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diverse distribuzioni interne possibili (due camere o ufficio o salotto ampio) grazie ad "Armadio Mobile"</li> <li>- Possibilità di ampliare lo spazio interno grazie a loggia</li> <li>- Arredo adattabile alle esigenze</li> <li>- Facile accesso ai locali tecnici per manutenzione</li> <li>- Spazio comune multifunzionale</li> <li>- Corridoio di passaggio comune con accesso al locale tecnico</li> </ul>
<i>Modularità</i>	<p>Unità abitativa costituita da quattro moduli in legno preassemblati, rinforzati da OBS, interconnessi tra loro in loco</p>	<p>Modularità visiva della facciata sud (8 ft finestra-muro-finestra)</p>	<p>Tre moduli preassemblati, trasportati in loco e posti in opera, interconnettendo le tre parti</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 moduli principali: nucleo tecnico prefabbricato, camera padronale, spazio flessibile evolutivo</li> <li>- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro</li> </ul>
<i>Innovazione</i>	-	<p>Design che richiama l'architettura tipica delle campagne del Midwest, ma in chiave moderna</p>	-	<p>Geometria tradizionale integrata con sistemi di controllo per minimizzare i consumi dell'edificio e il comfort interno</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribuzioni spaziale come singola unità abitativa applicata al concetto di "mini-torre"</li> <li>- Spazio comune che conferisce senso di comunità</li> <li>- Utilizzo acciaio e legno: maggiore libertà distributiva</li> <li>- Corridoio esterno permette visione a 360° e amplia lo spazio abitativo</li> <li>- Armadio mobile</li> <li>- Zone cuscinetto</li> </ul>
<i>Sostenibilità</i>	-	<p>Impiego di materiali di recupero (dalla demolizioni di fattorie e vecchie abitazioni tipiche)</p>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio)</li> <li>- Integrazione sociale grazie a spazi comuni</li> <li>- Utilizzo del comportamento passivo specialmente nel piano comune</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilità di disporre i blocchi a piacere, variarne il numero o le funzioni: progettazione customizzata</li> <li>- Variabilità funzionale del patio e adattabilità <ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali di più blocchi</li> <li>- Integrazione Isole Tecnologiche e blocchi prefabbricati</li> </ul> </li> <li>- Trasportabilità dei blocchi e adattabilità a diversi siti</li> <li>- Integrazione arredo e servizi tecnologici</li> <li>- Rapporto S/V variabile in funzione dell'apertura o chiusura del patio</li> </ul>	<p>Spazio interno riconfigurabile grazie alla possibilità di apertura delle vetrate, per creare un unico ambiente con il patio esterno</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Due aree separate (living e notte) per maggiore vivibilità degli spazi</li> <li>- Partizioni verticali mobili per aumentare la privacy della zona notte quando richiesto</li> <li>- TV a scomparsa, grazie a contro pareti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "3D Core", locale di servizio centrale (bagno, cucina, locale tecnico): elemento caratterizzante la distribuzione interna</li> <li>- Spazi multi-funzionali e variabili per diverse funzioni (riposo, lavoro, tempo libero): in 60 m2 si possono avere 2 camere, salotto, ufficio, cucina, bagno per 2, 3 o persone</li> <li>- Facciate variabili con diverse configurazioni</li> <li>- Arrendamento configurabile e movimentabile per avere diverse funzioni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelle adattabile a diverse tipologie di strutture esistenti</li> <li>- Funzionamento della pelle e adattabilità alle condizioni climatiche stagionali</li> <li>- Ampliamento spazio abitativo possibile in ogni direzione a seconda del miglior orientamento</li> <li>- Adattabilità a ogni dimensione</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 blocchi prefabbricati</li> <li>- 2 "Isole Tecnologiche"</li> <li>- Possibilità di aggiungere e/p rimuovere blocchi a piacere</li> <li>- Modularità regola organizzazione spaziale e dimensionale dei blocchi</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libertà compositiva legata al modulo, ma ambiente vivibile e articolabile</li> <li>- Semplicità e velocità d'installazione</li> </ul>	<p>Struttura modellata in funzione dei moduli vetriati</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reinterpretazione degli spazi abitativi mediterranei e del concetto di patio: spazio di espansione e regolazione climatica</li> <li>- Somma di 4 blocchi prefabbricati molto flessibili (small lofts) con spazio comune centrale (patio) che fa da unione</li> </ul>	<p>Configurazione variabile per adattarsi alle esigenze dell'utenza e alle condizioni climatiche</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logge: forma ad L con doppia esposizione, centro di produzione solare, estensione dell'ambiente interno ("espansione controllata")</li> <li>- Flessibilità dell'arredo</li> <li>- Luce artificiale da sistemi fissi regolabile in base alle funzioni dello spazio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione tra pelle e giardino: nuovo spazio ottenuto da ottimizzazione dell'esistente grazie all'adattabilità della pelle</li> <li>- Rivalorizzazione del patrimonio esistente</li> <li>- Intervento di rivalutazione sia architettonica che energetica</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilità di raggruppamenti verticali e/o orizzontali per rispondere al problema della densità</li> <li>- Basso impatto ambientale e facilità di riuso dell'intero blocco (cambiare posto senza cambiare casa)</li> <li>- Comportamento termoregolatore passivo del patio</li> </ul>	-	<p>Geometrie ottimizzate per il clima caldo (in cui si pensa di realizzare il progetto)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficienza socio-culturale al problema della densità abitativa grazie alla gestione spaziale (variabilità della configurazione abitativa) e funzionale (variabilità del tipo di funzione dello spazio)</li> <li>- Arredo: benefici elevati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Miglioramento spaziale: utilizzo in ogni stagione dello spazio vetrato</li> <li>- Miglioramento energetico: comportamento adattabile in funzione della stagione</li> <li>- Integrazione tra giardino e pelle</li> <li>- Rivalorizzazione del patrimonio esistente e del heritage culturale</li> <li>- Biodiversità grazie a giardino</li> <li>- Materiali locali per giardino</li> </ul>

Tabella 71 - Piano YZ – Comparazione tra scelte morfologiche con valutazione degli effetti connessi



<i>Chiusure Verticali Opache</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	PV orientabili come rivestimento esterno	-	-	-	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Facciata ventilata su entrambi i lati
<i>Accumulo e sfasamento</i>	Inserimento di Phase-changing-material (PCM) nelle chiusure e nelle partizioni; comportamento passivo, il calore viene accumulato nelle pareti	-	-	-	- Maggiore inerzia data da finitura in pannelli in terra - In generale, inerzia bassa per risposta termica rapida
<i>Efficienza energetica</i>	- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro - Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia	Isolamento con schiuma poliuretanicca a celle chiuse	Valutazione dell'influenza delle prestazioni della chiusura (U, R) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte	SIPS - Structurally Insulated Panles - BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolarne l'umidità	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Facciata ventilata su entrambi i lati
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Involucro performante	Involucro ben isolato, con orientamento delle aperture a sud per ottimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale	Involucro altamente isolato, per minimizzare le dispersioni termiche	BioWall, pareti filtranti con vegetazione per migliorare la qualità dell'aria e regolarne l'umidità	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termo-igrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente
<i>Comfort acustico</i>	Adeguatezza compromessa tra leggerezza delle chiusure e performance acustiche	-	-	-	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure - Rivestimento più massivo
<i>Flessibilità</i>	Elementi prefabbricati con possibilità di decidere la configurazione in accordo con le esigenze dell'utente finale	-	-	-	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
Convogliamento aria della facciata ventilata raffrescata all'interno ed espulsa dai camini solari	-	-	-	-
- Effetto evaporativo dello strato di rivestimento in ceramica realizzato con sistema di irrigazione - Facciata ventilata raffrescata con evaporazione acqua da stagno - Isolamento termico 10 cm lana di roccia - Strato riflettente che migliora la dispersione della radiazione solare - Utilizzo colori chiari	-	-	- Isolamento termico min 20 cm in doppio strato, tra la struttura (bassa densità) e cappotto (alta densità) - Facciate ventilate	- Maggior isolamento nella parte a nord - Facciata ventilata a sud
- Aria rinfrescata da effetto evaporativo nello strato di ventilazione viene incanalato e trasportato all'interno - Utilizzo colori scuri	-	-	Pareti capacitive realizzate tramite rivestimento in sabbia in tubi di alluminio	Utilizzo di materiale a cambiamento di fase
Ceramica miglior comportamento termico e durabilità	Scelta delle prestazioni ( $U > = 0,2$ W/m <sup>2</sup> K) tramite ottimizzazioni da software per evitare fenomeni di surriscaldamento	- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus) - $U=0.33$ W/m <sup>2</sup> K - Isolamento in Spray foam	- Isolamento termico min 20 cm - Facciate ventilate - Chiusure capacitive	-
- Ceramica miglior comportamento termico - Isolamento termico 10 cm lana di roccia	Adeguate isolamento dell'involucro per evitare fenomeni di surriscaldamento o di condensa superficiale ed interstiziale	Chiusura performante, altamente isolata	- Controllo umidità con barriera al vapore ed elementi traspiranti - Isolamento termico min 20 cm - Facciate ventilate - Chiusure capacitive	-
Utilizzo di sughero per controllare riverbero	-	-	Aumento del comfort grazie a chiusure capacitive	Utilizzo materiali assorbenti sulle pareti di separazione
-	-	-	Diverse configurazioni stratigrafiche	-

<i>Modularità</i>	-	Costruzione a secco, con modulo di piccole dimensioni	-	-	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
<i>Innovazione</i>	- Isolamento con pannelli sottovuoto - Impiego di paraffine come PCM	-	-	BioWall	- Trattamento legno finitura - Utilizzo acciaio e legno - Rivestimento in pannelli in terra - Decomposizione in nuclei, pelle e involucro - Pannelli VIP (Vacuum Insulated Panel)
<i>Sostenibilità</i>	Impiego di legno locale come principale materiale da costruzione	Impiego di materiali di recupero e materiali a basso impatto ambientale (di provenienza locale): struttura in bambù lamellare (di rapida crescita), tetto in metallo (riciclabile)	-	-	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Legno locale - Materiali naturali - Alto contenuto di riciclabilità

Blocco prefabbricato	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente	Telaio in legno con passo regolare	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
- Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri - Raffrescamento evaporativo della facciata ventilata	-	-	- Piastrelle fotoluminescenti - Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno - Telaio multipiano in legno (Platform Frame) - Chiusure capacitive	-
- Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero - Sistemi prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"	- Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Impiego di materiali locali, largamente diffusi e facilmente reperibili, con un soddisfacente rapporto costi/prestazioni	Impiego di materiali diffusi e facilmente reperibili nell'arco di pochi km, con ottimizzazione dello spessore dell'isolante in base alle condizioni climatiche nel sito di insediamento	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Sabbia per pareti capacitive "in situ" e "non legata": trasporto solo si sistemi leggeri prefabbricati e possibilità di restituire la sabbia all'ambiente quando smantellata	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente

Tabella 72 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure verticali opache

<i>Chiusure Verticali Trasparenti e Sistemi di Oscuramento</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	Ventilazione notturna per il raffreddamento dei PCM grazie alle aperture contrapposte su più livelli	Ampie vetrate sul lato sud, per favorire la ventilazione naturale	Presenza di lucernari su pareti contrapposte, che favoriscono il naturale movimento dell'aria attraverso l'edificio	- Lucernari ad azionamento meccanico, tramite sensori, per ottimizzare la ventilazione naturale in base alle condizioni del contesto - Ampie finestre creano, in abbinamento ai lucernari, moti d'aria naturali	Sistema di oscuramento con lamelle in vetro orientabili per permettere la ventilazione
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	- Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza - Veneziane integrate nei serramenti (dove non schermati da frangisole)	Schermature scorrevoli sulle grandi aperture del lato sud - Piccole aperture sulle altre tre facciate, per minimizzare le dispersioni	Lucernari su tutto il lato nord e sud, protetti dalla radiazione diretta da aggetti della copertura, scelta di serramenti performanti - aperture limitate in direzione est ed ovest per la difficoltà del controllo degli apporti solari	- Lucernari per illuminazione indiretta - Grandi aperture a sud per favorire l'illuminazione naturale - Aggetti studiati per minimizzare la radiazione diretta in regime estivo (surriscaldamento), permettendo l'ingresso di radiazione diffusa	- Triplo vetro g = 0,5 - Sistema di oscuramento con tende esterne - Doppia pelle con serramenti scorrevoli - Persiane autoavvolgenti
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-	-
<i>Efficienza energetica</i>	Bris soleil fotovoltaici regolabili a seconda delle condizioni di luce e delle preferenze dell'utenza	Serramenti altamente performanti e con esposizione ottimale per massimizzare i guadagni invernali	- Ampie superfici vetrate sul lato nord e sud, con serramenti performanti e opportuni sistemi schermanti, per massimizzare i guadagni invernali e limitare gli apporti estivi - Limitate superfici vetrate sui lati est ed ovest, data la difficoltà di controllo degli apporti in queste direzioni	- 73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali - Scelta delle finestre fatta in via parametrica, tramite software (EnergyPlus), per determinare il tipo di serramento ottimale	Effetto serra delle vetrate limita dispersioni
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Involucro performante	Involucro ben isolato, con orientamento delle aperture a sud per ottimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale	Involucro altamente isolato, per minimizzare le dispersioni termiche	Esposizione e prestazioni delle chiusure verticali decise in via parametrica	-
<i>Comfort acustico</i>	Adeguatezza compromessa tra leggerezza delle chiusure e performance acustiche	-	-	-	- Azione schermante della doppia pelle (vetri esterni) - Lamelle in vetro orientabili (- 7dB in configurazione chiusa) - No ponti termici dei sistemi di oscuramento - Triplo vetro - Materiali assorbenti all'interno della doppia pelle per evitare risonanza

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> </ul>	<p>Fronte nord e sud con parete vetrata apribile, per permettere una efficace ventilazione trasversale</p>	<p>Ampie vetrate sulla facciata sud</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posizionamento su facciate opposte</li> <li>- Lucernari in copertura (effetto camino)</li> </ul>	<p>Mobilità delle chiusure vetrate per permettere ventilazione</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento</li> <li>- Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna")</li> <li>- Triplo vetro basso emissivo</li> </ul>	<p>Schermature in tessuto (curtain) per regolare il flusso di energia solare incidente sulle zone vetrate e sul patio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari in base alle condizioni climatiche stagionali</li> <li>- Tende a controllo manuale poste sulle aperture del lato nord e sud permettono di regolare il flusso di radiazione solare in ingresso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassi g</li> <li>- Rivestimenti bassoemissivi</li> <li>- Posizione e dimensioni per captare radiazione in inverno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posizionamento a sud della pelle</li> <li>- Schermatura in pannelli scorrevoli al di sotto della pelle</li> </ul>
-	-	-	-	-
<p>Triplo vetro basso emissivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scelta ottimizzata tramite software (TRNSYS) del tipo di serramento (evitare surriscaldamento estivo e permettere un riscaldamento passivo invernale)</li> <li>- Sistema di schermature mobili e modulabili per regolare il flusso di radiazione solare</li> <li>- Aperture per ventilazione naturale</li> </ul>	<p>Schermature regolabili per un'ottimizzazione degli apporti solari</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minor consumo elettrico grazie a lucernari</li> <li>-Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico</li> </ul>	-
<p>Doppia pelle con effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico</p>	<p>Adeguate isolamento dell'involucro per evitare fenomeni di surriscaldamento o di condensa superficiale ed interstiziale</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampie vetrate per favorire la ventilazione naturale</li> <li>- Sistemi di schermatura regolabile associati a sensori ed attuatori per ottimizzare le prestazioni dell'involucro</li> </ul>	<p>Vetrocamera davanti al telaio per minimizzare ponte termico</p>	<p>Effetto serra o spazio ventilato per mitigare salto termico</p>
<p>Doppia pelle</p>	<p>Privacy modulabile in base alla configurazione degli oscuranti tessili</p>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizzo piante nello spazio vetrato</li> </ul>

<i>Flessibilità</i>	Elementi prefabbricati con possibilità di decidere la configurazione in accordo con le esigenze dell'utente finale	-	-	-	Doppia pelle con pannelli scorrevoli aumenta spazio abitativo
<i>Modularità</i>	-	Costruzione a secco, con modulo di piccole dimensioni	-	-	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
<i>Innovazione</i>	-	-	-	-	- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro - Sistema di oscuramento persiane avvolgibili
<i>Sostenibilità</i>	Impiego di legno locale come principale materiale da costruzione	Impiego di materiali di recupero e materiali a basso impatto ambientale (di provenienza locale): struttura in bambù lamellare (di rapida crescita), tetto in metallo (riciclabile)	-	73% delle finestre è rivolta a sud per favorire l'illuminazione naturale degli ambienti interni, limitando l'uso di luci artificiali	Minor impatto rispetto a plexiglass, maggiore rispetto a policarbonato (ma prestazioni più elevate)

Adattamento alle condizioni di luce esterna	Vetrate scorrevoli permettono di gestire in maniera dinamica il rapporto tra interno ed esterno	Pannelli schermanti scorrevoli in metallo perforato posti sulle aperture del lato sud permettono di modulare gli apporti solari e la privacy interna	Illuminazione naturale ottimale in ogni ambiente e per ogni spazio funzionale	- Parti vetrate fuori modulo per sopperire alle tolleranze di larghezza e lunghezza - Mobilità chiusure trasparenti
-	Tutti gli elementi vetrati scorrevoli presentano le medesime dimensioni	- Serramenti modulari	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno	-
- Luce fornita dal patio e non più relazione diretta interno-esterno tramite le chiusure trasparenti	-	-	Oscuramento PV flessibile e scorrevole	Funzionamento della pelle come serra o spazio ventilato
- Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero - Sistemi prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"	- Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Impiego di materiali locali, largamente diffusi e facilmente reperibili, con un soddisfacente rapporto costi/prestazioni	Impiego di materiali diffusi e facilmente reperibili nell'arco di pochi km, con ottimizzazione dello spessore dell'isolante in base alle condizioni climatiche nel sito di insediamento	Serramenti che minimizzano perdite e massimizzano apporti gratuiti	- Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente - Telai in materiale plastico riciclato

Tabella 73 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure verticali trasparenti e sistemi di oscuramento



<i>Chiusure Orizzontali</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	Piccolo porticato che regola gli apporti solari, limitando la radiazione diretta sulla facciata	- Ampie porzioni della copertura aggettanti, riparando da radiazione diretta la zona di garden-deck - Con l'impiego di software (Energy Plus) è stata valutata la correlazione tra lunghezza degli aggetti e energia annua per raffreddamento/riscaldamento	- Scelta della lunghezza degli aggetti in base ad analisi parametriche, per minimizzare il carico HVAC su base annua	- Pannelli PVT - Doppi vetri con celle PV - Pittura simil celle
<i>Accumulo e sfasamento</i>	Inserimento di PCM nel controsoffitto per creare limitare i picchi di temperatura; comportamento semi-attivo, poiché regolando la velocità del flusso d'aria nel sistema di ventilazione, si agisce sulla quantità di energia che raggiunge il PCM	-	Posizionamento di una chiusura orizzontale capacitiva (terreno) sulla falda nord	-	-
<i>Efficienza energetica</i>	- Impiego di isolamento in pannelli sottovuoto per raggiungere elevate prestazioni dell'involucro - Rivestimento con PV, rende l'involucro un elemento attivo nella produzione di energia	-	Valutazione dell'influenza delle caratteristiche delle chiusure (U, R, lunghezza aggetti) sul quantitativo di energia annua per il riscaldamento/raffrescamento mediante software (Energy Plus), per ottimizzare le scelte - Tetto verde sulla falda rivolta a nord (inclinazione 10°)	- Aggetti dimensionati per ottimizzare gli apporti solari nell'arco dell'anno - Falda rivolta a sud per massimizzare la superficie disponibile per PV	- Isolamento termico min 20 cm, ma spessori contenuti (buon rapporto $A_{netta}/A_{lorda}$ ) - Produzione solare e schermatura - Strato di isolamento con aria ferma
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Involucro performante	Involucro ben isolato, con orientamento delle aperture a sud per ottimizzare gli apporti gratuiti in stagione invernale	Involucro altamente isolato, per minimizzare le dispersioni termiche	-	Pannelli in terra contribuiscono alla regolazione termoigrometrica con assorbimento e rilascio di umidità in funzione delle condizioni in ambiente
<i>Comfort acustico</i>	Adeguatezza compromessa tra leggerezza delle chiusure e performance acustiche	Zona porticato funge da filtro e limita il disturbo acustico all'interno dell'edificio	-	-	- Scelta materiali (lana di roccia, legno poroso) - Risoluzione ponti acustici con strisce resilienti in CDM a base di sughero e neoprene - Separazione tra struttura e chiusure

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna") - Camini solari	-	-	-	-
- Doppia pelle: chiusure trasparenti mobili e oscuramento - Sistema di oscuramento a lamelle mobili (simili a una "vigna") - Isolamento termico 11 cm lana di roccia	Tetto mobile con sensori ed attuatori per modificare la propria configurazione in base alle condizioni climatiche (possibilità di modifiche da parte dell'utenza mediante app)	-	- Isolamento termico min 20 cm - Microventilazione tra copertura e PV	Tetto verde
-	Accumulo posto al di sotto del pavimento dell'edificio, realizzato mediante serbatoi per accumulo idrico	-	-	-
-	Adeguate isolamento termico ( $U=0,2$ W/m <sup>2</sup> K per tetto e $U=0,3$ W/m <sup>2</sup> K per controterra)	- Scelta delle performance ottimali, anche in base al criterio costi/benefici, grazie a software (BEopt e Energy Plus) - $U=0.18$ W/m <sup>2</sup> K (copertura) - $U=2.22$ W/m <sup>2</sup> K (controterra) - Isolamento in Spray foam	- Isolamento termico min 20 cm - Microventilazione tra copertura e PV	-
Isolamento termico 11 cm lana di roccia	Adeguate isolamento dell'involucro per evitare fenomeni di surriscaldamento o di condensa superficiale ed interstiziale	Chiusure performanti, altamente isolata	-	-
Utilizzo di sughero per controllare riverbero	-	-	-	-

<i>Flessibilità</i>	Elementi prefabbricati con possibilità di decidere la configurazione in accordo con le esigenze dell'utente finale	-	-	-	- Scheletro strutturale in acciaio e chiusure in legno - Materiali locali
<i>Modularità</i>	-	Costruzione a secco, con modulo di piccole dimensioni	-	-	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
<i>Innovazione</i>	Impiego di Sali idrati come PCM	-	-	-	- Trattamento legno finitura - Utilizzo acciaio e legno- Decomposizione in nuclei, pelle e involucro
<i>Sostenibilità</i>	Impiego di legno locale come principale materiale da costruzione	Impiego di materiali di recupero e materiali a basso impatto ambientale (di provenienza locale): struttura in bambù lamellare (di rapida crescita), tetto in metallo (riciclabile)	Tetto verde è componente attivo che "consuma" CO2; se impiegato per la coltivazione di ortaggi, si limita il fabbisogno di cibo e quindi la CO2 immessa per il trasporto di questo; - Scarti organici debitamente trattati possono diventare fertilizzante per la copertura e le zone verdi di pertinenza dell'edificio	-	- Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata" - Legno locale - Materiali naturali - Alto contenuto di riciclabilità

-	Copertura mobile per permettere differenti configurazioni estetiche, spaziali e prestazioni dell'elemento	-	-	-
-	Chiusure costituite da elementi prefabbricati, senza tuttavia la presenza di un modulo ricorrente	Telaio in legno con passo regolare	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno (pannelli in fibra di legno sulle facce e cuore in truciolato)	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno
Uso di ceramica in sistemi prefabbricati leggeri	-	-	Prefabbricazione o preassemblaggio di sistemi costruttivi in legno	-
- Materiali selezionati per qualità di riuso, riciclo e basso impatto come legno e sughero - Sistemi prefabbricati o preassemblati: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"	- Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Impiego di materiali locali, largamente diffusi e facilmente reperibili, con un soddisfacente rapporto costi/prestazioni	Impiego di materiali diffusi e facilmente reperibili nell'arco di pochi km, con ottimizzazione dello spessore dell'isolante in base alle condizioni climatiche nel sito di insediamento	Sistemi a secco prefabbricati o preassemblati in legno: impatto di cantiere ridotto (scarti, tempi, ecc), controllata produzione di inquinanti, smantellamento selettivo e riciclo, riuso, "principio a cascata"	Minor materiali da demolizione grazie a riuso dell'esistente

Tabella 74 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a chiusure orizzontali

<i>Ventilazione</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	-	-	-	-
<i>Accumulo e sfasamento</i>	La velocità dell'aria nel sistema di ventilazione regola la quantità di energia accumulata nel PCM del controsoffitto	-	-	-	Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfasamento di 12h nel fornire aria calda/fredda
<i>Efficienza energetica</i>	Recuperatore di calore ad elevata efficienza	-	Recuperatore entalpico	Pompa di calore reversibile alimentata da PV, con addizionale resistenza elettrica per garantire il riscaldamento anche nelle giornate più rigide - Recuperatore entalpico di energia	- Scambiatore di calore controcorrente ad aria - Pompa di calore aria-aria connessa al serbatoio ACS - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Pompa di calore aria-aria, abbinata a recuperatore di calore e a scambiatore di calore per la produzione di ACS (che ne migliora il rendimento in fase estiva)	Sistema con pompa di calore reversibile con recuperatore di calore	Sistema composto da due split (uno per ambiente) con unica unità esterna, abbinato a recuperatore di calore entalpico	-	Mandata a pavimento e ripresa a soffitto
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	Passaggi acustici: passaggi di ventilazione tra le partizioni che permettono di far circolare aria tra due ambienti e al tempo stesso non far passare il rumore
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	-
<i>Innovazione</i>	Aria esterna ed espulsione della pompa di calore prendono d'aria dall'intercapedine tra isolamento della CV e finitura esterna in frangisole, in regime invernale, per migliorare il rendimento della pompa di calore; in regime estivo, invece, attinge direttamente all'esterno	-	-	-	- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT - Sistema di spostamento dei picchi di carico termico (Thermal Air-Phase Shifter): sfasamento di 12h nel fornire aria calda/fredda
<i>Sostenibilità</i>	-	-	-	-	Integrazione con pompa di calore e sistema PVT: migliore utilizzo di energia elettrica e calore

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
Passaggi d'aria integrati con arredo	-	-	-	-
Serbatoio accumulo termico	-	-	-	-
Serbatoio accumulo termico	-	-	-	-
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	- Pompa di calore aria-acqua ad elevata efficienza - Recuperatore di calore entalpico	Recuperatore entalpico di energia	Scambiatore di calore a rotore essicante con batterie alimentate dalla pompa di calore e ricircolo	- Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra - Cassetta con materiali a cambiamento di fase che raffredda l'aria in ingresso
-	- Recuperatore entalpico per umidificare i flussi d'aria in ingresso - Filtri per il controllo della qualità dell'aria in ingresso	Controllo dell'umidità e della qualità dell'aria mediante sistema a split con recuperatore entalpico	Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	-
- Posizionamento in blocco separato e dedicato	Piccoli flussi d'aria, con conseguente limitata rumorosità del sistema	Sistema a mini-split, con piccoli flussi d'aria e unità motocondensante all'esterno dell'edificio	-	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni
-	-	-	Ricambi aria in funzione dei livelli di CO2 rilevati tramite sensore	-
-	-	-	-	-
- Utilizzo acqua stagno esterno - Raffrescamento evaporativo	-	-	Sensore rilevamento livello CO2 e altri agenti inquinanti	- Integrazione con esistente - Integrazione con camini di ventilazione e serra
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile	Recuperatore di calore entalpico	Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	- Materiali a cambiamento di fase: durabilità alta e nessun costo operativo e di manutenzione - Quasi totale uso della ventilazione naturale

Tabella 75 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di ventilazione meccanica

<i>Cooling</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	-	-	-	-
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-	Serbatoio di accumulo termico
<i>Efficienza energetica</i>	Sistema a cascata: prima i sistemi passivi (Muri con PCM, poi soffitto PCM, poi oscuramento con persiane fotovoltaiche), solo infine si ricorre ai sistemi attivi, ossia alla pompa di calore	-	Sistema di raffreddamento e controllo dell'umidità "Liquid Dessiccant Waterfall" (LDW), che lavora in abbinamento all'impianto solare (gran parte della frazione latente) + impianto a mini-split (lavorando su carichi inferiori, richiede meno elettricità)	Pompa di calore reversibile alimentata da PV, con addizionale resistenza elettrica per garantire il riscaldamento anche nelle giornate più rigide - Recuperatore entalpico di energia	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)
<i>Comfort termoisolometrico</i>	Pompa di calore aria-aria, abbinata a recuperatore di calore e a scambiatore di calore per la produzione di ACS (che ne migliora il rendimento in fase estiva)	Sistema con pompa di calore reversibile con recuperatore di calore	Sistema composto da due split (uno per ambiente) con unica unità esterna, abbinato a recuperatore di calore entalpico	Separazione nel trattamento dei carichi sensibili e latenti, tramite l'adozione di sistemi che adottano l'espansione diretta e il recupero di energia	Pannelli radianti a soffitto
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	-
<i>Innovazione</i>	Aria esterna ed espulsione della pompa di calore prendono d'aria dall'intercapedine tra isolamento della CV e finitura esterna in frangisole, in regime invernale, per migliorare il rendimento della pompa di calore; in regime estivo, invece, attinge direttamente all'esterno	-	LWD migliorato, aumentando la superficie di contatto tra aria interna da deumidificare e soluzione salina essiccante	- Inserimento di BioWall per migliorare la qualità dell'aria - separazione dei carichi sensibili e latenti	- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT - Materiali MCP per aumentare capacità termica
<i>Sostenibilità</i>	-	-	-	-	Integrazione con pompa di calore e sistema PVT: migliore utilizzo di energia elettrica e calore

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Serbatoio accumulo termico	-	-	Serbatoio accumulo	-
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC	Impiego di pompa di calore invertibile aria-acqua, per sfruttare la corrente prodotta dall'impianto PV per il riscaldamento/raffrescamento dell'edificio.	Impianto ad aria con Split	Pompa di calore aria/acqua	- Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra - Cassetta con materiali a cambiamento di fase che raffredda l'aria in ingresso
Utilizzo acqua stagno esterno	Impianto a pavimento per un miglior comfort termico (ridotto gradiente termico)	Controllo dell'umidità e della qualità dell'aria mediante sistema a split con recuperatore entalpico	Pannelli radianti	-
- Posizionamento in blocco separato e dedicato	Impianto a pavimento, massima silenziosità	Sistema a mini-split, con piccoli flussi d'aria e unità motocondensante all'esterno dell'edificio	-	- Isolamento acustico sui condotto - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni
Fan coils integrati nell'arredo	- Duplice funzionamento per un singolo impianto, che si adatta alle esigenze estive ed invernali - Impianto a pavimento per una maggiore flessibilità spaziale interna	-	-	-
-	-	-	-	-
- Utilizzo acqua stagno esterno - Raffrescamento evaporativo	-	-	Sinergia con comportamento passivo	- Integrazione con esistente - Integrazione con camini di ventilazione
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile	Recuperatore di calore entalpico	Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	-

Tabella 76 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di ventilazione meccanica



<i>Heating</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	-	-	-	-
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-	Serbatoio di accumulo termico
<i>Efficienza energetica</i>	Aria preriscaldata dal passaggio in intercapedine di parete, dietro a PV, arriva alla pompa di calore meno fredda	-	Scambiatore termico all'interno del LDW permette di riscaldare l'ambiente interno con l'extra-calore proveniente dall'impianto solare non impiegato per la produzione di ACS	Pompa di calore reversibile alimentata da PV, con addizionale resistenza elettrica per garantire il riscaldamento anche nelle giornate più rigide - Recuperatore entalpico di energia	- Scambiatore di calore - Pompa di calore acqua-acqua (JVP)
<i>Comfort termoigrometrico</i>	Pompa di calore aria-aria, abbinata a recuperatore di calore e a scambiatore di calore per la produzione di ACS (che ne migliora il rendimento in fase estiva)	Sistema con pompa di calore reversibile con recuperatore di calore	Sistema composto da due split (uno per ambiente) con unica unità esterna, abbinato a recuperatore di calore entalpico	Separazione nel trattamento dei carichi sensibili e latenti, tramite l'adozione di sistemi che adottano l'espansione diretta e il recupero di energia	Pannelli radianti a soffitto
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	-
<i>Innovazione</i>	Aria esterna ed espulsione della pompa di calore prendono d'aria dall'intercapedine tra isolamento della CV e finitura esterna in frangisole, in regime invernale, per migliorare il rendimento della pompa di calore; in regime estivo, invece, attinge direttamente all'esterno	-	LWD migliorato, aumentando la superficie di contatto tra aria interna da deumidificare e soluzione salina essiccante	- Inserimento di BioWall per migliorare la qualità dell'aria - separazione dei carichi sensibili e latenti	- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT - Materiali MCP per aumentare capacità termica
<i>Sostenibilità</i>	-	-	-	-	Integrazione con pompa di calore e sistema PVT: migliore utilizzo di energia elettrica e calore

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Serbatoio accumulo termico	-	-	Serbatoio accumulato	Serbatoio accumulato (comune con ACS)
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	Impiego di pompa di calore invertibile aria-acqua, per sfruttare la corrente prodotta dall'impianto PV per il riscaldamento/raffrescamento dell'edificio.	Impianto idronico a pavimento, che sfrutta come primaria fonte di energia l'acqua calda prodotta dall'impianto solare	Pompa di calore aria/acqua	- Radiatori a basse T - Pompa di calore a ciclo refrigerante - Riscaldatore elettrico per aumentare T - Scambiatore di calore efficienza 95% che scambiano con camini di ventilazione e serra
-	Impianto a pavimento per un miglior comfort termico (ridotto gradiente termico)	Pannelli radianti a pavimento, per un ridotto gradiente termico	Pannelli radianti	-
- Posizionamento in blocco separato e dedicato	Impianto a pavimento, massima silenziosità	-	-	- Isolamento acustico sui condotti - Silenziatori sui terminali - Isolamento alle vibrazioni
Fan coils integrati nell'arredo	- Duplice funzionamento per un singolo impianto, che si adatta alle esigenze estive ed invernali - Impianto a pavimento per una maggiore flessibilità spaziale interna	-	-	-
-	-	-	-	-
- Utilizzo acqua stagno esterno - Raffrescamento evaporativo	-	-	Sinergia con comportamento passivo	Integrazione con esistente
- Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%) - Sistema di raffrescamento evaporativo prima dell'utilizzo di HVAC	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile	Impianto solare come principale fonte energetica	Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	Utilizzo aria preriscaldata della spazio cuscinetto

Tabella 77 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto di climatizzazione invernale

PV	C.01_Team Germany	C.02_Gable House	C.03_WaterShed	C.04_INhome	C.05_Canopea
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	Pannelli fotovoltaici integrati nel sistema di oscuramento, come frangisole mobili e regolabili	-	Pannelli fotovoltaici posizionati su elemento verticale di schermatura (oltre che in copertura)	-	Schermatura celle PV tra doppi vetri
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-	Batterie di accumulo
<i>Efficienza energetica</i>	PV sulla copertura ed in facciata	PV montati su tetto metallico (per facilità di montaggio e equiparabilità di vita utile)	Posizionati sulla falda rivolta a sud del modulo pubblico (inclinazione 12,8°) e su elemento schermante verticale - 100% del fabbisogno energetico dell'edificio	Dimensionato per ottenere lo net-zero energy balance su base annua	- Inclinazione 5° e rivestimento riflettente sul lato in ombra - Ventilazione migliora efficienza
<i>Comfort termoisometrico</i>	-	-	-	-	Schermatura celle PV tra doppi vetri
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	Facile accessibilità dal piano comune
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	- Moduli superiori: 4 file, 11 colonne - Moduli inferiori: 6 file, 11 colonne - 84 m2
<i>Innovazione</i>	-	-	-	-	- Integrazione con pompa di calore e sistema PVT
<i>Sostenibilità</i>	-	-	-	-	- Utilizzo come copertura: minor impatto rispetto a un tetto tradizionale - Riciclabile per utilizzo celle in altri PV - Ridotti valori di EPBT e ERF

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
-	-	-	-	-
-	-	-	Pannelli su schermatura mobile (scorrevole e pieghevole) in facciata e copertura	Effetto schermante delle celle infravetro
Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-	-	Connessione alla rete, ma strategia volta a massimizzare il rapporto produzione/consumo immediato	-
Efficienza 20%	Doppio impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per una maggior indipendenza energetica dell'edificio	Due stringhe di pannelli fotovoltaici per una potenza totale di 6,75 kW	Risparmio energetico fino al 100 %	- Efficienza 16,5% del modulo, 19,2% delle celle - Ottimizzatori di potenza
-	-	- Energia elettrica impiegabile per climatizzazione estiva dell'edificio - Dimensionamento per raggiungere un bilancio annuo positivo	Effetto schermatura sulle logge	-
-	-	-	-	-
- Connessi indipendenti dei PV e possibilità di espansione del campo solare legata all'aggiunta del modulo - Integrazione architettonica	-	-	- Perfetta integrazione architettonica - Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle - Facilità di sostituzione dei pannelli
Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo	Installazione di due impianti fotovoltaici indipendenti, per garantire maggior affidabilità e modularità dell'impianto e dell'approvvigionamento	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo - 25 file, 3 colonne in copertura - 8 file, 3 colonne in facciata - Dettata da necessità di potenza del PV e dalla dimensione delle logge	- Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente - 20 moduli sul tetto, 5 in facciata
- Modularità del pannello e adattamento al blocco - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-	-	- PV flessibile, scorrevole e leggero con efficienza da 14% a 20% - Integrazione con solare in configurazione chiusa: calore prodotto viene ceduto e recuperato dal "Solar Box"	-
Ridotti valori di EPBT e ERF	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile	Dimensionato per soddisfare il fabbisogno energetico annuo dell'edificio	Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti

Tabella 78 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto fotovoltaico

<i>Solare</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	-	Collettore solare montato verticalmente aiuta a schermare il lato sud-est dell'edificio	-	Schermatura pannelli ibridi PVT
<i>Accumulo e sfasamento</i>	-	-	-	-	- Serbatoio d'accumulo - Batterie di accumulo
<i>Efficienza energetica</i>	-	-	Pannelli solari sottovuoto per la produzione di ACS e per il funzionamento di LDW - 100% del fabbisogno di ACS, 100% della disseccazione in regime estivo e una frazione di riscaldamento in regime invernale	-	- Pompa di calore acqua-acqua (JVP) - Migliore efficienza PVT con fluido a bassa T - Ventilazione migliora efficienza - Valorizzazione del raffrescamento radiativo - Formazione di condensa che migliora efficienza
<i>Comfort termoigrometrico</i>	-	-	-	-	Schermatura pannelli ibridi PVT
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	- Modalità di funzionamento reversibile - Facile accessibilità dal piano comune - Diversi scenari impiantistici possibili (serbatoio diretto, passaggio a pompa di calore)
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	8 moduli, 14 m <sup>2</sup>
<i>Innovazione</i>	-	-	-	-	- Integrazione con accumulo termico pannelli radianti, produzione ACS e ventilazione e funzionamento di raffrescamento radiativo
<i>Sostenibilità</i>	-	-	-	-	Produzione calore e elettricità PVT migliorano EPBT e ERF

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
-	-	-	-	-
-	-	-	Installazione del "Solar Box" su balaustra della loggia	Effetto schermante dei pannelli
- Serbatoio accumulo termico - Serbatoio espansione - Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-	- Serbatoio per l'accumulo di acqua calda proveniente dall'impianto solare con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature	Serbatoio accumulo	Serbatoio accumulo termico
- PVT - Pompa di calore aria/acqua (risparmio 60%) - Batteria aria/acqua stagno esterno collocata nei condotti dei fai coils (risparmio 25%)	-	- Collettore a tubi sottovuoto posto con angolazione ottimizzata per la produzione di acqua calda sia per uso domestico sia per il sistema di riscaldamento a pavimento - Serbatoio per l'accumulo di acqua calda con doppio scambiatore, concepito con stratificazione delle temperature	- Risparmio energetico fino al 85% - Minime perdite per distribuzione grazie a posizione ottimale e isolamento tubi	- Pompa di calore a ciclo refrigerante - Pompa di calore ausiliare che funziona in ambiente - Produzione anche in assenza di radiazione solare - Raffrescamento delle celle PV con miglioramento efficienza - Riscaldatore elettrico per aumentare T
-	-	- Sistema con serbatoio con doppio scambiatore, per alimentare impianto di riscaldamento e ACS - Collettore a tubi sottovuoto posto a livello del suolo	Processo termodinamico del "Solar Box" raffresca logge	-
Posizionamento in blocco separato e dedicato	-	-	-	-
Integrazione architettonica	-	-	Facile accessibilità per manutenzione grazie a collocamento esterno e nel "3D Core"	- Diverse tipologie installabili - Mobilità delle celle con le chiusure trasparenti - Integrazione architettonica - Diverse trasparenze delle celle
- Pannelli dimensionati e applicati a ogni modulo - 8 PVT, 13,28 m2	-	-	- Dimensionamento in funzione della tipologia spaziale del prototipo dettata dalla balaustra	Dimensionamento in funzione della tipologia di edificio esistente
Batterie di accumulo controllate da sistema "Sunny Backup" e "Automatic Switch Box"	-	-	- "Solar Box": innovativo pannello termodinamico con pompa di calore a gas (Klea) a bassissima temperatura (-30°C) con pittura idroponica - Produzione 24/7 - Design	- Integrazione con esistente - Raffrescamento PV
Ridotti valori di EPBT e ERF	-	-	Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	- Riduzione uso di materiale grazie a integrazione con chiusure trasparenti - Integrazione con PV: migliorarne efficienza e al tempo stesso produrre ACS

Tabella 79 - Piano YZ – Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto solare termico

<i>Idrico</i>	<b>C.01_Team Germany</b>	<b>C.02_Gable House</b>	<b>C.03_WaterShed</b>	<b>C.04_INhome</b>	<b>C.05_Canopea</b>
<i>Ventilazione naturale</i>	-	-	-	-	-
<i>Regolazione degli apporti solari</i>	-	-	-	-	-
<i>Accumulo e sfasamento</i>	Accumulo e recupero di acqua piovana per irrigare il verde di pertinenza	Serbatoio di accumulo per ACS e per acque grigie	- cisterna per accumulo di acqua piovana per irrigare	Serbatoio cilindrico all'interno del garage, in posizione sempre ombreggiata	Serbatoio acque grigie/nere, acqua piovana, acque chiare
<i>Efficienza energetica</i>	Riscaldamento con pompa di calore (di HVAC) con ausilio di resistenza elettrica	Pompa di calore per la produzione di ACS	ACS prodotta grazie a pannelli solari	Impiego di una pompa di calore aria-acqua per la produzione di ACS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizzare lunghezza tubi</li> <li>- Riutilizzo acque piovane per irrigazione tramite fito purificazione e distribuzione per gravità</li> <li>- Scambiatore calore a tubo tra acque grigie e acqua da riscaldare</li> <li>- Pompa di calore acqua-acqua (JVP) connessa ai serbatoi</li> <li>- Pompa di calore aria-aria individuale</li> </ul>
<i>Comfort termoigrometrico</i>	-	-	-	-	-
<i>Comfort acustico</i>	-	-	-	-	-
<i>Flessibilità</i>	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubi in PET, PEX-Al-PEX, PVC</li> <li>- Serbatoi acque grigie/nere e chiare all'esterno sotto il solaio, quello acqua piovana piano comune</li> </ul>
<i>Modularità</i>	-	-	-	-	-
<i>Innovazione</i>	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scambiatore di calore a</li> <li>- Utilizzo di valvole per inversione del ciclo delle pompe di calore</li> </ul>
<i>Sostenibilità</i>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recupero e filtraggio delle acque grigie da impiegare nell'irrigazione</li> <li>- Recupero dell'acqua piovana per irrigazione, filtrata in "wetland" sottostante al modulo centrale dell'edificio</li> </ul>	Pompa di calore ad elevata efficienza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preservazione acque con recupero acqua piovana</li> <li>- Apparecchiatura volte a ridurre consumo idrico</li> </ul>

C.06_Patio 2.0	C.07_LISI The House	C.08_DesertSol	C.09_Rhome for DenCity	C.10_Prêt à Loger
-	-	-	-	-
Sistema di irrigazione per creare effetto evaporativo in facciata	-	-	-	-
-10 serbatoi e 3 stagni esterni - Recupero acque piovane	-	- Accumulo di acqua per l'irrigazione e per il consumo domestico	3 Serbatoi: acque chiare, acque nere/grigie, acque meteoriche	- Serbatoio accumulo acqua piovana - Serbatoio accumulo acque chiare e scure - Serbatoio accumulo ACS (comune con riscaldamento)
- Utilizzo acque degli stagni per condizionamento - Recupero acque grigie e purificazione e riutilizzo per irrigazione e effetto evaporativo - Riutilizzo acque lavandini per bagni	-	-	- Scambiatore di calore (ACS) - Minime perdite per distribuzione grazie a posizionamento centrale - Minimi cablaggi elettrici pompe grazie a posizionamento centrale	Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni
-	-	Accumulo idrico caldo e freddo	-	-
-	-	-	-	-
Mandata e ripresa integrata con arredo	Elementi di distribuzione dell'acqua nelle chiusure, in modo da mantenere l'ambiente interno libero da impedimenti impiantistici	-	- Posizionamento esterno sotto il solaio dei 3 serbatoi: facile manutenzione e, nel caso di perdita, nessun danno - Pompe collocate vicino al pannello elettrico e alle utenze - Mandata con tubi PEX-b	- Tubi in PVC
-	-	-	-	-
Sistema di filtraggio per recupero acque grigie	Sistema di recupero di energia per preriscaldamento dell'acqua della doccia, utilizzando l'acqua di scarico della doccia	-	- Recupero acque grigie e nere: nessuna produzione di sostanze secondarie tossiche e dannose - Possibilità di totale indipendenza idrica grazie a recupero su tutti i tipi di acque - Rubinetteria innovativa Ideal Standard	-
- Riutilizzo acque domestiche grazie a trattamento di filtraggio naturale delle piante - Terminali a risparmio idrico - Riutilizzo acqua da lavandini per bagni	Impiego di componenti facilmente reperibili per limitare l' embodied CO2 di trasporto - Scelta di componenti performanti per limitare i consumi in fase di vita utile	-	- Riutilizzo acque grigie e/o nere: 91 % di risparmio sul consumo idrico - Risparmio consumo acqua da rubinetti (9l a 5l) - Integrazione con gli altri sistemi impiantistici	- Riutilizzo acqua piovana per irrigazione e bagni - Incremento della consapevolezza del consumo idrico con contatori visibili - Limitazione dell'acqua in fogna grazie a tetto verde

Tabella 80 - Piano YZ - Comparazione tra scelte tecnologiche, in merito a impianto idrico



## ALLEGATO F

Variante I.OX – Spessore dello strato di isolamento termico

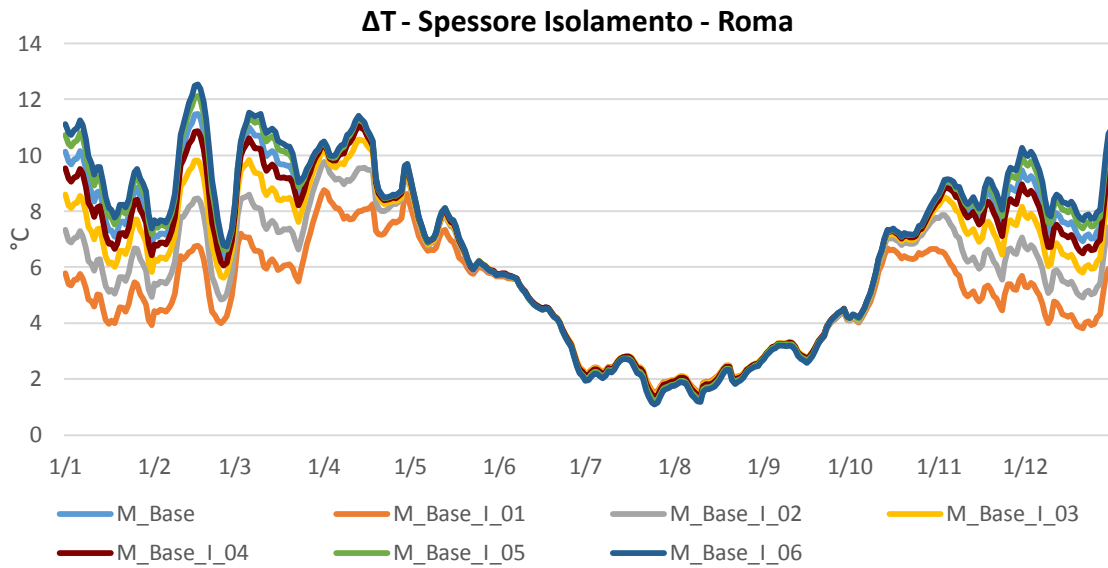


Grafico 80 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, Roma

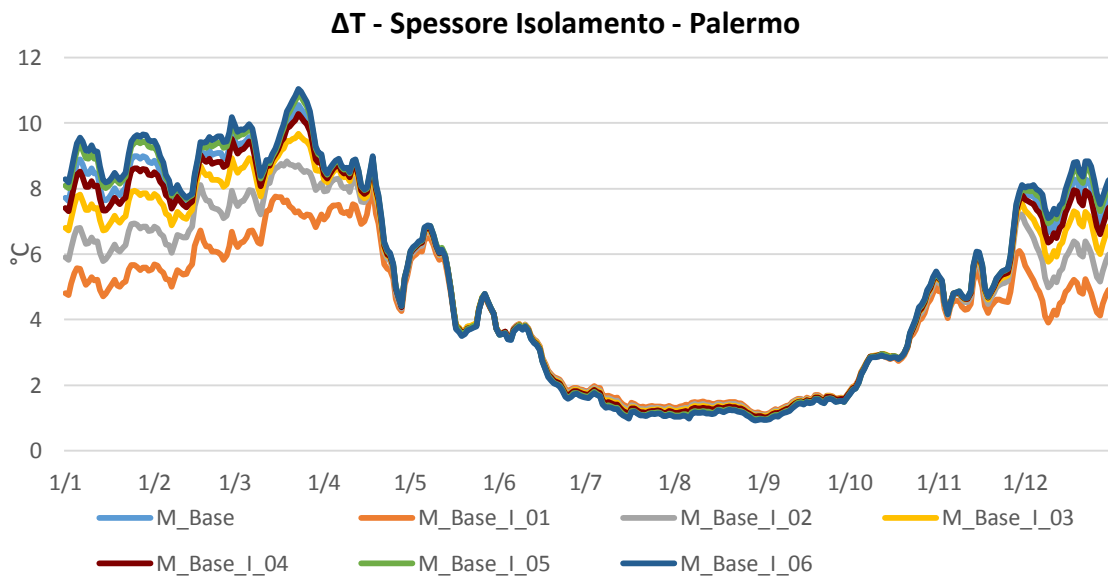


Grafico 81 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti I.OX, Palermo

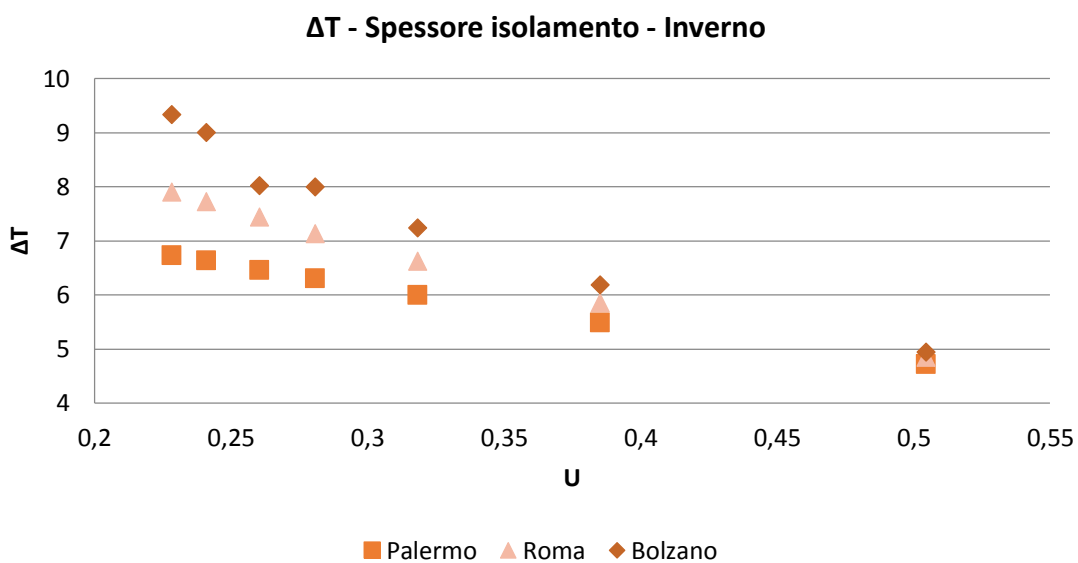


Grafico 82 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro

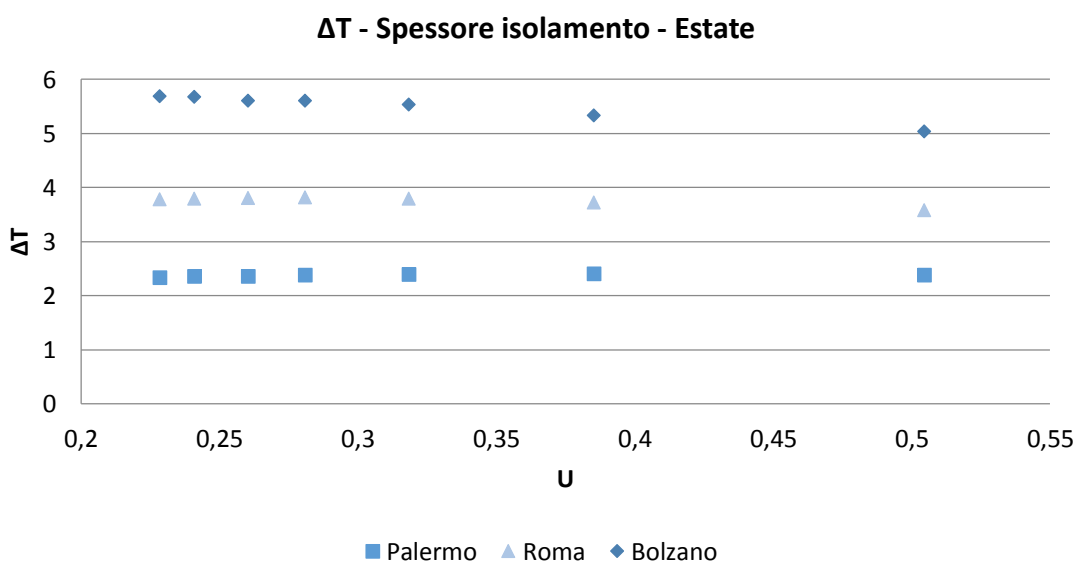


Grafico 83 - ΔT medi su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro

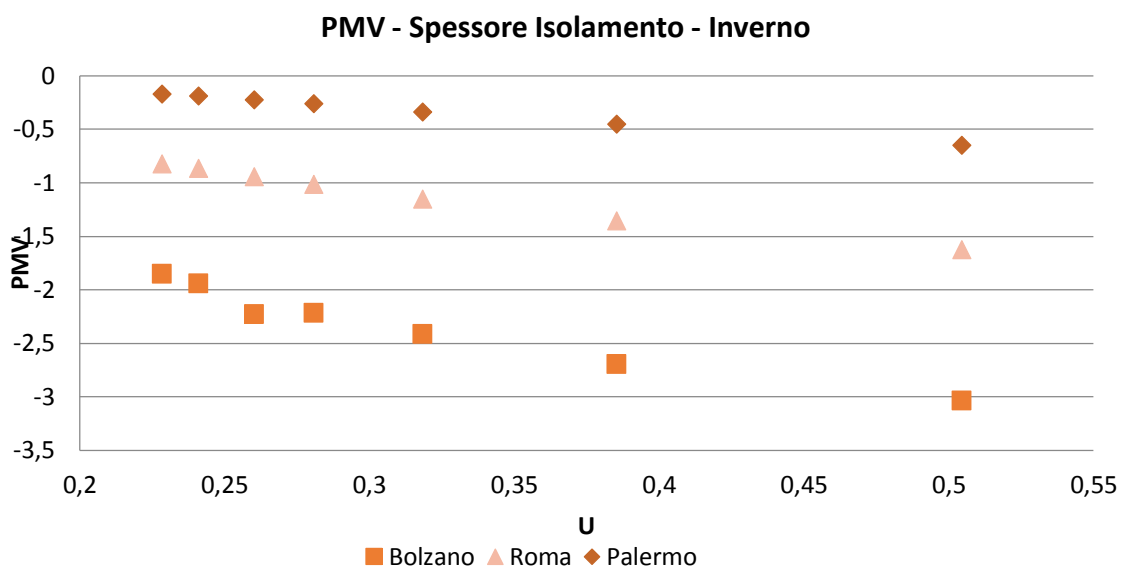


Grafico 84 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro

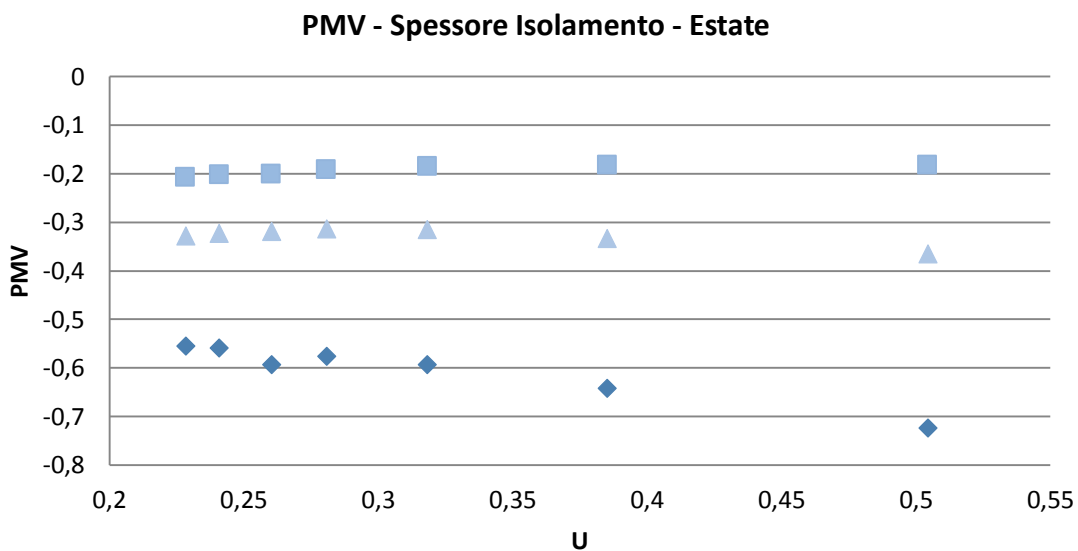


Grafico 85 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della trasmittanza media dell'involucro

Variante O.0X – Orientamento

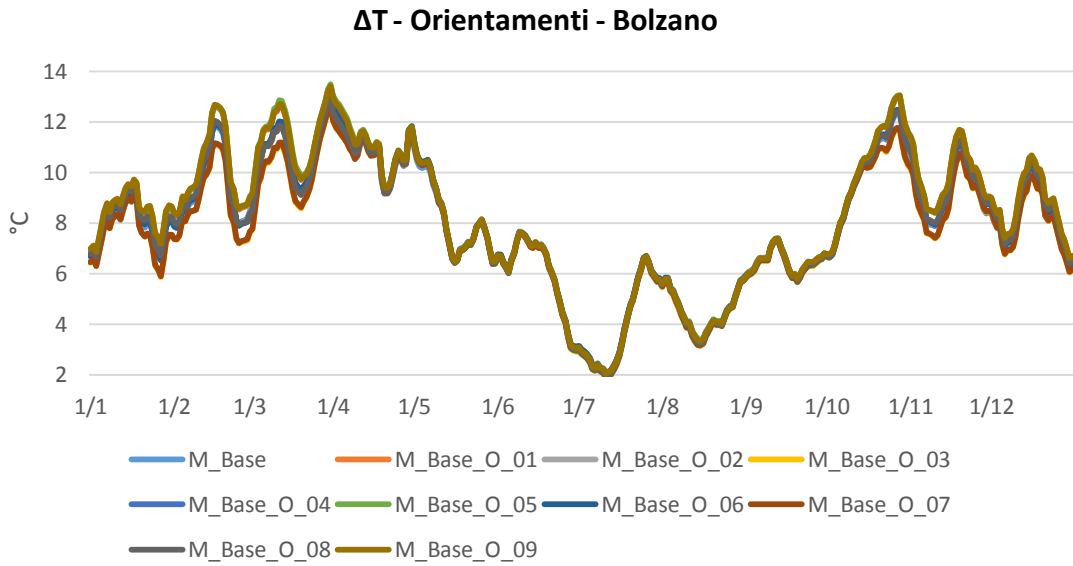


Grafico 86 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.0X, Bolzano

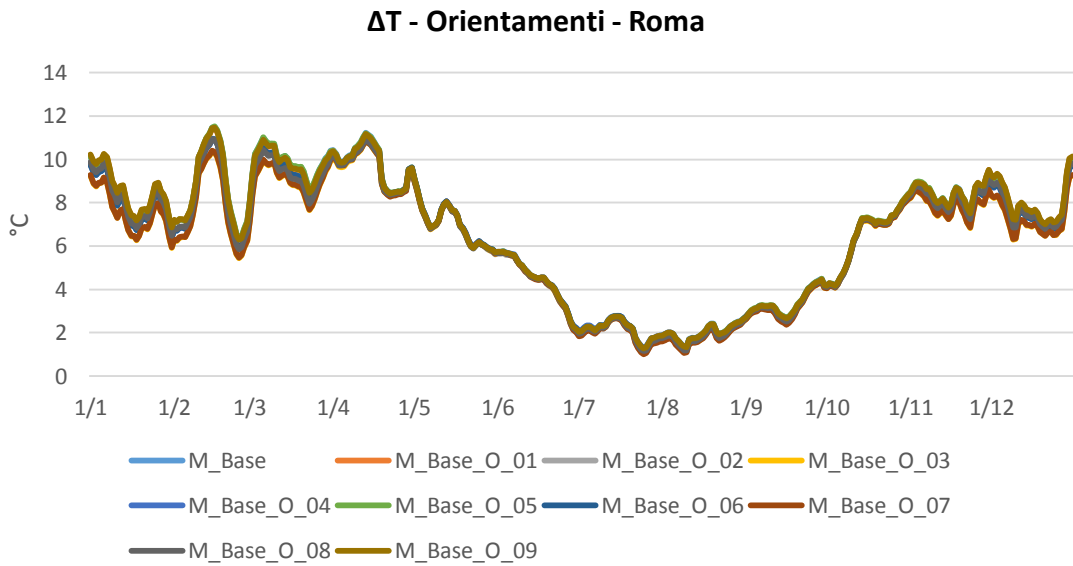


Grafico 87 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.0X, Roma

### ΔT- Orientamenti - Palermo



Grafico 88 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti O.OX, Palermo

### ΔT - Orientamenti - Inverno

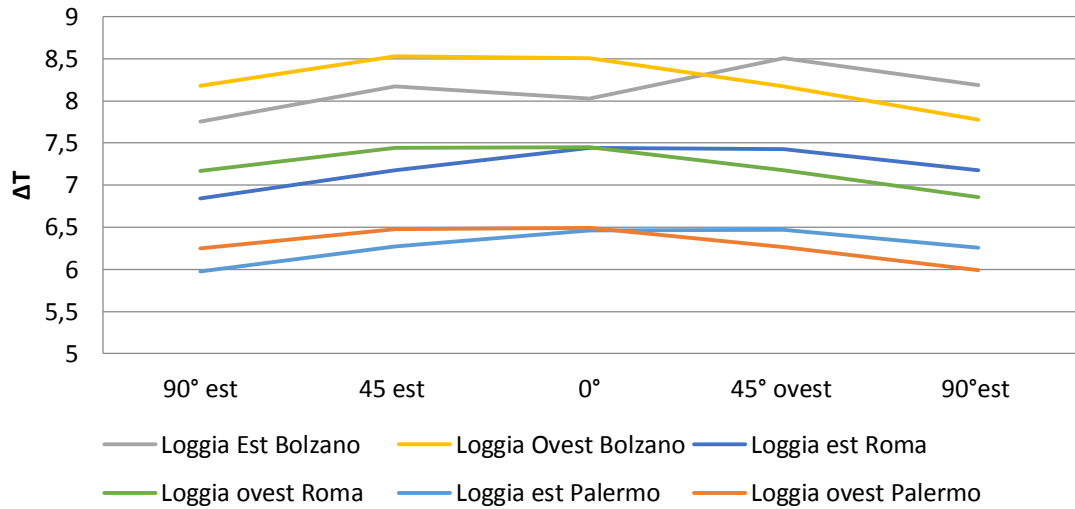


Grafico 89 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale

### ΔT - Orientamenti - Estate

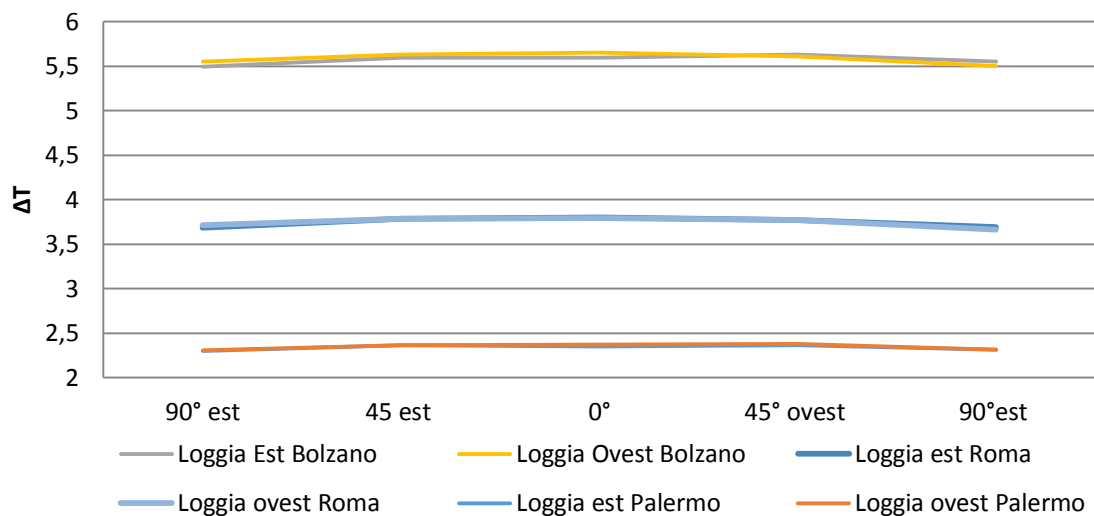


Grafico 90 - ΔT medi su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale

### PMV - Orientamenti - Inverno

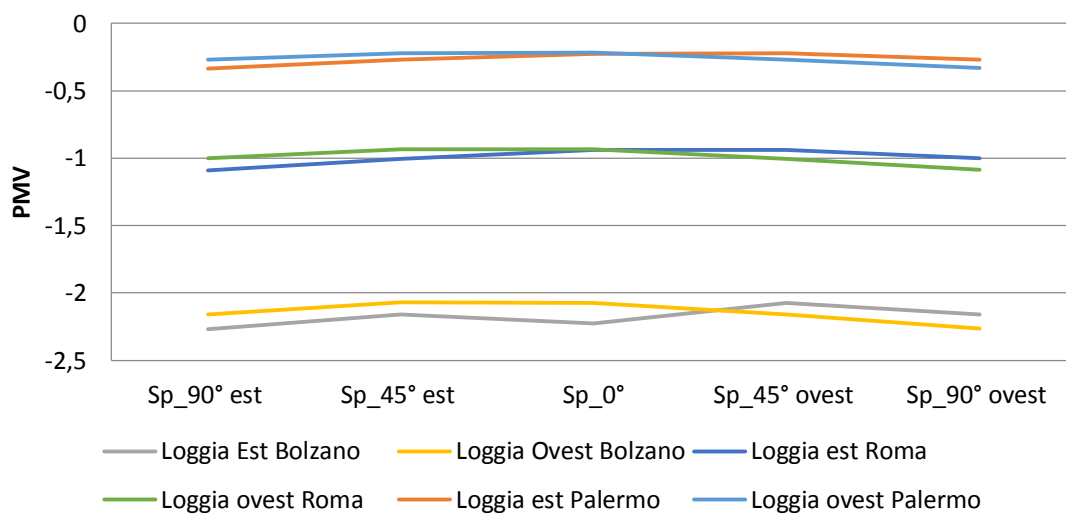


Grafico 91 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale

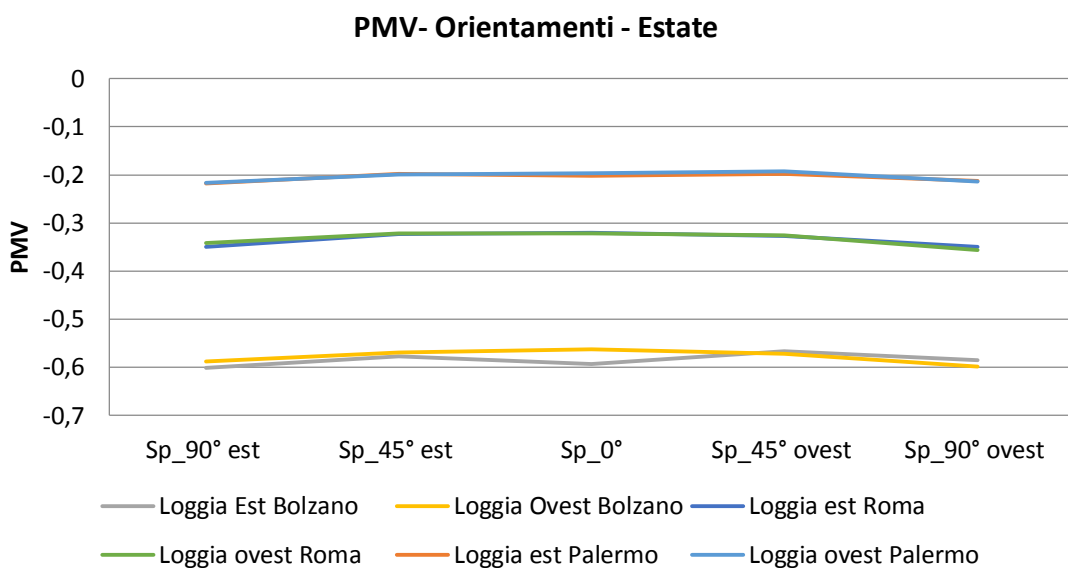


Grafico 92 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione dell'orientamento dell'asse principale

#### Variante A.OX – Percentuale di apertura dell'involucro

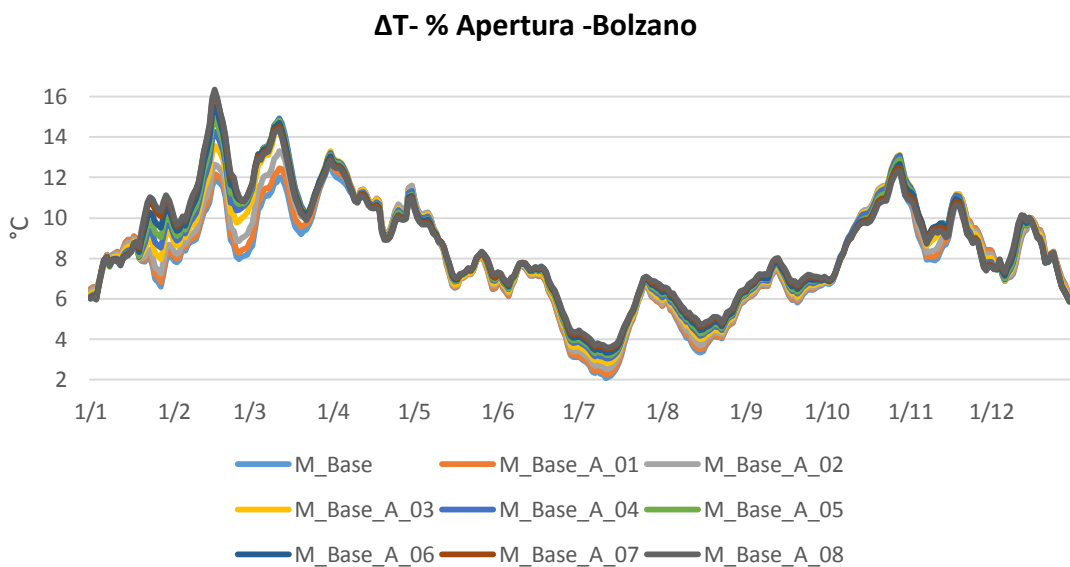


Grafico 93 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Bolzano

### $\Delta T$ - % Apertura - Roma

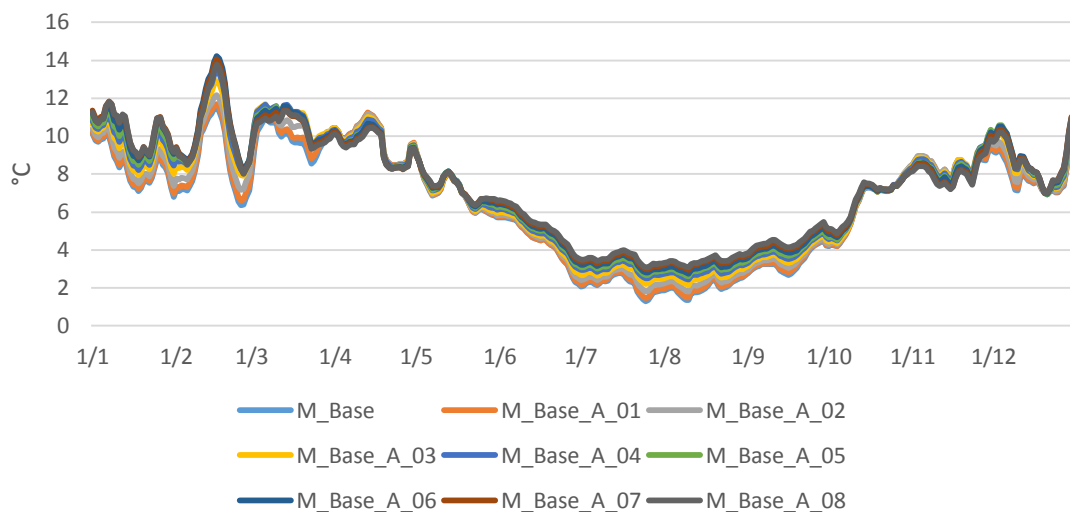


Grafico 94 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Roma

### $\Delta T$ - % Apertura - Palermo

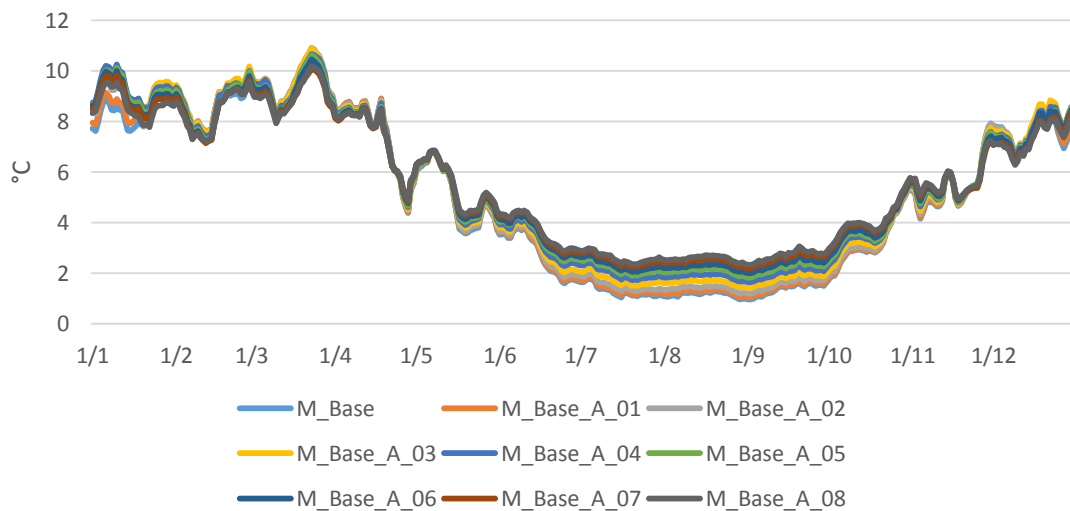


Grafico 95 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti A.OX, Palermo



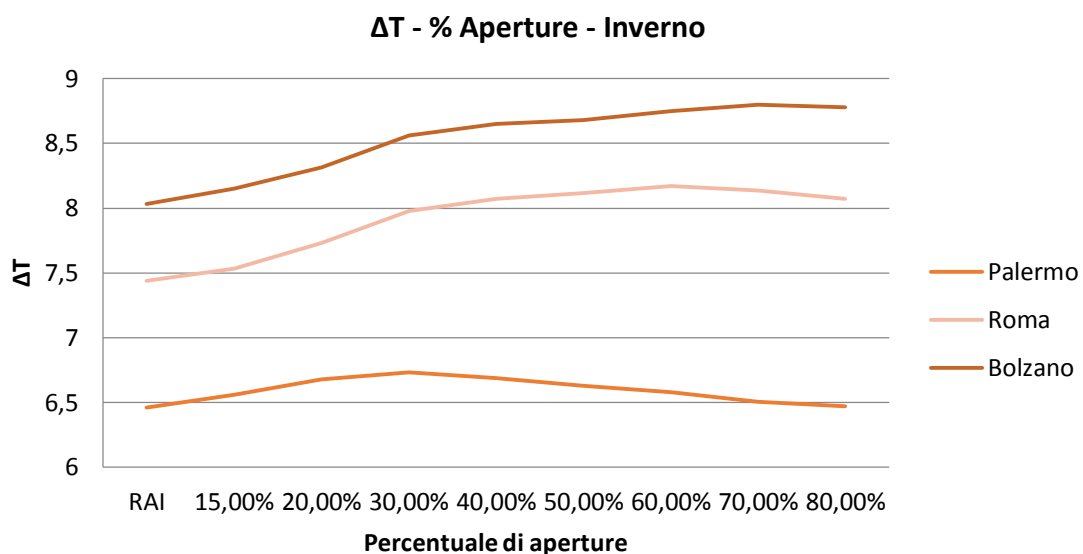


Grafico 96 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro

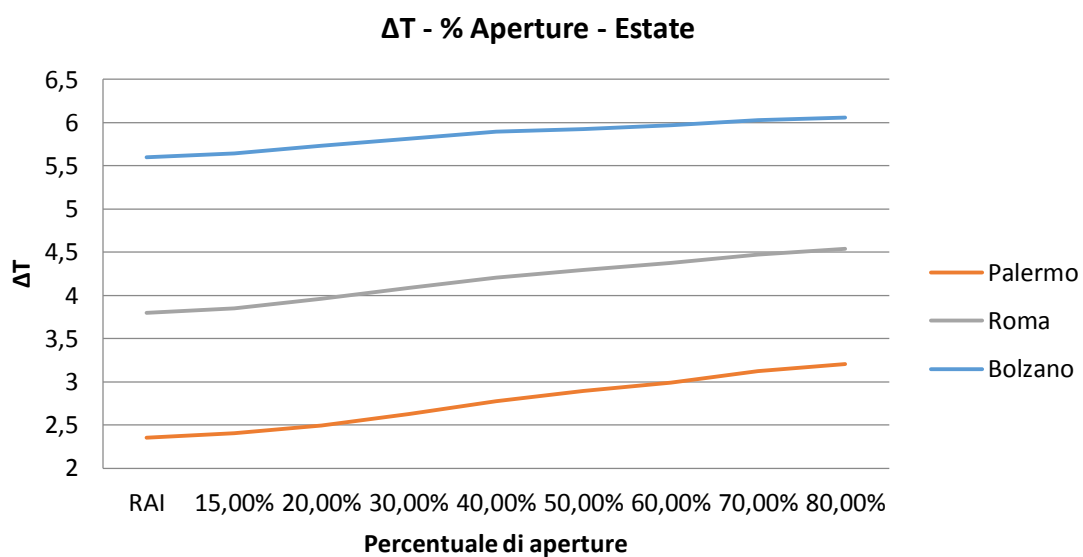


Grafico 97 - ΔT medi su periodo di raffrescamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro

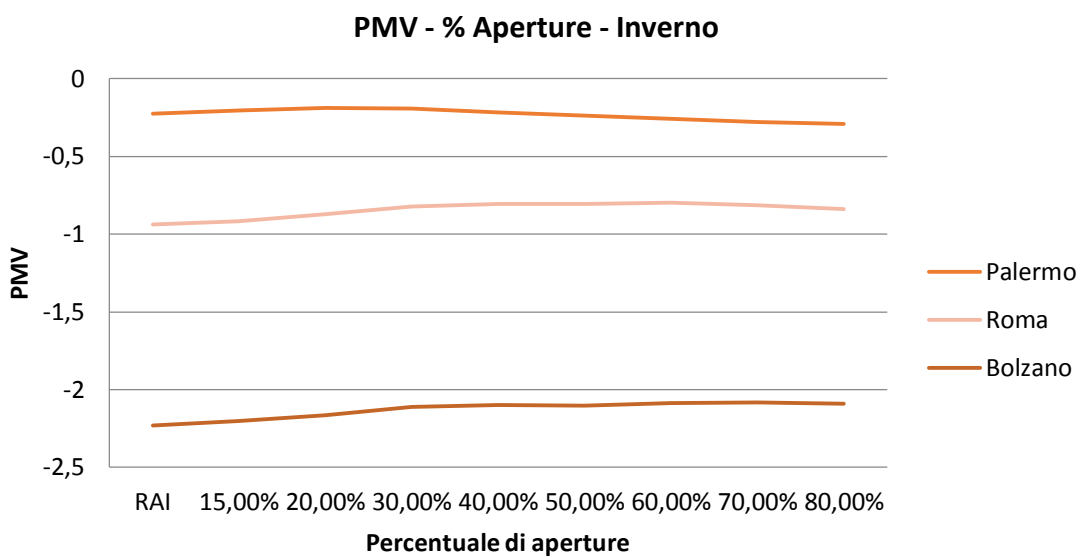


Grafico 98 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro

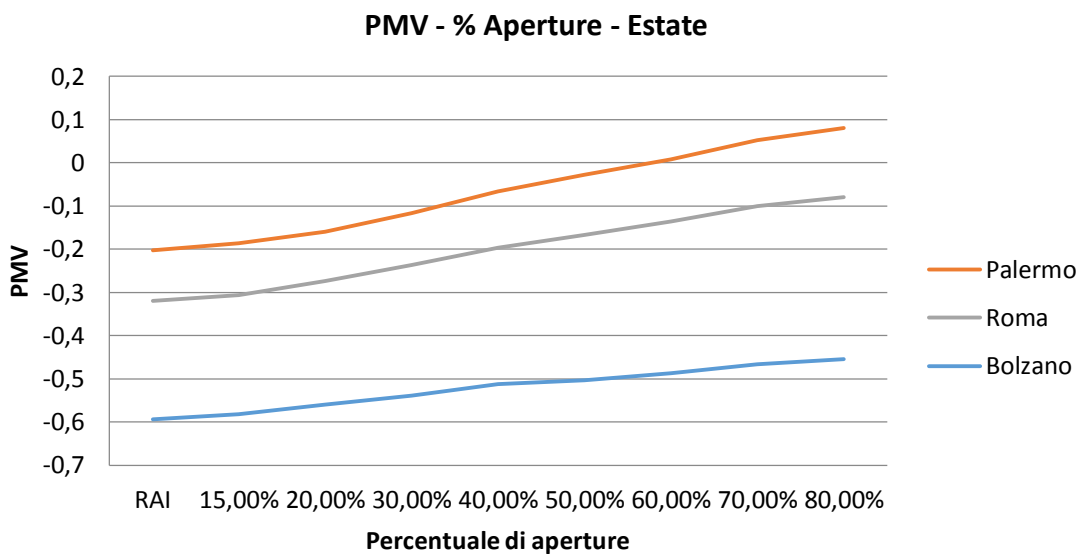


Grafico 99 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della percentuale di apertura dell'involucro

Variante S.OX – Presenza di serra e tipologia di vetro della serra

**ΔT - Serra - Inverno - Bolzano**

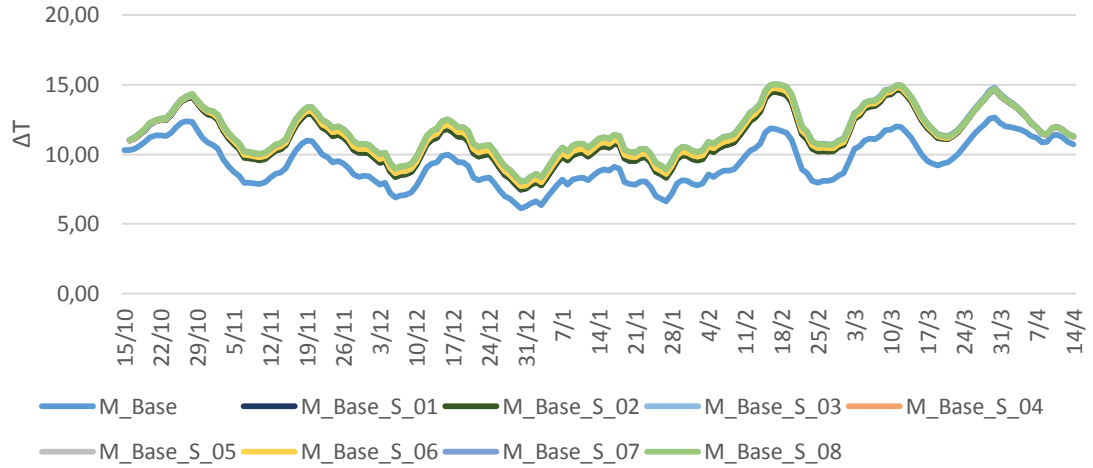


Grafico 100 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Bolzano

**ΔT - Serra - Inverno - Roma**

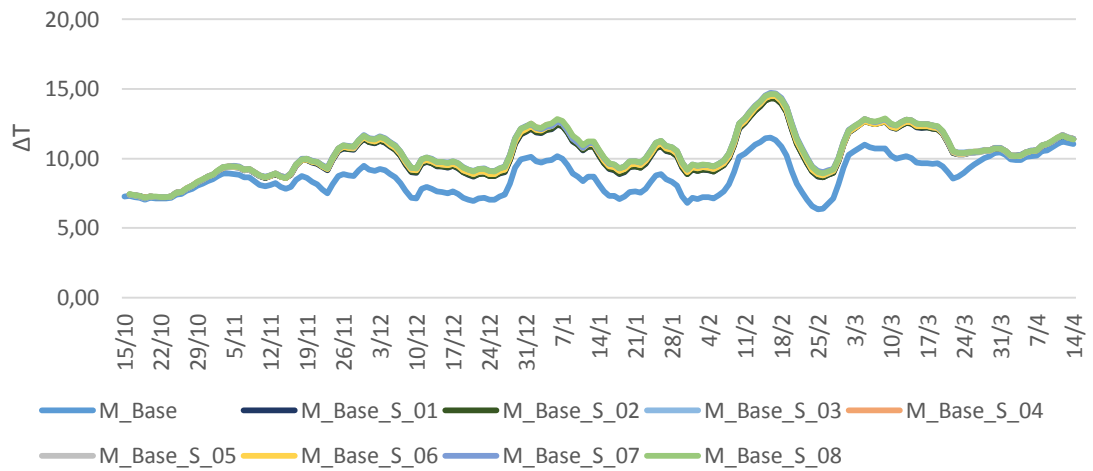


Grafico 101 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Roma

### ΔT - Serra - Inverno - Palermo

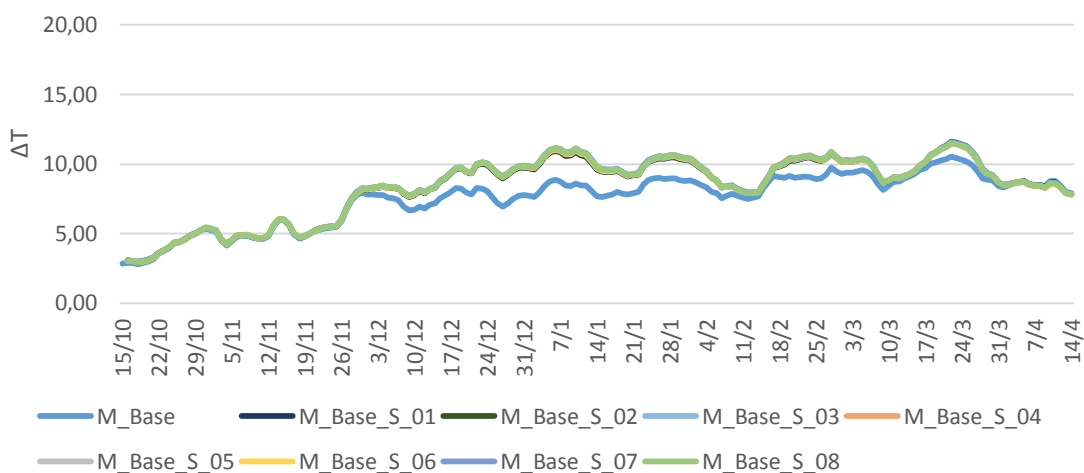


Grafico 102 - Andamento invernale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti S.OX, Palermo

### ΔT - Serra a sud est - Inverno

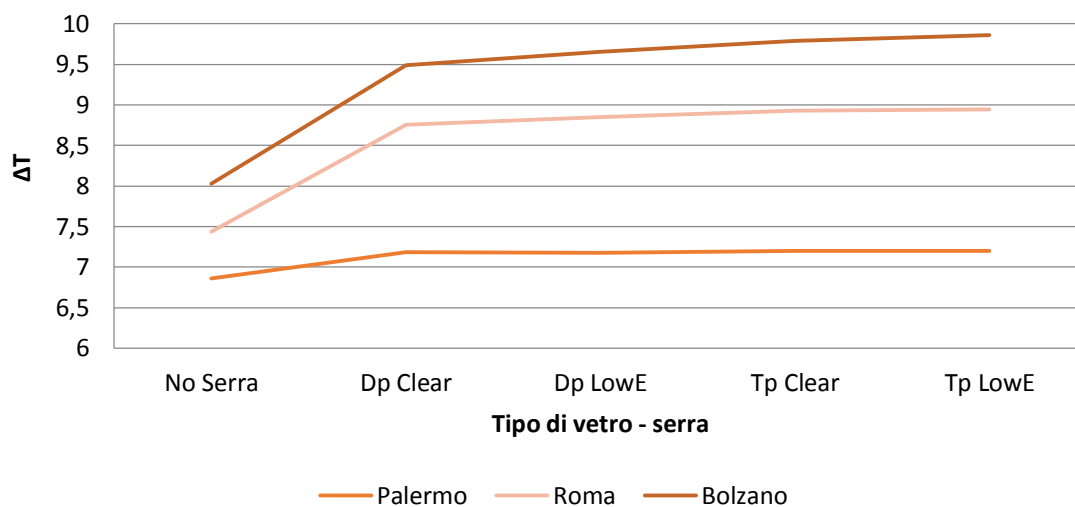


Grafico 103 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est

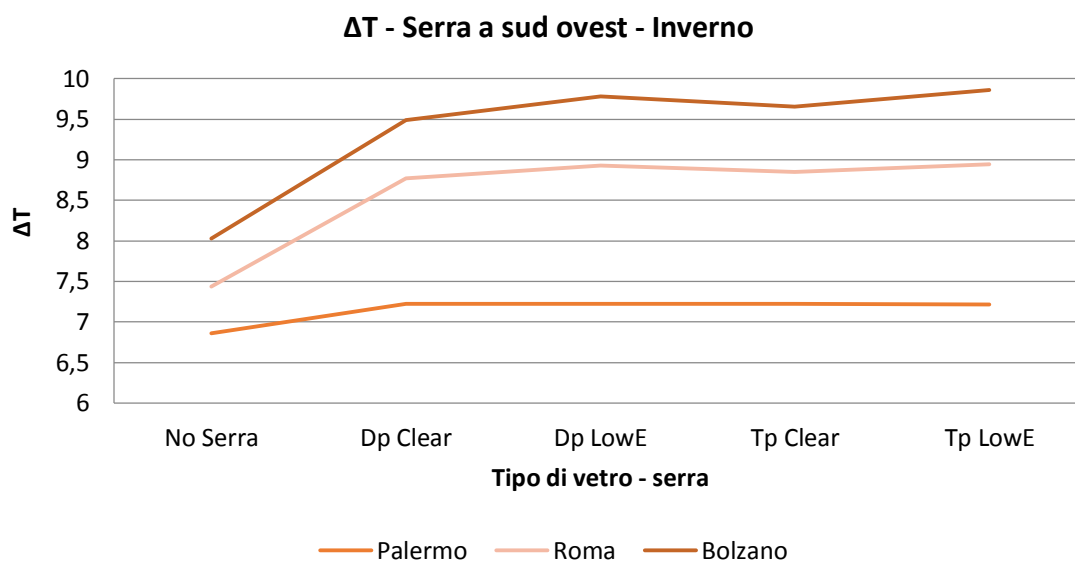


Grafico 104 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest

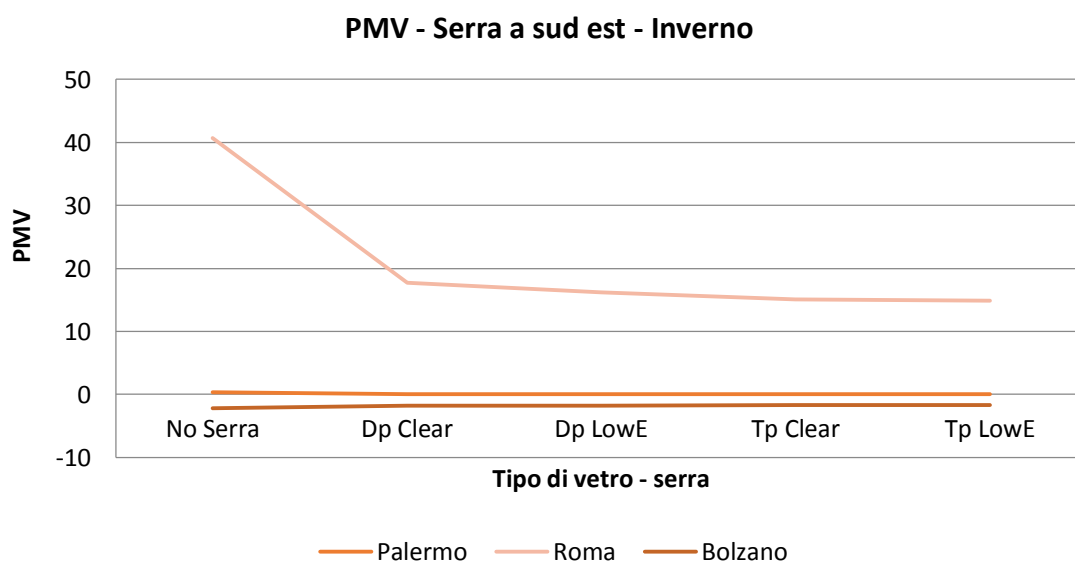


Grafico 105 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud est

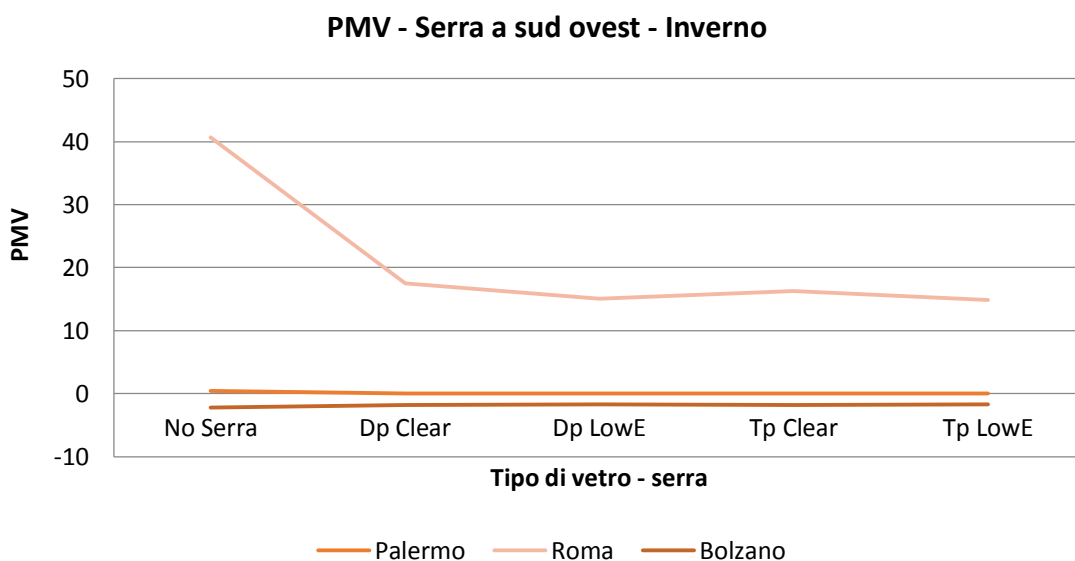


Grafico 106 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetro per serra a sud ovest

#### Variante OS.0X – Presenza di sistemi di oscuramento

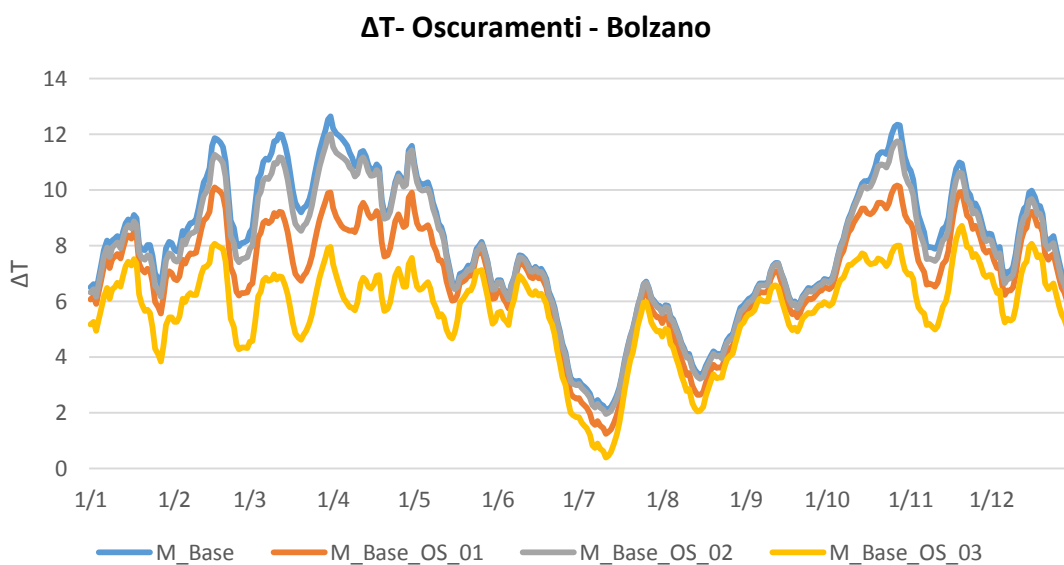


Grafico 107 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.0X, Bolzano

### $\Delta T$ - Oscuramenti - Roma

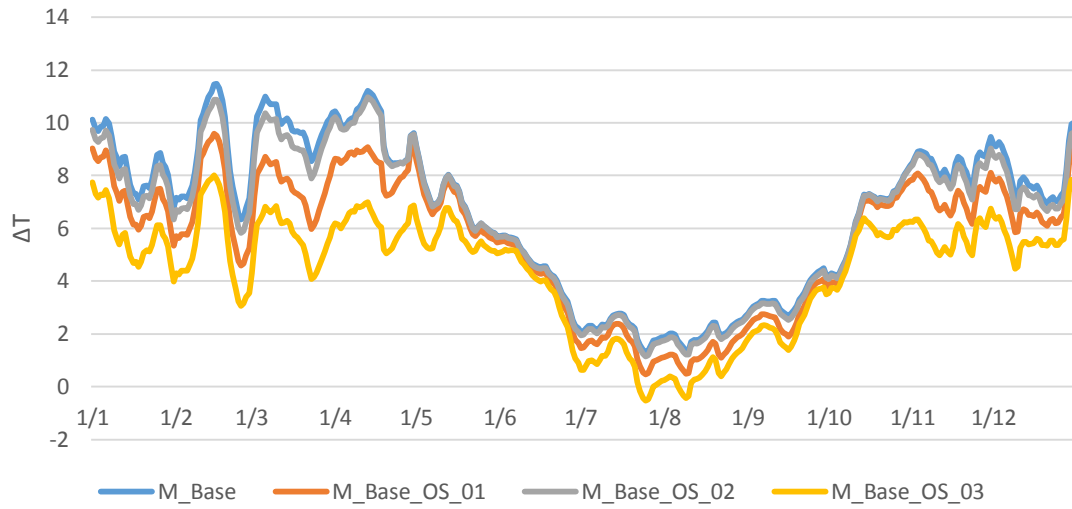


Grafico 108 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.0X, Roma

### $\Delta T$ - Oscuramenti - Palermo

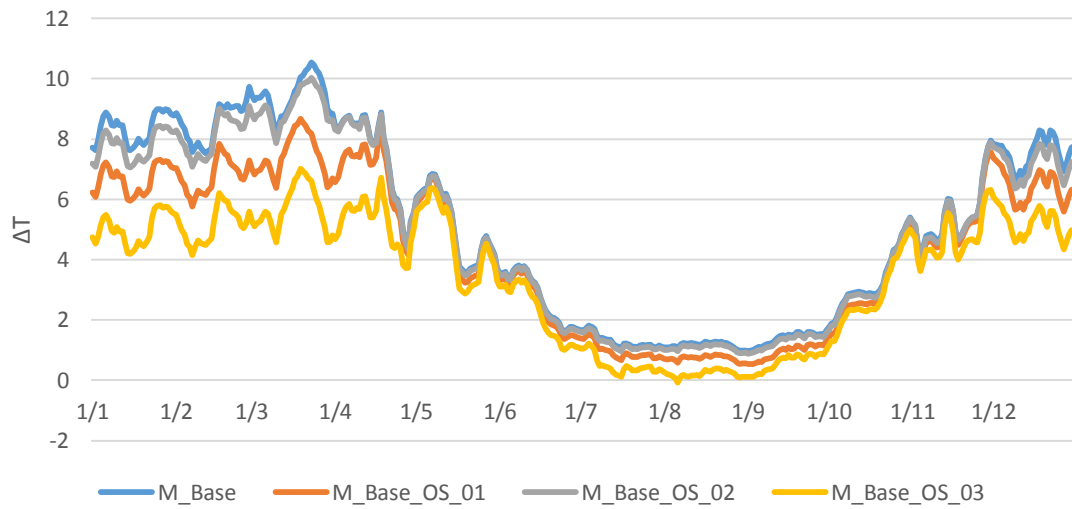


Grafico 109 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti OS.0X, Palermo

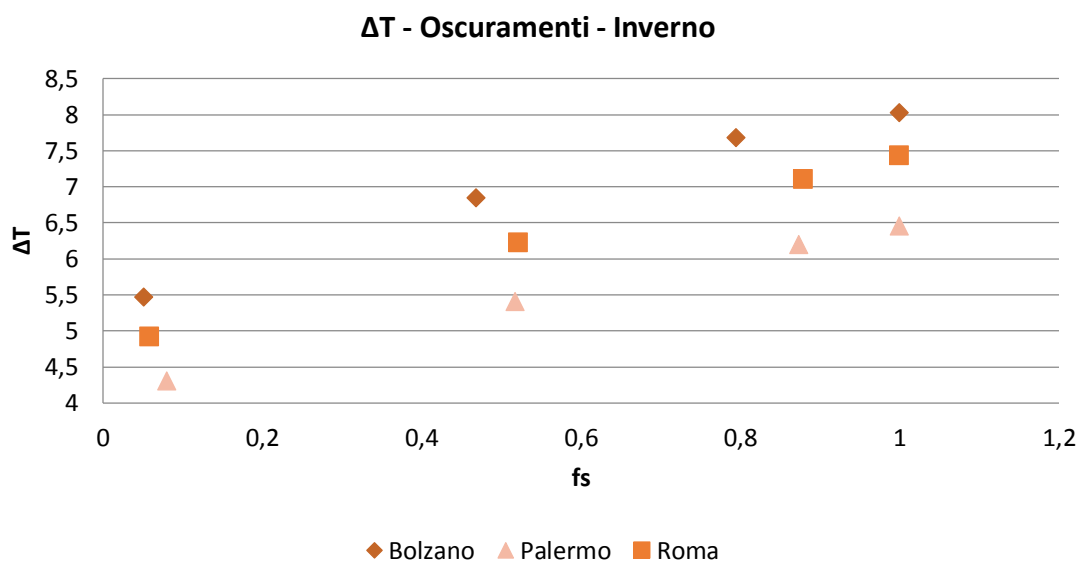


Grafico 110 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati

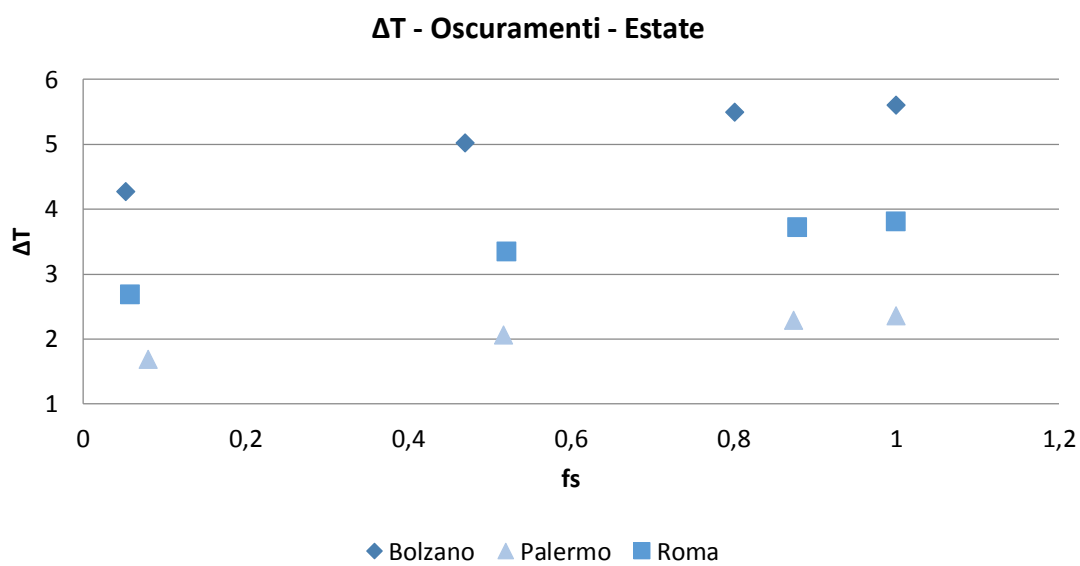


Grafico 111 - ΔT medi su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati



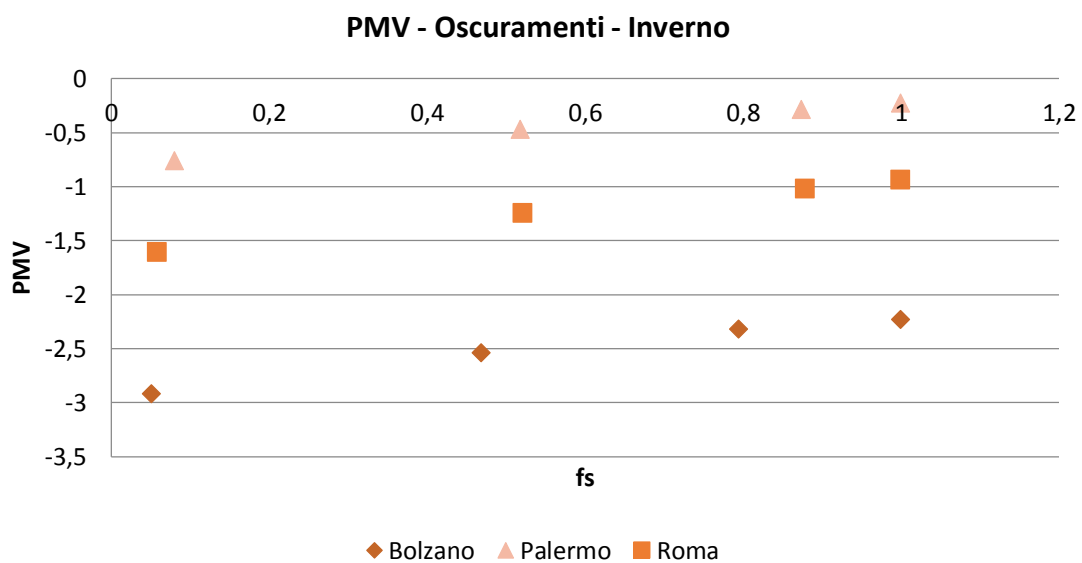


Grafico 112 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati

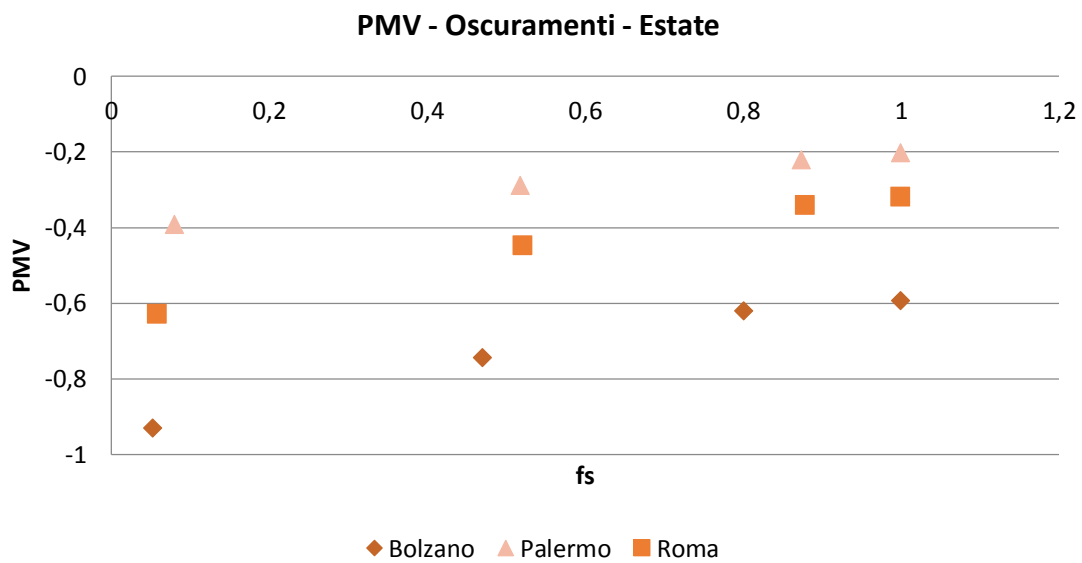


Grafico 113 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di oscuramenti impiegati

Variante TV.0X – Tipologia di vetri

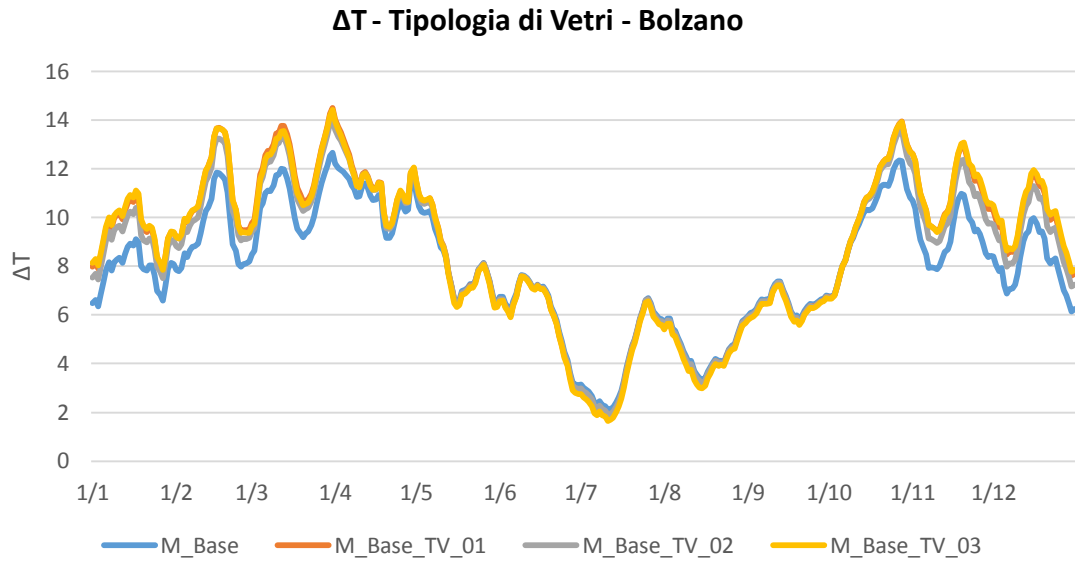


Grafico 114 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.0X, Bolzano

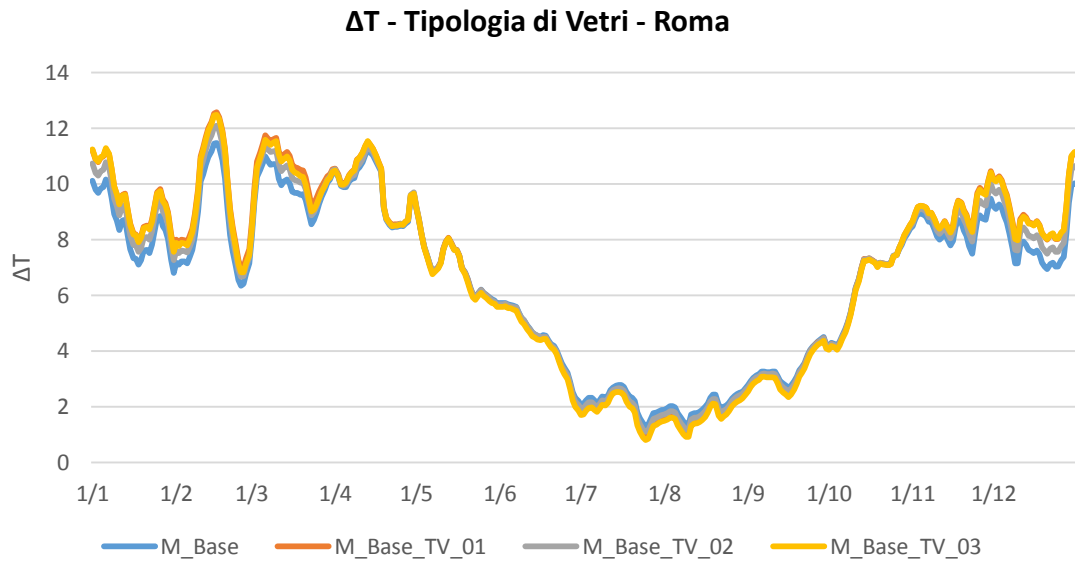


Grafico 115 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.0X, Roma

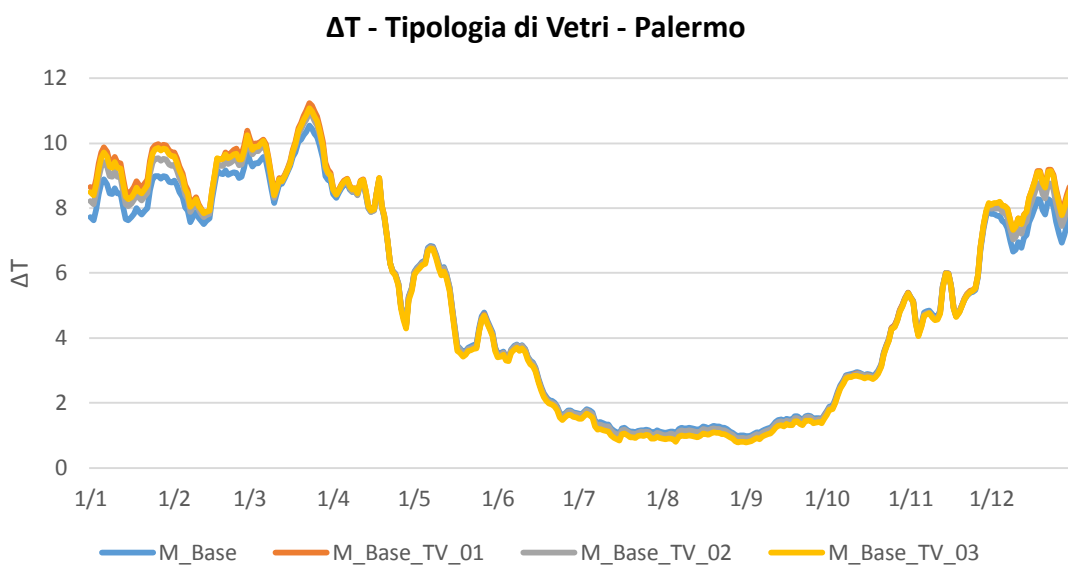


Grafico 116 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TV.0X, Palermo

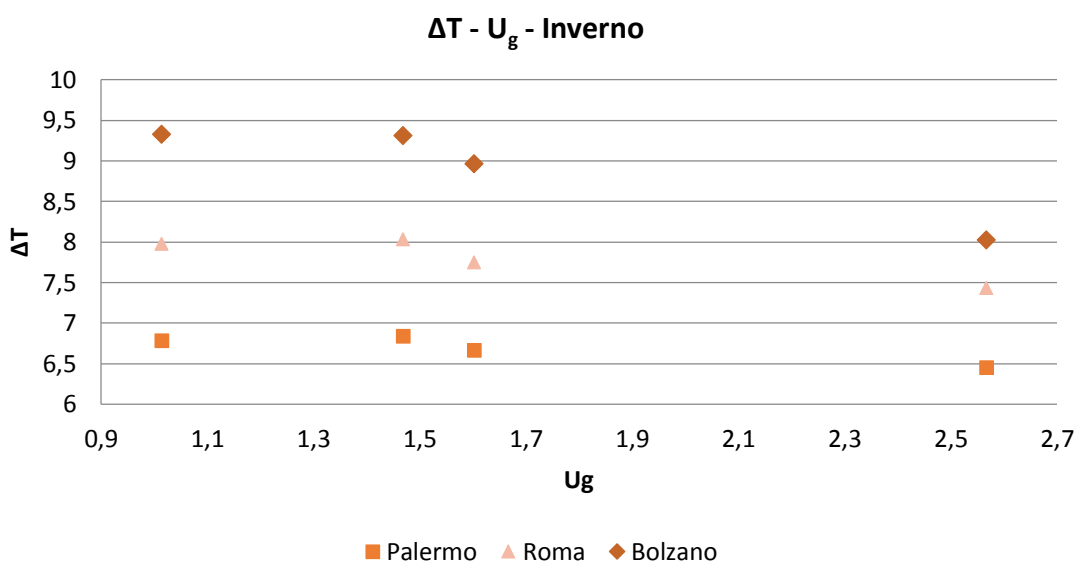


Grafico 117 - ΔT medi su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati

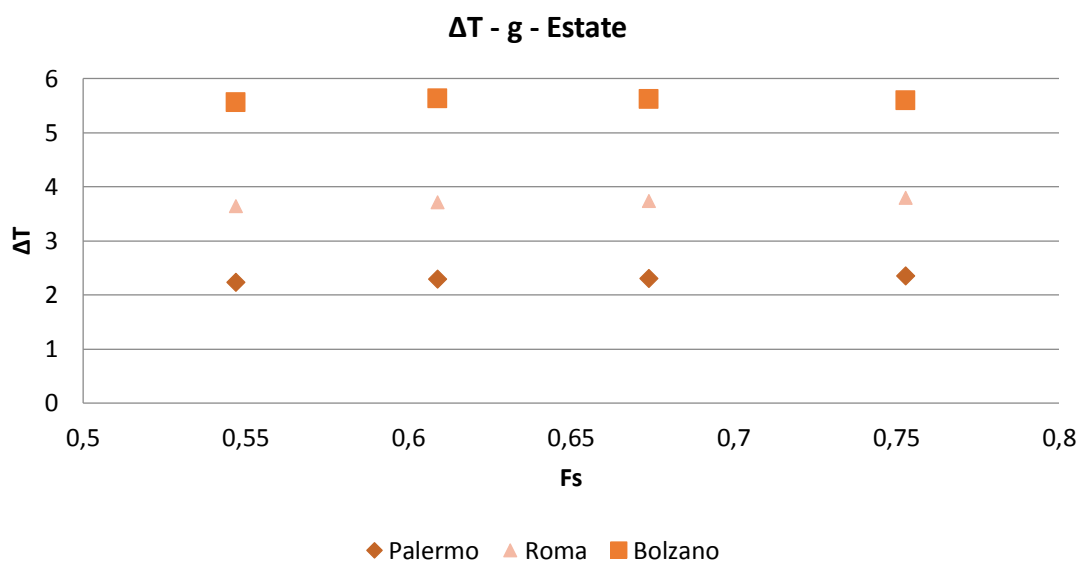


Grafico 118 - ΔT medi su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati

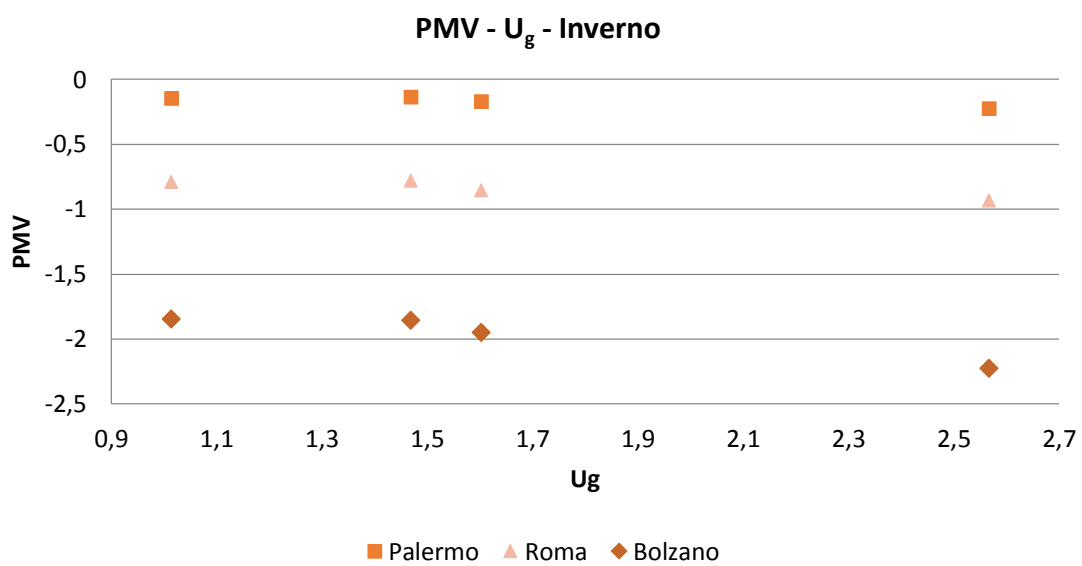


Grafico 119 - Valori medi di PMV su periodo di riscaldamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati

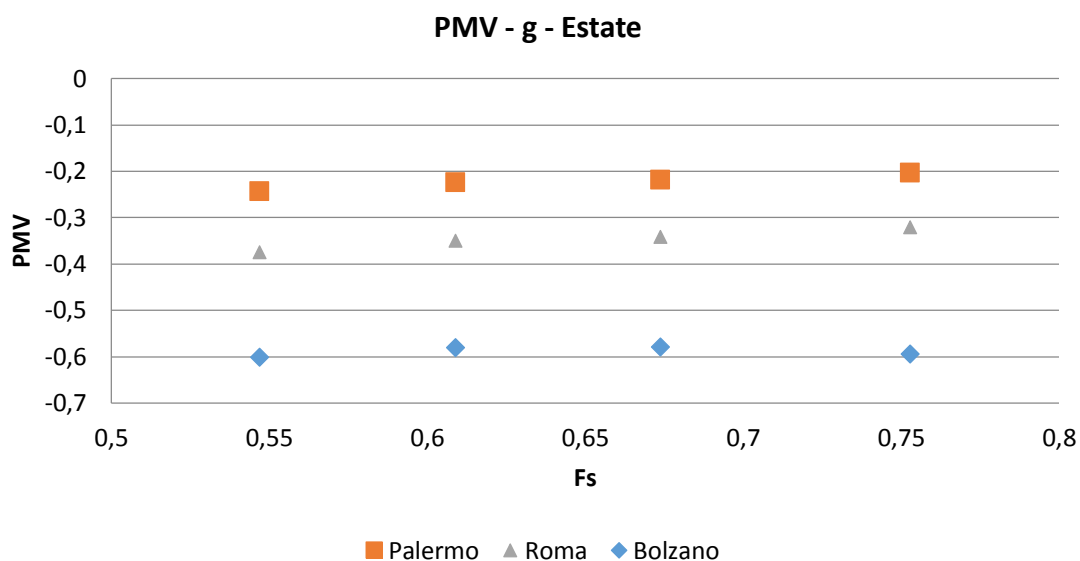


Grafico 120 - Valori medi di PMV su periodo di raffrescamento in funzione della tipologia di vetri utilizzati

Variante TT.OX – Tecnologia costruttiva impiegata

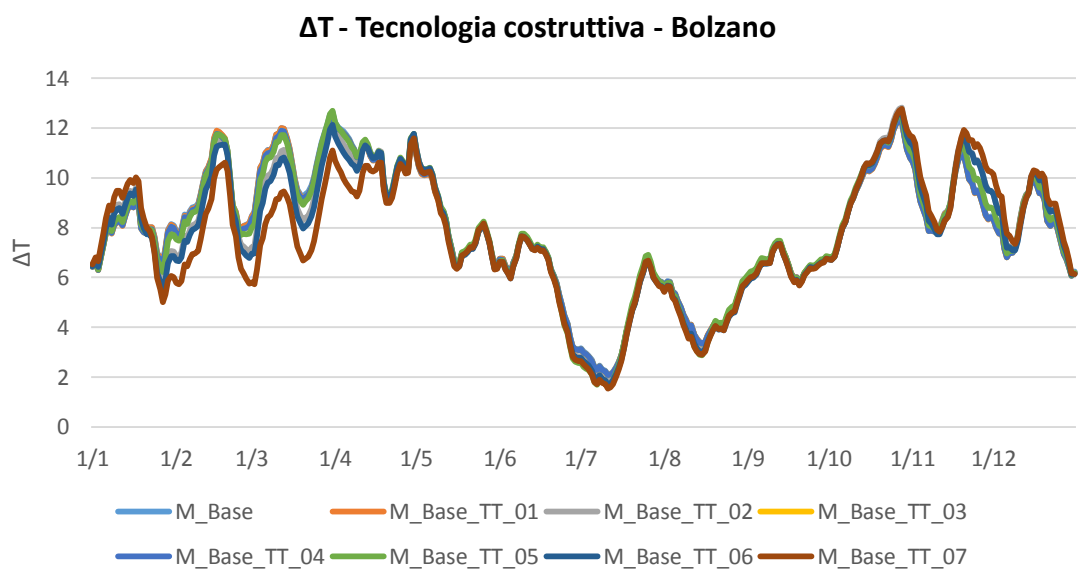


Grafico 121 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Bolzano

### $\Delta T$ - Tecnologia costruttiva - Roma

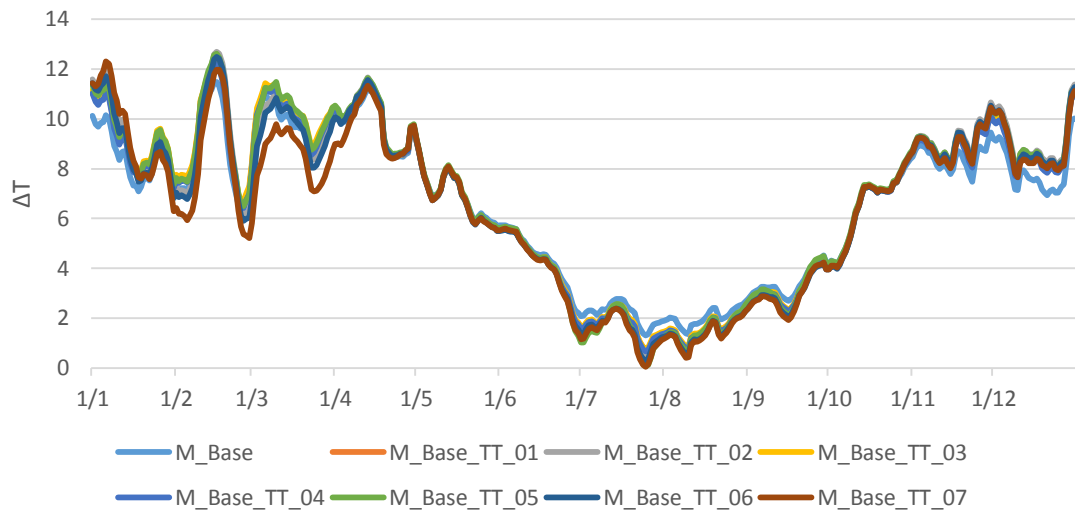


Grafico 122 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Roma

### $\Delta T$ - Tecnologia costruttiva - Palermo

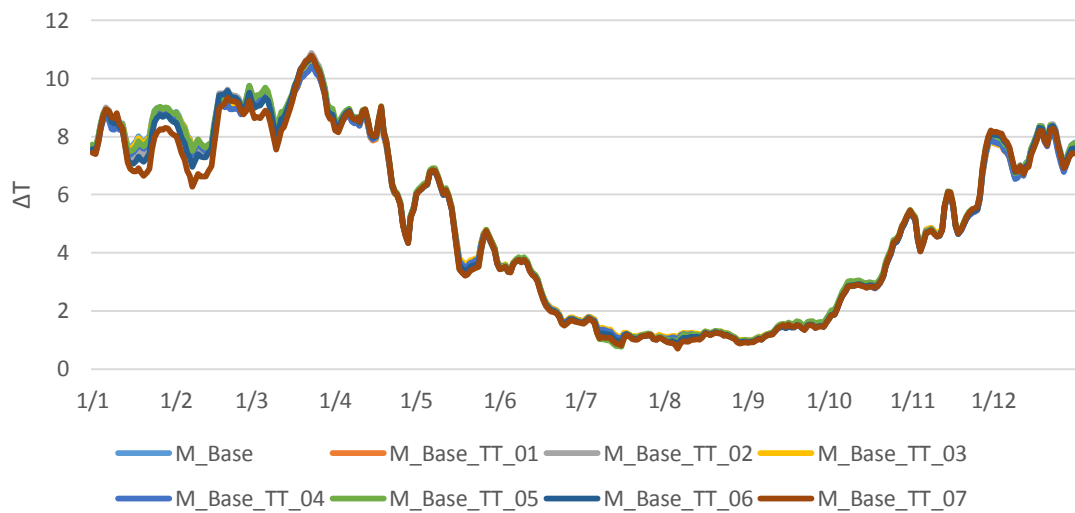


Grafico 123 - Andamento annuale delle differenze di temperature interno-esterno medie giornaliere per le varianti TT.OX, Palermo

### Tecnologie costruttive - 15 Dicembre - Bolzano

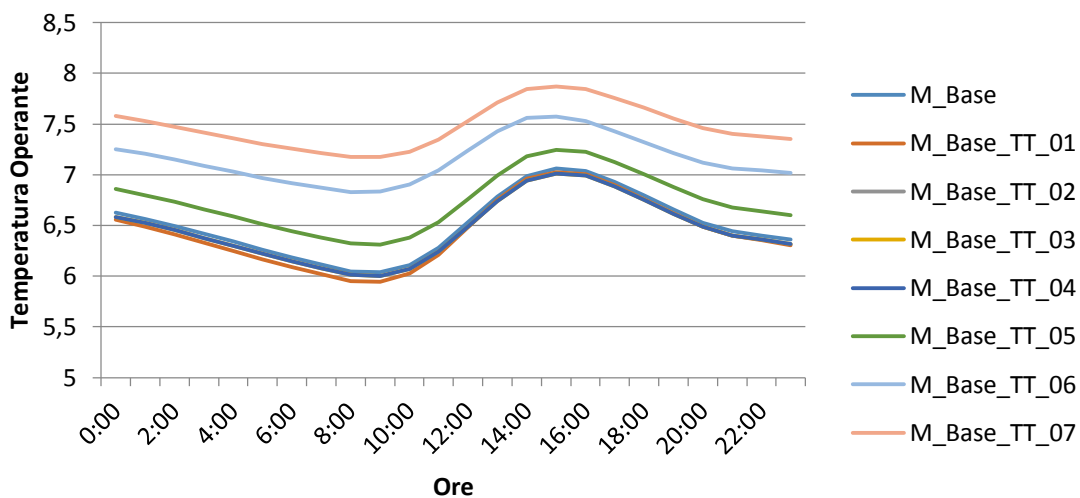


Grafico 124 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Bolzano

### Tecnologie costruttive - 15 Luglio - Bolzano

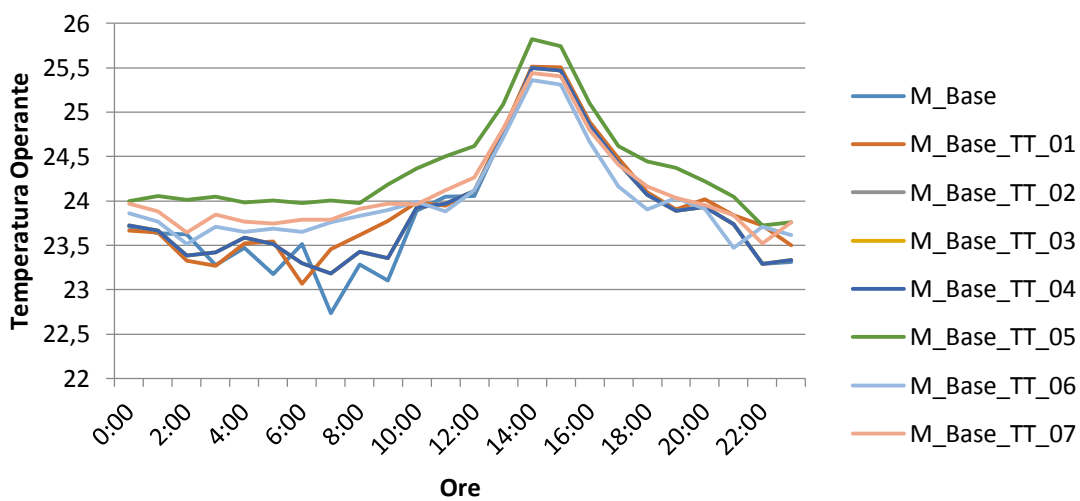


Grafico 125 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.OX, Bolzano

### Tecnologie costruttive - 15 Dicembre - Roma

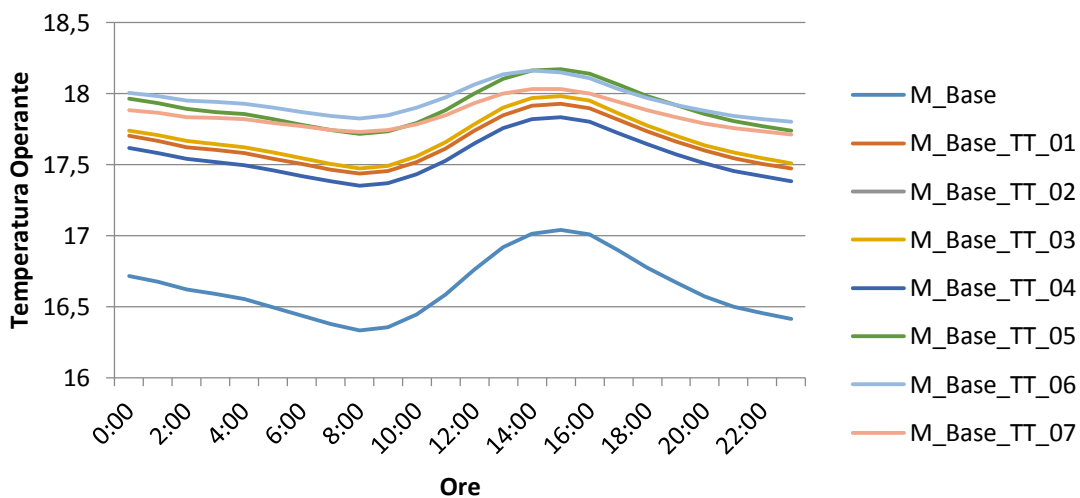


Grafico 126 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.0X, Roma.

### Tecnologie costruttive - 15 Luglio - Roma

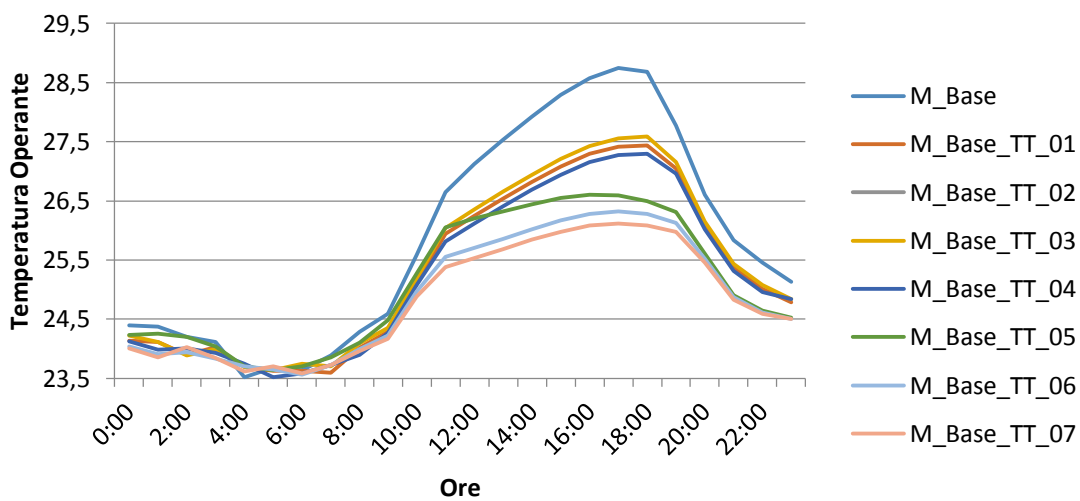


Grafico 127 - Andamento giornaliero della temperatura operante per le varianti TT.0X, Roma.