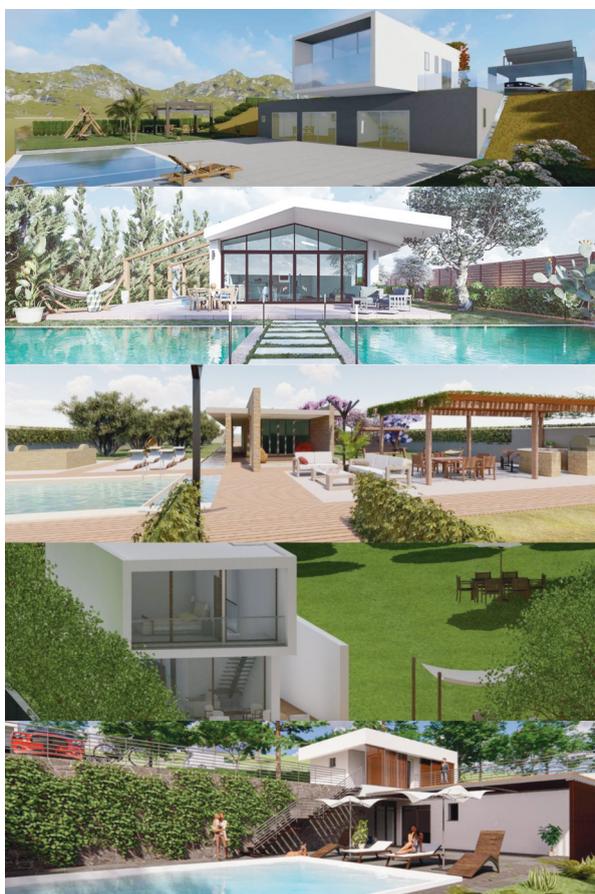


Simona Colajanni, Antonino Valenza

# Materiali e tecniche innovative per l'edilizia sostenibile



Ricerche di tecnologia dell'architettura

**FrancoAngeli** 



## RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

*diretta da* Giovanni Zannoni (Università di Ferrara)

### *Comitato scientifico:*

Andrea Boeri (Università di Bologna), Carlos A. Brebbia (Wessex Institute of Technology, Southampton), Joseph Galea (University of Malta), Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Giorgio Giallocosta (Università di Genova), Maria Chiara Torricelli (Università di Firenze), Jan Tywoniak (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

La collana *Ricerche di tecnologia dell'architettura* tratta prevalentemente i temi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design con particolare attenzione alla costruibilità del progetto. In particolare gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle scale esecutive e quindi le modalità di realizzazione, trasformazione, manutenzione, gestione e recupero dell'ambiente costruito.

I contenuti scientifici comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi.

Nel campo del design i contenuti riguardano le teorie, i metodi, le tecniche e gli strumenti del progetto di artefatti e i caratteri produttivi-costruttivi propri dei sistemi industriali.

I settori nei quali attingere per le pubblicazioni sono quelli dei progetti di ricerca nazionali e internazionali specie di tipo sperimentale, le tesi di dottorato di ricerca, le analisi sul costruito e le possibilità di intervento, la progettazione architettonica cosciente del processo costruttivo.

In questi ambiti la collana pubblica progetti che abbiano finalità di divulgazione scientifica e pratica manualistica e quindi ricchi di spunti operativi per la professione di architetto.

La collana nasce sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi nel 1974.

I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata affidata a un Comitato scientifico, diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura e proseguire l'importante opera di divulgazione iniziata quarant'anni prima.



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

**FrancoAngeli Open Access** è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

[http://www.francoangeli.it/come\\_publicare/publicare\\_19.asp](http://www.francoangeli.it/come_publicare/publicare_19.asp)

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it) e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Simona Colajanni, Antonino Valenza

# **Materiali e tecniche innovative per l'edilizia sostenibile**

Con scritti di: Marco Bellomo, Roberto Bertini, Paolo De Marco,  
Antonio De Vecchi, Antonino Margagliotta e gli allievi del master

Ricerche di tecnologia dell'architettura

**FrancoAngeli** 

Realizzato da



Università degli studi di Palermo

con il contributo dell'Assessorato Regionale dell'Istruzione e della Formazione Professionale



**Regione Siciliana**

*In copertina:* fotocomposizione delle viste di varie soluzioni di efficientamento sperimentate

Isbn cartaceo: 9788835126126

Isbn e-book: 9788835140610

Doi: 10.3280/oa-801

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Publicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale* (CC-BY-NC-ND 4.0)

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

# Indice

<b>1. Dalla teoria alla pratica: imparare a fare</b> di <i>Simona Colajanni, Antonio De Vecchi,</i> <i>Antonino Valenza</i>	pag.	7
<b>2. Progetti di sviluppo economico per le aree del Mediterraneo</b> di <i>Roberto Bertini</i>	»	9
<b>3. Principi di edilizia sostenibile nella cultura contemporanea</b> di <i>Simona Colajanni, Antonio De Vecchi</i>	»	11
<b>4. Materiali e ambiente costruito</b> di <i>Antonino Valenza</i>	»	23
<b>5. Etica ed estetica della sostenibilità</b> di <i>Antonino Margagliotta</i>	»	27
<b>6. Sistemi di raffrescamento passivo nell'architettura mediterranea</b> di <i>Simona Colajanni</i>	»	33
<b>7. Le forme della sostenibilità</b> di <i>Paolo De Marco</i>	»	41
 <i>Applicazioni in Sicilia</i>		
<b>8. Progetto di una casa singola in clima mediterraneo</b> di <i>Simona Colajanni</i>	»	52

<b>9. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Buseto Palizzolo: “Long House”</b>	pag.	55
<i>di Giulia Chiappisi, Serena Privitera, Fabio Romano, Alessandro Spatafora</i>		
<b>10. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Marsala: “Casa Salina”</b>	»	77
<i>di Flavia Barbera, Luisa Lombardo, Salvatore Marinaro, Francesca Noto</i>		
<b>11. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Selinunte: “Casa sul mare”</b>	»	99
<i>di Maria Bica, Alessandra Foderà, Viviana Maria Li Causi, Achille Roberto Porcasi</i>		
<b>12. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Val d’Erice: “Casa Cannocchiale”</b>	»	117
<i>di Gaetano Camarda, Rosario Cavaleri, Giovanni Collovà, Barbara Seminara</i>		
<b>13. Progetto sostenibile di edilizia residenziale ad Alcamo: “Casa Terrea”</b>	»	135
<i>di Matteo Bevilacqua, Gianluca D’Arpa, Alida Schifano, Roberto Sconduto</i>		
<b>14. Strategie e materiali innovativi: proposte sostenibili</b>	»	153
<i>di Simona Colajanni, Marco Bellomo</i>		
<b>Gli autori</b>	»	157

# *1. Dalla teoria alla pratica: imparare a fare*

di *Simona Colajanni, Antonio De Vecchi, Antonino Valenza*

## **Obiettivi, finalità e sbocchi occupazionali**

Il progetto per la formazione di “esperto” in grado di progettare, gestire e valutare le problematiche che concorrono alla realizzazione di edifici sostenibili rappresenta un programma di profilo culturale e tecnico che intende formare professionisti destinati a ricoprire ruoli di primaria importanza nel campo della libera e pubblica professione.

Principale finalità del Master di secondo livello in Materiali e Tecniche Innovative per l’Edilizia Sostenibile è stato il perfezionamento della preparazione di base posseduta dai laureati in Ingegneria e in Architettura, con particolare riferimento all’acquisizione di conoscenze specifiche, abilità pratiche e tecniche relativamente alla gestione e utilizzazione dei più avanzati sistemi in grado di risolvere i complessi problemi per l’ottenimento di un sempre maggiore risparmio energetico e riduzione di emissione di CO<sub>2</sub>.

Il Master è stato incardinato nel Dipartimento di Ingegneria dell’Università degli Studi di Palermo con il supporto economico e logistico del consorzio UNISOM che si è fatto carico della gestione e delle spese, approntando quelle risorse necessarie a rendere gratuita la frequenza dei corsisti.

Le lezioni frontali hanno avuto come focus l’acquisizione di elevate competenze nella progettazione di sistemi di climatizzazione ibridi, analisi dei flussi energetici, impiego di materiali e tecniche innovative, impiego di materiali rinnovabili e riciclabili, retrofit, micro generazione diffusa, certificazione energetica, ecc. in maniera tale da consentire l’inserimento dei corsisti nel mondo del lavoro in ampi settori dell’edilizia che spaziano dalla progettazione architettonica alla scelta e proposizione di materiali innovativi sostenibili.

A tale scopo il Master si è avvalso del contributo di professionisti e studiosi di prestigio, oltre ai docenti di comprovata esperienza scientifica dell’Università di Palermo e di altri Atenei italiani e stranieri. Tale contributo

è stato erogato sia nella forma di corsi disciplinari regolari, con svolgimento frontale e di laboratorio, sia attraverso convegni, seminari, conferenze, presentazione analitica di prodotti e rassegne.

La formazione dei corsisti si è sviluppata secondo tutte le attività suddette ed è stato completato da uno stage che si è svolto presso aziende di comprovata attitudine alla sostenibilità edilizia, istituzioni ed enti esterni che hanno collaborato anche alla struttura fondativa del Master, durante il quale è stata, anche, sviluppata l'elaborazione di un prodotto finale.

Al termine del Master i corsisti hanno acquisito specifiche competenze professionalizzanti, sia a livello progettuale, operativo e organizzativo che di successivo controllo e monitoraggio, tali da consentirgli un inserimento in tutte le articolazioni del settore, nell'ambito dell'edilizia sostenibile, sia in ambito pubblico che privato.

Inoltre, la collaborazione attivata durante il periodo di stage ha prodotto forme di rapporti di lavoro permanente tra gli stagisti e le aziende ospitanti.

Ciò è stato anche facilitato da un taglio applicativo, delle attività, improntato ad una maggiore attenzione alle possibilità offerte dai finanziamenti erogati dalla Comunità Europea con particolare attenzione agli aspetti progettuali e tecnico amministrativi. Tali proposizioni sono state ultimamente confermate dagli orientamenti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza che incentivano e supportano questa tendenza economica.

## *2. Progetti di sviluppo economico per le aree del Mediterraneo*

di *Roberto Bertini*

Il cambiamento climatico e la necessità di ridurre il consumo energetico del pianeta sono argomenti chiave del dibattito politico, scientifico, economico e culturale in tutto il pianeta.

Un dibattito al quale il Consorzio UNISOM (Universitario per l'Ateneo della Sicilia Occidentale e del Bacino del Mediterraneo) ha contribuito sia economicamente che a livello gestionale determinando, sin dall'anno accademico 2010-2011, all'attivazione della prima edizione del Master dal titolo *Materiali e Tecniche Innovative per l'Edilizia Sostenibile (MeTIES)*, perseguendo il preciso obiettivo di formare una generazione di professionisti che sappiano padroneggiare le nuove tecnologie per ripensare il modo di "costruire" contemporaneo.

Le diverse edizioni di MeTIES costituiscono un know-how del quale il Consorzio UNISOM è particolarmente orgoglioso: nell'ultima edizione è stata raggiunta un'altissima percentuale di placement: tutti i corsisti hanno trovato subito una collocazione nel modo del lavoro sfruttando le competenze acquisite durante il corso. Anche gli altri corsisti, che hanno frequentato le precedenti edizioni, hanno avuto modo di mettere a frutto l'esperienza acquisita sia durante lo svolgimento delle lezioni che durante il periodo di stage che si è svolto presso prestigiose aziende italiane e straniere. Alcuni hanno avuto l'opportunità di trovare occupazione proseguendo all'interno delle aziende dove hanno svolto le ore di stage previste nel percorso formativo, altri nel mondo del lavoro e della professione.

E tra i punti di orgoglio del nostro passato ci sono i project work realizzati dai corsisti, come quelli che presentiamo in questa pubblicazione. Per noi sono la constatazione tangibile di come il percorso progettato sin dall'inizio veda un finale estremamente concreto, una "messa a terra" operativa dei concetti elaborati durante le lezioni.

Possiamo racchiudere in questo la vision di MeTIES: il nostro contribu-

to al dibattito sulle possibilità di uno sviluppo sostenibile sta nel fornire “operatori” che sappiano prima individuare e poi realizzare soluzioni possibili e concrete. Ed è questo che troverete sfogliando queste pagine: risposte operative alle necessità di un settore (l’edilizia sostenibile) che sarà sempre più al centro delle scelte economiche e politiche dei prossimi decenni.

Questo ci garantisce anche la certezza di dare ai nostri studenti uno strumento reale per entrare dalla porta principale in un segmento che sicuramente si trova in una fase di sviluppo che non rischia di “esaurirsi”. I materiali e le tecniche per l’edilizia sostenibile si evolveranno, troveranno nuove strade, ipotizzeranno nuovi scenari e noi saremo pronti ad accogliere questi cambiamenti.

Questo è MeTIES, quello che è stato e quello che sarà nelle prossime edizioni. Ed è per questo che il modo migliore di raccontarlo, alla fine, è vedere i project work prodotti dagli studenti.

Se un’immagine vale mille parole, illustrare un progetto vale un intero discorso.

Ed infine il mio personale ringraziamento ai componenti del comitato scientifico e agli allievi della terza edizione che hanno contribuito al successo del master. Un particolare ringraziamento al Professore Antonino Valenza e alla Professoressa Simona Colajanni per la loro costante e paziente disponibilità e competenza.

### *3. Principi di edilizia sostenibile nella cultura contemporanea*

di *Simona Colajanni, Antonio De Vecchi*

#### **Definizione**

Il termine sostenibilità, adottato universalmente da qualche decennio, si riferisce a comportamenti che mirano, in senso più ampio, al risparmio energetico e alla diminuzione di emissioni nocive.

Inizialmente era una moda, per lo più, legata all'impiego di pannelli solari e, al contempo, condizionata da luoghi comuni. Emblematica, in tal senso, la sensibilizzazione contro l'impiego del legno in tutte le sue trasformazioni (carta, alberi di Natale, ecc.).

In modo particolare il legno, tra i diversi materiali da costruzione, è considerato quello a maggiore valenza sostenibile in quanto di origine naturale, riciclabile e totalmente rigenerabile. Nelle applicazioni in edilizia, il legno può essere utilizzato sia per la realizzazione delle membrature portanti che, sotto forma di travi e tavolati, per le coperture, i solai, i pavimenti, le finiture e l'arredamento.

L'impiego di tale materiale, se fatto rispondendo a determinati criteri, non comporta, pertanto, l'esaurimento delle risorse ambientali e il disboscamento. Nonostante ciò, si è diffuso il luogo comune del paradosso dell'albero di Natale. Contrariamente a quanto per molti anni è stato pubblicizzato, gli alberi di Natale naturali sono la scelta più sostenibile. Una società di consulenza ambientale canadese ha pubblicato i risultati di uno studio condotto sull'impatto ambientale degli alberi di Natale artificiali. L'analisi ha utilizzato un modello che considera il ciclo di vita degli alberi di Natale artificiali "made in China" e gli alberi di Natale "veri" prodotti nei boschi a 300 km dal centro città. Per il confronto, lo studio canadese ha considerato una resa di sei anni per l'albero di Natale artificiale e una durata di un solo anno per quello "naturale". Dall'analisi dei risultati si è evi-

denziato che, per eguagliare il bilancio ambientale di un albero di Natale vero, quello artificiale dovrebbe essere utilizzato per almeno 20 anni!

L'esempio dell'albero di Natale dimostra come il termine sostenibilità, ormai diffuso nei diversi settori industriali, venga, molto spesso, strumentalizzato per fini meramente economici.

La definizione, oggi, ampiamente condivisa è quella di sviluppo sostenibile, contenuta già nel rapporto Brundtland, elaborato nel 1987 dalla Commissione Mondiale sull'Ambiente: «Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto un processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali. Lo sviluppo sostenibile impone di soddisfare i bisogni fondamentali di tutti e di estendere a tutti la possibilità di attuare le proprie aspirazioni ad una vita migliore (...)».

Da ciò deriva che lo sviluppo sostenibile può essere declinato secondo tre aspetti principali: quello economico, inteso come capacità di generare reddito e lavoro, quello sociale, inteso come capacità di garantire condizioni di benessere umano, quello ambientale, inteso come capacità di mantenere l'equilibrio e la riproducibilità delle risorse naturali. (fig. 1)



*Figura 1 – Il grafico mostra le interconnessioni tra le dimensioni della sostenibilità dello sviluppo e la regola dell'equilibrio delle tre; tratto da Geologia dell'Ambiente, periodico trimestrale della SIGEA, Società Italiana di Geologia Ambientale, vol. 2/2014, pag.17.*

L'incontro tra questi tre aspetti rappresenta il concetto di sviluppo sostenibile che può essere di volta in volta verificato operativamente attraverso altri tre termini, vivibile, equo e realizzabile, che coincidono con i punti di intersezione dei tre aspetti principali.

Inoltre, il concetto di sostenibilità non concentra soltanto l'attenzione nei confronti dello sfruttamento delle risorse naturali e del risparmio ener-

getico ma abbraccia, anche, la questione dell'inquinamento atmosferico ed in particolar modo dell'effetto serra provocato dall'immissione nell'aria di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Tale aspetto riguarda i principali comparti industriali con particolare attenzione a quello edilizio, interessato dal raggiungimento di livelli di comfort ambientale sempre maggiori. Un esempio per tutti vale il consumo, per il raggiungimento di alti livelli di indoor comfort invernale, di combustibili fossili come il carbone che solo in Cina rappresenta il maggior inquinante atmosferico.

Nonostante le politiche internazionali, volte alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica, alcuni comparti della produzione industriale non sembrano cedere sui livelli di emissioni di CO<sub>2</sub> prodotta.

Dall'accordo internazionale per il controllo del riscaldamento globale con il Protocollo di Kyoto del 2009 si è fatta molta strada attraverso la riconversione di ampi comparti industriali come quello automobilistico che ha virato la produzione sulle automobili ibride o quasi totalmente elettriche e quello edilizio che ha riscoperto la progettazione con l'applicazione di sistemi di condizionamento passivo e ha introdotto nuovi criteri per la produzione di materiali in modo tale che contengano al loro interno parti di materiali riciclati nel rispetto di un'economia circolare.

A seguito di tale orientamento l'Unione Europea ha emanato con la Direttiva 2009/29/CE il "pacchetto clima-energia 20-20-20" che ha previsto, entro il 2020, di ridurre le emissioni di gas serra del 20%, alzare al 20% la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e portare al 20% il risparmio energetico. La nuova frontiera del 2050 in effetti si apre su una condizione di mancato raggiungimento di tali obiettivi, che anche se supportati da un'ampia campagna di incentivazione economica, hanno trovato reali resistenze nel comparto industriale, legato soprattutto alle emissioni di CO<sub>2</sub>, che si è ammantato di termini di richiamo alla sostenibilità non realmente accompagnati da una politica di adeguamento e innovazione di prodotto e di processo produttivo.

Già nel 2015, a Parigi, i delegati dei 195 Paesi hanno trovato un'intesa più concreta contro il surriscaldamento del pianeta con l'obiettivo di mantenere l'aumento della temperatura media mondiale molto al di sotto dei due gradi dei livelli preindustriali. I diversi paesi coinvolti hanno messo in campo normative e incentivi atti a compiere tutti gli sforzi necessari affinché l'aumento non oltrepassasse i 1,5 gradi. Purtroppo, l'obiettivo non è stato ancora pienamente raggiunto.

Proprio in questa direzione il settore dell'edilizia sostenibile è in rapida e costante evoluzione, nonostante su tale questione ci siano posizioni contrastanti sia sul piano scientifico che su quello politico: da un lato la pubblicizzazione di progetti di edifici di nuova costruzione e concezione capaci di

sostentarsi energeticamente in maniera completamente autonoma, dall'altro l'alto prezzo, in termini economici e di valutazione LCA, che gli stessi edifici costano alla comunità.

Il comparto edilizio è certamente un settore strategico per l'applicazione di interventi mirati, poiché è fortemente responsabile dei consumi di energia e delle emissioni di CO<sub>2</sub>. La ricerca, l'ideazione, la sperimentazione. La messa in opera e il monitoraggio richiedono, al contempo, la formazione di nuove figure professionali con un conseguente incremento di nuovi posti di lavoro.

## La situazione edilizia

Come ormai evidenziato in molti studi di fattibilità di interventi per il perseguimento di uno sviluppo sostenibile, il settore edilizio è uno dei maggiori responsabili dei consumi energetici ed è il maggiore responsabile delle emissioni di CO<sub>2</sub> con un trend di crescita continuo.

Dalla fine del secolo scorso i consumi di energia nell'edilizia sono aumentati di circa il 34%. (fig. 2).

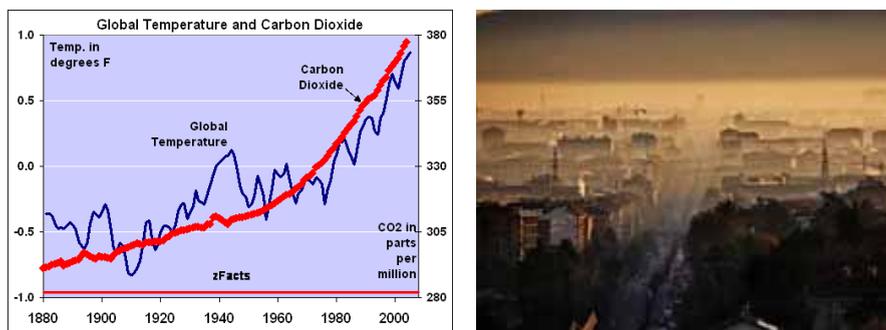


Figura 2 - Il grafico mostra come, alla fine del secolo scorso, all'aumentare dell'anidride carbonica sia aumentata la temperatura globale nel pianeta. Lo studio denominato "Tightened constraints on the time-lag between Antarctic temperature and CO<sub>2</sub> during the last deglaciation" è stato realizzato nel 2012 dall'istituto Niels Bohr dell'Università di Copenhagen con l'Università della Tasmania mediante l'analisi di carote di ghiaccio antartiche. A ciò si aggiunge lo smog presente nelle aree urbane, oltre alla nebbia, che è composto, sempre più, da emissioni nocive.

Ciò è attribuibile alla domanda di maggiore qualità in termini di benessere e comfort specie nel settore residenziale e nei periodi più caldi ha portato a definire l'edilizia «energivora».

In particolare, si è determinata un'accelerazione del consumo di energia per il riscaldamento a partire dagli anni '80, proprio in ragione di un mag-

giore benessere economico che ha permesso alla media utenza di dotare i propri alloggi di tutti i possibili comfort, dagli impianti di riscaldamento ai più energivori sistemi di climatizzazione estiva.

L'attuale orientamento è quello di intervenire sia per l'edilizia di nuova costruzione che per quella esistente con una progettazione sostenibile che adotti per lo più sistemi passivi, tali da consentire un'ottimizzazione del rapporto costi/benefici, nonché impieghi materiali di tipo riciclabile o rinnovabili e sviluppi tecnologie innovative. L'approccio al progetto edilizio è stato, così, oggetto di una rivoluzione scientifica basata sul concetto di «passive house» secondo la direttiva europea «nZEB (Nearly Zero Energy Building)».

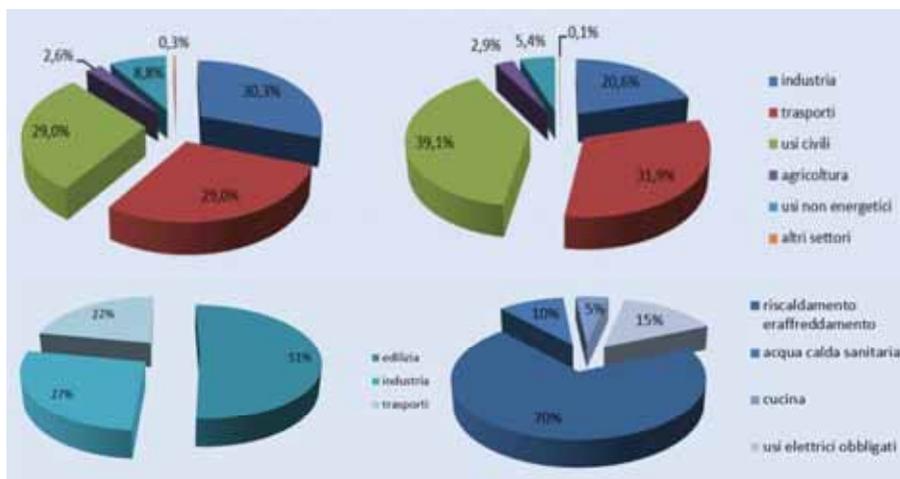


Figura 3 - Impieghi finali di energia per settore, anni 1990 e 2015. Elaborato da Enea, Rapporto Annuale; Efficienza energetica, 2017 (fonte EUROSTAT). Emissioni di CO<sub>2</sub> per settore; Consumo energetico locale per usi finali degli edifici, tratta da G. Alberti, <https://www.posaqualificata.it/da-dove-iniziare>.

In tal senso, la questione di difficile soluzione è l'adeguamento dell'edilizia esistente. Escludendo però l'edilizia storica che, proprio perché realizzata in assenza di impianti di climatizzazione, possiede già intrinsecamente alcuni sistemi di mitigazione passivi (presenza di murature di elevato spessore, aperture di modesta entità, corretta esposizione solare, ecc.). Si deve invece fare riferimento all'edilizia sviluppatasi a dismisura dopo la Seconda Guerra Mondiale, durante la ricostruzione e poi con il miracolo economico e il boom economico in tutte le zone di espansione delle grandi città di tutti i paesi del mondo. Le costruzioni realizzate in questo periodo presentano una serie di criticità legate, principalmente, alla velocità di esecuzione richiesta. Le nuove tecnologie, poco sperimentate, la scarsa qualità

dei materiali e la possibilità di utilizzare sistemi di condizionamento primigeni, hanno favorito la costruzione di edifici poco attenti ai principi insediativi sostenibili, pieni di ponti termici, con poco o quasi nullo sfasamento termico, indifferenti rispetto alla localizzazione geografica o semplicemente a quella solare.

Dall'analisi dei dati Istat e Cresme si evince che quasi 7 milioni e 200 mila edifici hanno più di 40 anni, numero pari al 61% del patrimonio complessivo delle costruzioni abitative del Paese. Nelle grandi città metropolitane questa percentuale cresce fino a toccare il 76%.



*Figura 4 - Vista dall'alto di Palermo oggi e come era da una cartolina degli anni '40. Si ha un'idea della quantità enorme di edifici realizzati nell'arco di una ventina d'anni, durante gli anni '60 e '70, periodo del boom edilizio a Palermo durante il quale si sono realizzati quasi tutti gli edifici residenziali oggi esistenti.*

## **Passive House**

Per fare fronte alla dilagante costruzione di edifici energivori, nel maggio del 1988, Bo Adamson dell'Università di Lund, in Svezia, e Wolfgang Feist dell'Institut für Wohnen und Umwelt (Istituto per l'alloggio e l'ambiente, Germania) avviano una collaborazione che porterà alla definizione dello standard Passivhaus inteso, secondo il termine originale di lingua tedesca, come un edificio che copre la maggior parte del suo fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento ambientale interno ricorrendo a dispositivi passivi.

«Casa passiva» ed «edificio passivo» sono espressioni spesso confuse con quella di «passive house». Oggi un edificio passivo può essere definito quando il fabbisogno termico può essere coperto, per la maggior parte, da

sistemi passivi tali da richiedere impianti convenzionali poco complessi e con ridotti consumi di energia.

L'Istituto di case passive tedesco considera una costruzione passiva<sup>1</sup> se questa soddisfa i seguenti requisiti (quantitativi): fabbisogno energetico utile richiesto per il riscaldamento di 15 kWh/mq, carico termico invernale di 10 W/mq, fabbisogno energetico utile richiesto per il raffrescamento di 15 kWh/mq, carico termico estivo di 10 W/mq, tenuta all'aria pari a n.50 0.6/h, fabbisogno energetico primario di energia 120 kWh/mq.

Oggi, però, una semplice classificazione di sistemi passivi (muri di Trombe, sistemi Barra Costantini, muri di accumulo, ecc.), come già fatto da diversi autori, non può più soddisfare la richiesta di un approccio multidisciplinare e multiscale del progetto di architettura.

Si rende necessario che il progetto di un edificio a basso consumo energetico sia capace di accogliere più soluzioni di sistemi tali da integrarsi con l'intero apparato architettonico sfruttandone le peculiarità formali e funzionali in relazione al contesto e alla zona climatica.

Inoltre, con la modellazione BIM è possibile analizzare e ottimizzare i sistemi cosiddetti ibridi che riducono il consumo degli impianti convenzionali grazie al contributo integrato dei sistemi passivi.

Per tali motivi è di fondamentale importanza acquisire conoscenze pratiche e applicative attraverso una formazione di base e multidisciplinare come quella che il Master ha avuto l'obiettivo di erogare. Tale obiettivo è stato perseguito anche attraverso il coinvolgimento di docenti dell'Università di Palermo ma anche di esperti esterni che hanno presentato casi di studio, tradizionali e contemporanei, sia realizzati che teorizzati in occasione di ricerche e proprie esperienze professionali secondo le più aggiornate direttive europee e nazionali.

## **Edifici nZEB**

La Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010, introduce il concetto di nZEB (nearly zero energy buildings), edificio a energia quasi zero, intendendo un edificio ad altissima prestazione energetica, con fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo. In particolare, tale Direttiva all'art. 9

<sup>1</sup> I termini "casa passiva" ed "edificio passivo" sono espressioni che si ritrovano già in una pubblicazione del 1978 dal titolo "Regional guidelines for building passive energy conserving homes" edita dall'AIA Research Corporation. Una decina di anni più tardi, compare invece per la prima volta il titolo di Passivhaus in Germania, con la costruzione nel 1991 nel quartiere Kranichstein a Darmstadt dal Dr. Wolfgang Feist di quattro villette a schiera.

prevede che gli Stati membri provvedano affinché: entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero, a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero. In questa sede è importante sottolineare che la direttiva si occupa anche dell'edilizia esistente e del calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi<sup>2</sup>. Va sottolineato come in dette normative spesso si fa cenno all'aspetto dei costi e del rapporto costi/benefici.

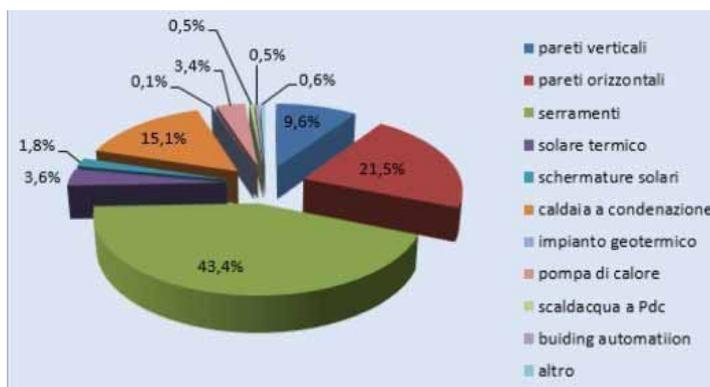


Figura 5 - Distribuzione dei risparmi energetici conseguiti attraverso le detrazioni fiscali, anno 2016. Fonte ENEA. È evidente come la maggior parte degli interventi sono riferiti all'involucro (pareti e serramenti) mentre esigui sono quelli dove sono state impiegate energie rinnovabili.

Oggi, infatti, le moderne tecnologie, i materiali innovativi e l'ausilio informatico consentirebbero di ottenere un edificio a consumo energetico zero (non quasi), ma il problema è semplicemente il costo.

L'abilità dei professionisti deve essere proprio quella di minimizzare i costi in rapporto in modo da ammortizzare, nel più breve tempo possibile, gli investimenti necessari per raggiungere l'obiettivo di un edificio a consumo energetico quasi zero.

<sup>2</sup> Il Decreto Requisiti Minimi, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015 ed in vigore dal 1 Ottobre 2015, è il nuovo riferimento per l'efficienza energetica in edilizia che recepisce la Direttiva Europea Edifici a Energia Quasi Zero, fissando i metodi di calcolo e requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche per gli edifici di nuova costruzione e per le ristrutturazioni.

## Retrofit energetico

Quanto detto per gli edifici di nuova costruzione assume maggiore rilevanza operando sull'edilizia esistente dove non è spesso possibile introdurre fonti di energia rinnovabile e bisognerà ricorrere all'adozione di sistemi passivi specie nei confronti dell'involucro che rappresenta la parte dell'edificio più sensibile nei confronti dei consumi di energia per le forti dispersioni di calore causate dalla presenza di tecnologie inadeguate e materiali poco performanti.

Può sembrare difficoltoso raggiungere tali obiettivi ma emblematico in tal senso è quanto è stato fatto per l'Empire State Building a New York considerate le sue dimensioni e le difficoltà logistiche. I lavori sono iniziati nel 2009 e sono stati ultimati dopo solo pochi anni. Si è intervenuto su molti aspetti ma l'intervento principale è stato sui 6.500 infissi presenti che sono stati smontati e restaurati in un'officina realizzata nel cantinato. Il 96% dei vetrocamera esistenti sono stati rivestiti con una pellicola per renderli basso emissivi, è stata creata una doppia intercapedine riempita con un mix di gas inerte isolante che, oltre a portare concreti vantaggi in termini di trasmissione del calore tra interno ed esterno, contribuisce anche a tenere sotto controllo il passaggio della luce. La trasmittanza si riduce al punto da ottenere un risparmio energetico stimato in 410 mila dollari l'anno. Gli interventi sugli infissi sono solo una delle strategie messe in atto a cui l'icona newyorkese è stata sottoposta.



*Figura 6 - L'Empire State Building, inaugurato nel 1931, tratto da la Repubblica, 26 febbraio 2021.*

L'intervento complessivo, a regime, dovrebbe consentire la riduzione del 38% del fabbisogno energetico stimato con un risparmio annuo di 4,4 milioni di dollari. È stato valutato che tale investimento potrà essere ammortizzato in tre anni d'esercizio. Inoltre, tale operazione economica è stata gestita secondo un progetto realizzato da Clinton Climate Initiative, Jones Lang LaSalle, Rocky Mountain Institute e Johnson Controls in qualità di Escrow (Energy Services Company), in grado di fornire tutti i servizi tecnici, commerciali e finanziari necessari per realizzare l'intervento di efficienza energetica, assumendosi l'onere dell'investimento a fronte della stipula di un contratto in cui siano stabiliti i propri utili.

Quanto fatto nell'Empire State Building è un esempio emblematico per l'innovativo processo di progettazione, messa in opera e gestione di un edificio esistente simbolo di un modo di "fare" architettura all'avanguardia per il periodo in cui è stato realizzato che ancora oggi può garantire livelli di comfort ambientale soddisfacenti.

Ciò diviene ancora più efficace se gli interventi di efficientamento energetico vengono effettuati nel rispetto di un'economia circolare definita *green economy* o ancora più recentemente *blue economy*.

## Life Cycle Assessment

Nell'ottica del rispetto dei principi della *green economy* diviene di fondamentale importanza definire il concetto di *Life Cycle Assessment* (in italiano "valutazione del ciclo di vita", conosciuto anche con la sigla LCA, inteso come metodo scientifico per misurare l'impatto ambientale di un prodotto in ogni fase della sua vita. "Dalla culla alla tomba" o più recentemente "dalla Culla alla Culla" con l'introduzione delle materie prime seconde secondo principi virtuosi di riciclo.

La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) nel 1993 sulla metodologia di LCA ha proposto la seguente definizione: "è un procedimento oggettivo di valutazione degli impatti energetici e ambientali relativi a un prodotto/processo/attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto/processo/attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale". È un metodo di valutazione che nasce in ambito industriale, ma che ha grandi potenzialità applicato nel settore edile, offrendo uno strumento completo per una progettazione e una costruzione consapevoli e più sostenibili. Nel settore edilizio il metodo LCA si complessifica poiché occorre

fare una duplice valutazione: una in merito i prodotti edilizi e una sull'intero edificio. Ogni prodotto utilizzato per la realizzazione di un edificio è un elemento del sistema così come l'intero edificio. Tali valutazioni permettono anche di fare una valutazione teorica sulle emissioni di CO<sub>2</sub> e sulla embodied energy.

Secondo la norma ISO 14044 ci sono quattro fasi in uno studio LCA:

- a) la fase di definizione dell'obiettivo e dell'ambito;
- b) la fase di analisi dell'inventario;
- c) la fase di valutazione dell'impatto;
- d) la fase di interpretazione.

L'ambito, incluso il limite del sistema e il livello di dettaglio, di una LCA dipende dal soggetto e dall'obiettivo. La profondità e l'ampiezza della LCA possono differire notevolmente a seconda dell'obiettivo.

La fase di definizione degli obiettivi individua quali prodotti si studiano, l'unità funzionale, i confini del sistema, le assunzioni e i limiti, l'applicazione prevista e le motivazioni, a chi è indirizzato lo studio.

La fase di analisi d'inventario (LCI) consiste nella raccolta di dati e nelle procedure di calcolo volte a quantificare i flussi in entrata e in uscita rilevanti di un sistema di prodotto, in accordo all'obiettivo e al campo di applicazione.

La fase di valutazione degli impatti (LCIA) consiste nella valutazione dell'impatto del ciclo di vita e ha lo scopo di valutare la portata dei potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell'analisi di inventario del ciclo di vita.

La fase di interpretazione è un procedimento sistematico volto all'identificazione, qualifica, verifica e valutazione dei risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti, al fine di presentarli in forma tale da soddisfare i requisiti dell'applicazione descritti nell'obiettivo e nel campo di applicazione, nonché di trarre conclusioni e raccomandazioni. Esistono diversi software per effettuare l'analisi del ciclo di vita specie per quanto riguarda la fase di inventario.

Oggi, alle valutazioni di tipo teorico, però, si affiancano anche quelle di tipo pratico. È ancora in fase di collaudo un sistema che attraverso la rilevazione satellitare permette di valutare in tempo reale e con dati quantitativi, oltre che qualitativi, le reali emissioni di CO<sub>2</sub> su interi comparti urbani.

## Riferimenti bibliografici

- Aste N., Angelotti A., Buzzetti M. (2009), *The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings*, Energy Build. 41
- Blengini G.A., Di Carlo T. (2010), *The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of a low energy buildings*, Energy Build 42
- Cellura M., (2014), *Energy life-cycle approach in net zero energy buildings balance: operation and embodied energy of an Italian case study*, Energy Build. 72.
- Chastas P., Theodosiou T., Bikas D. (2016) *Embodied energy in residential buildings – towards the nearly zero energy building: a literature review*, Build. Environ. 105
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of building (recast).
- Dodoo A., Hustavsson L., Sathre R. (2012), *Effects of thermal mass on life cycle primary energy balances of a concrete and a wood frame building*, Appl. Energy 92
- Engelmann P., Kalz D., Salvalai G. (2014), *Cooling concepts for non-residential buildings: a comparison of cooling concepts in different climate zones*, Energy Build. 82.
- Ferrante A. (2014), *Energy retrofitting to nearly zero and social oriented urban environments in the Mediterranean climate*, Sustain. Cities Soc. 13.
- Givoni B., (1994), *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*, John Wiley & Sons.
- Guillen-Lambea S., Rodriguez-Soria B., Marin J.M. (2016), *Review of European ventilation strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero energy buildings (nZEB)/Passivhaus*. Comparison with the USA, Renew. Sustain. Energy Rev. 62.
- Olgay V. (1990), *Progettare con il clima*, Franco Muzzio & C. editore, Padova.
- Pless S., Torcellini P. (2010), *Net Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US.
- Rabani M., Madessa H.B., Nord N. (2017), *A state of art review of retrofit interventions in buildings towards nearly zero energy level*, Energy Procedia 134.
- Sartori I., Hestnes A.G. (2007), *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article*, Energy Build. 39.
- Torcellini P., Pless S., Deru M. (2006), *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US.
- Yang L., Yan H., Lam J.C. (2014), *Thermal comfort and building energy consumption implications – a review*, Appl. Energy 115.

## 4. *Materiali e ambiente costruito*

di *Antonino Valenza*

L'ambiente è un sistema. Anche la società umana è un sistema. Quando i due sistemi già complessi interagiscono, si hanno conseguenze e una di queste è stata l'impatto dannoso della società industriale sull'ambiente e sull'ecosistema in cui viviamo e da cui dipendiamo.

L'ambiente ha una certa capacità di far fronte a questo impatto in modo che un certo livello di impatto possa essere assorbito senza danni durevoli. Ma è chiaro che le attuali attività umane superano questa soglia con frequenza crescente, diminuendo la qualità del mondo in cui oggi viviamo e minacciando il benessere delle generazioni future. Parte di questo impatto, almeno, deriva dalla fabbricazione, dall'uso e dallo smaltimento dei prodotti, e i prodotti, senza eccezioni, sono costituiti da materiali. Il consumo di materiali (e l'energia necessaria per realizzarli e modellarli) sono tratti da risorse naturali: giacimenti minerari, giacimenti minerari, idrocarburi fossili e le risorse della Terra non sono infinite.

Con 2,8 mld di tonnellate di CO<sub>2</sub> rilasciate ogni anno nell'atmosfera, l'industria cementiera è responsabile di una fetta considerevole delle emissioni inquinanti globali. Per limitare il suo impatto ambientale, il settore delle costruzioni dovrebbe cambiare pelle, cercando di utilizzare nuovi materiali più "sostenibili" puntando sui metodi di economia circolare: riciclosi dei materiali, progettazione di edifici più leggeri, duraturi ed efficienti, tecniche di bio-edilizia.

Presso i laboratori dell'Università di Palermo, guido un gruppo di ricerca che studia nuovi materiali da costruzione a basso impatto ambientale secondo due filoni di ricerca: il primo che prende in considerazione il riuso dei materiali di scarto, il secondo che valorizza l'uso di materie prime rinnovabili quali le fibre naturali. Nella prima tipologia di ricerca si è prodotta e caratterizzata una malta idraulica interamente ottenuta dal riutilizzo di materiali di scarto. Le materie prime utilizzate sono: i fanghi di marmo provenienti da cave della Sicilia nord-occidentale e la polvere di vetro proveniente da un impianto di raccolta rifiuti a Marsala della ditta SARCO srl.

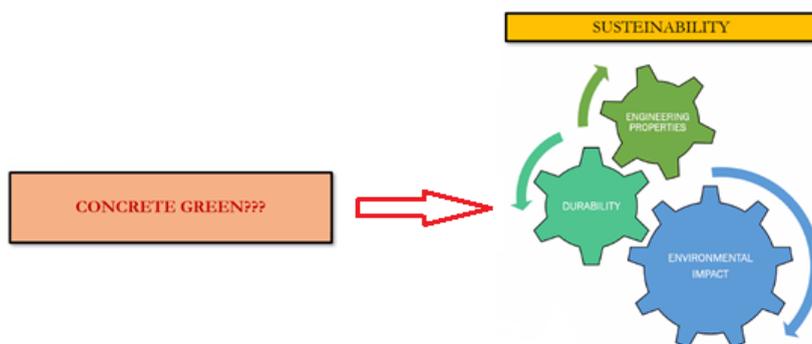


Figura 1 – Progettazione di materiali da costruzione sostenibili.



Figura 2 – Riutilizzo del fango di segazione e dei rottami di vetro per la produzione di malte idrauliche ecosostenibili.

Il fango di marmo è stato utilizzato come materia prima per produrre il legante per malte mediante un processo di cottura e spegnimento, mentre il secondo è stato utilizzato come additivo pozzolanico. La caratterizzazione chimica e morfologica del liquame marmoreo è stata effettuata mediante analisi XRD, FTIR, STA e SEM. La polvere di vetro è stata analizzata attraverso misurazioni della distribuzione granulometrica, XRD e prove pozzolaniche standard. Le malte idrauliche costituite da grassello di calce da impasto di marmo cotto e polvere di vetro di scarto (LGS) sono state preparate accanto a malte commerciali a base di calce idraulica naturale (NGS) e malte a base di calce indurente per aria (LSS). Le proprietà meccaniche e di assorbimento delle malte sono state studiate in funzione della granulometria della polvere di vetro mediante prove di resistenza a flessione e compressione su tre punti, captazione capillare, picnometria ad elio e simultanea analisi termica. I risultati hanno dimostrato che la formulazione LGS presenta proprietà meccaniche e di assorbimento significativamente migliorate rispetto alle malte indurenti all'aria (LSS) a conferma della possibilità di produrre una malta idraulica più sostenibile esclusivamente da materiali di scarto. Per quanto riguarda il secondo filone di ricerca, che è un campo di ricerca in espansione in quanto sostituisce le fibre sintetiche ad alto impatto

ambientale poiché il loro utilizzo può migliorare il comportamento meccanico e termico delle malte cementizie e ridurre il loro impatto ambientale, si è studiato l'utilizzo di un'erba selvatica, l'*Ampelodesmos Mauritanicus*, nota come Disa, come fonte di fibre naturali per malte cementizie. Le fibre sono state caratterizzate mediante microscopia elettronica a scansione (SEM), picnometria ad elio e analisi termogravimetrica; è stata inoltre misurata la conducibilità termica dei pannelli in fibra. Sono stati preparati campioni di malta utilizzando varie percentuali di fibre. Le caratterizzazioni meccaniche sono state eseguite mediante prove di flessione e compressione a tre punti. I risultati hanno mostrato come le fibre di Disa possono essere una valida alternativa alle fibre sintetiche. Come si evince dai risultati qui riportate il tema del corretto utilizzo dei materiali da costruzione per uno sviluppo sostenibile è di grande rilevanza e i lavori riportati dagli allievi del master ne sono una testimonianza.

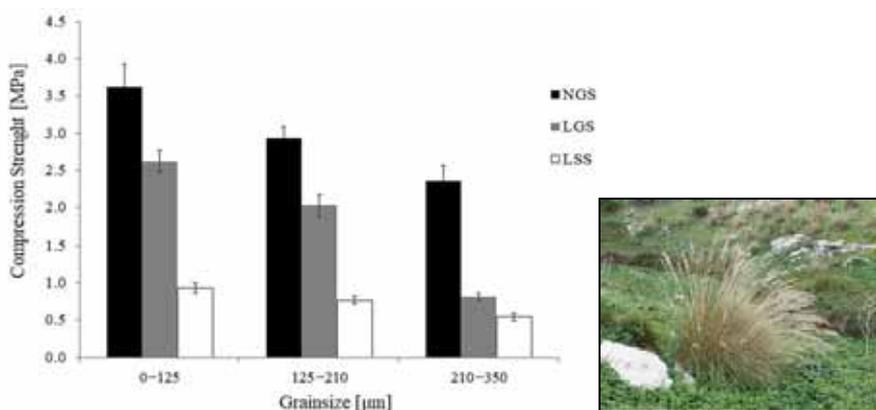


Figura 3 – Confronto proprietà meccaniche tra una malta idraulica commerciale: NGS; una malta idraulica sostenibile LGS; ed una malta aerea sostenibile LSS. Fibra naturale di *Ampelodesma (disa)*.

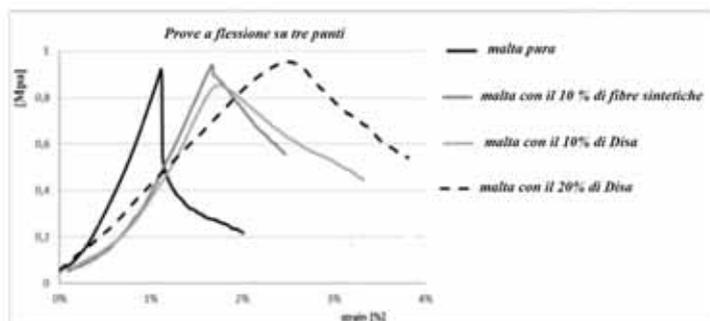


Figura 4 – Confronto comportamento a flessione di malte sostenibili non rinforzate e rinforzate con fibre naturali di disa.

## Riferimenti bibliografici

- Ashby M. (2021). *Materials and the Environment*. 3rd Edition Eco-Informed Material Choice.
- Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*. Chatham House Report 13 June 2018.
- Megna B., Badagliacco D., Sanfilippo C., Valenza A. (2021), *Physical and Mechanical Properties of Sustainable Hydraulic Mortar Based on Marble Slurry with Waste Glass*, Recycling.
- Megna B., Badagliacco D., Sanfilippo C., La Mantia T., Valenza A. (2021), *Mechanical and Thermal Properties of Insulating Sustainable Mortars with *Ampeodesmos mauritanicus* and *Pennisetum setaceum* Plants as Aggregates*, Appl. Sci., 11, 5910.
- Nebbia G. (2014), *Scritti di storia dell'ambiente e dell'ambientalismo 1970-2013*, a cura di Luigi Piccioni, Fondazione Luigi Micheletti.

## 5. *Etica ed estetica della sostenibilità*

di *Antonino Margagliotta*

In un mondo divenuto complesso – e nello stesso tempo fragile – le questioni della sostenibilità hanno assunto una estensione “universale” che richiama all’impegno di tutti, che comprende il nostro modo di pensare e di operare, che impone di riconsiderare gli stili di vita e i modelli dello sviluppo sociale ed economico. Tutto converge alla salvaguardia e al rispetto della Terra, al controllo del potere dell’uomo che ritiene di accedere a tutto e che desacralizzato ogni cosa: «c’è un mondo vecchio – scriveva già negli ‘80 Anna Maria Ortese – fondato sullo sfruttamento della natura madre, sul disordine della natura umana, sulla certezza che di sacro non vi sia nulla. Io rispondo che tutto è divino e intoccabile e più sacro di ogni cosa sono le sorgenti, le nubi, i boschi e i loro piccoli abitanti. E l’uomo non può trasformare questo splendore in scatolame e merce, ma deve vivere ed essere felice con altri sistemi, d’intelligenza e di pace, accanto a queste forze celesti»<sup>1</sup>. La sostenibilità, termine che deriva dal verbo latino *sustineo*, riguarda allora il ripensamento del rapporto con la Terra (che a volte chiamiamo “ambiente”, estendendo il suo supporto fisico anche a quanto su di essa cresce e a quanto la avvolge) che non solo ci “sostiene” (l’uomo e le sue architetture – non foss’altro che per la legge di gravità o per lo stesso rapporto con i luoghi o per l’adesione al suolo – sono sempre sostenuti dalla Terra) ma che pure ci “sostenta”. Comprendendo il ragionamento anche un pensiero religioso «l’essere umano più che un “essere” sulla terra – dice Leonard Boff nella teologia della liberazione con concetti adesso ripresi da papa Francesco – è un essere “della” terra; è l’espressione finora più complessa e singolare della terra e del cosmo conosciuto. L’uomo e la donna sono la terra che pensa, che spera, che ama»<sup>2</sup>. L’azione del sostenere, attraverso i di-

<sup>1</sup> A.M. Ortese, *Corpo Celeste*, Adelphi, Milano 1997, pp. 54-55.

<sup>2</sup> L. Boff, “Teologia della liberazione ed ecologia”, *Concilium*, n. 5/1995, p. 107. Sul ministero di papa Francesco cfr. la Lettera Enciclica *Laudato si’ sulla cura della casa comune*, 24 maggio 2015.

versi significati del termine, richiama alla necessità di collaborare con essa, di proteggerla e di aiutarla; rimanda, anzi, all'azione del difenderla<sup>3</sup>.

Sono tutte questioni che traducono la stretta relazione tra etica ed estetica. Se infatti l'etica può riferirsi all'essere, l'estetica riguarda la manifestazione sensibile delle cose; l'etica definisce gli aspetti comportamentali e il modo di "pensare", l'estetica esprime le azioni e, quindi, il "fare". Etica ed estetica, poi, si integrano e richiamano a una inscindibile unità secondo un pensiero che affonda le radici nelle origini della nostra cultura: lo conoscevano gli antichi quando affermavano che le cose buone sono anche belle, per cui ciò che è "bello" per il suo aspetto sensibile esprime pure quella bellezza che è connessa al comportamento morale "buono". Il concetto era sintetizzato nel principio della *kalokagathia* – crasi di *καλὸς καὶ ἀγαθός* – che esprime la concezione greca del bene connesso all'azione dell'uomo e che si basa sulla complementarità tra "bello" e "buono": ciò che è bello non può non essere buono e ciò che è buono è necessariamente bello. Secoli dopo, Plotino riprenderà l'idea del "bello" che si attua nel bene che egli riscontra negli aspetti visibili della «simmetria delle parti» (intesa nel significato greco di "con misura"), nel «componimento unitario della loro sintesi» (che sono caratteristiche molto specifiche anche dell'architettura) oltre che nell'«armonia»; e, come Platone, sosterrà il bello come causa dell'azione

<sup>3</sup> Per sviluppo sostenibile, utilizzando la definizione del rapporto "Our Common Future" pubblicato nel 1987 dalla "Commissione Brundtland" (Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente), si intende uno sviluppo in grado di assicurare «il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri». Il concetto di sostenibilità, in questa accezione, viene collegato alla compatibilità tra sviluppo delle attività economiche e salvaguardia dell'ambiente. La finalità principale è il rispetto dell'ambiente e, allo stesso tempo, l'adozione di processi produttivi e stili di vita compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane. Successivamente, la "Conferenza di Rio de Janeiro" del 1992 (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development) ha consolidato il principio dello sviluppo sostenibile attraverso: la Dichiarazione di Rio su ambiente e sviluppo, l'Agenda 21, la Dichiarazione sulla gestione, la conservazione e lo sviluppo sostenibile delle foreste. Gli atti di Rio e le successive conferenze mondiali promosse dalle Nazioni Unite, specialmente la Conferenza di Johannesburg del 2002, confermano una configurazione del principio dello sviluppo sostenibile fondata su tre fattori interdipendenti: tutela dell'ambiente, crescita economica e sviluppo sociale. Nell'ambito dell'Unione Europea, con la Conferenza di Aalborg (1994), attraverso "Agenda 21 - Programma d'azione per il XXI secolo" si avvia la "Campagna europea città sostenibili" che assegna alle città il ruolo decisivo per favorire cambiamenti degli stili di vita e dei modelli di produzione, di consumo e di utilizzo degli spazi. Con l'"Agenda 2030", adottata dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite e sottoscritta nel 2015, si definiscono gli "obiettivi dello sviluppo sostenibile" (OSS) che prevedono un coinvolgimento generale (governi, settori privati, società civile, ogni essere della Terra); per quanto riguarda le questioni del pensare, del progettare e del costruire si vedano in modo particolare i punti 11 (Città e comunità sostenibili), 12 (Consumo e produzione responsabili), 15 (Vita sulla Terra).

morale per cui «al bene bisogna risalire, a quel bene cui ogni anima agogna... e sa in che modo sia bello»<sup>4</sup>.

Nella cultura contemporanea, utilizzando alcune definizioni “naturalistiche” basate sull’impostazione sistemica di Gregory Bateson<sup>5</sup> «l’estetica è la percezione soggettiva (ma condivisa, e dunque intersoggettiva) del nostro legame con l’ambiente, [...] caratterizzato da una profonda ed equilibrata armonia dinamica [mentre] l’etica è la capacità, soggettiva e intersoggettiva, di concepire e compiere azioni capaci di mantenere sano ed equilibrato il legame con l’ambiente». In questo modo «etica ed estetica sono due facce della stessa medaglia perché derivano dalla forte co-implicazione evolutiva tra specie e ambiente e sono entrambe “rispecchiamenti” in noi di questa coevoluzione. Se l’estetica è il sentimento (inter)soggettivo della immersione armonica nell’ambiente e l’etica è il sentimento (inter)soggettivo di rispetto per l’ambiente e di azione armonica con esso, allora l’etica ci consente di mantenere l’estetica e l’estetica ci serve da guida nell’operare etico»<sup>6</sup>. In modo particolare l’architettura, allora, che per i suoi statuti costitutivi aspira alla bellezza, non può non assumere nei suoi statuti tali principi che esprimono la necessità di pensare al bene (ogni architettura è sempre finalizzata a rispondere a un bisogno, personale o collettivo, dell’uomo, e far abitare “bene” ogni luogo) ma anche – attraverso l’agire – di determinare la bellezza. Infatti, se l’etica riguarda ogni persona che vive sulla terra, la relazione con il principio estetico diventa più imprescindibile a chi progetta o costruisce, in quanto riguarda la modificazione della Terra.

Nel libro *Memorie di Adriano* di Marguerite Yourcenar – nel capitolo in cui l’imperatore si racconta attraverso le architetture e le città che ha edificato o fatto costruire ai suoi architetti – egli dice di sentirsi «responsabile della bellezza del mondo»<sup>6</sup>. Alle soglie del Movimento Moderno e in un campo di azione più esteso e democratico William Morris, nella visione di una architettura socialmente consapevole (dato che «l’architettura abbraccia la considerazione di tutto l’ambiente fisico che circonda la vita umana»), ammonisce ricordando che non «possiamo confidare i nostri interessi nell’architettura a un piccolo gruppo di uomini istruiti, incaricarli di cercare, di scoprire, di foggiare l’ambiente dove poi dovremo star noi, e meravigliarci di come funziona, apprendendolo come una cosa bell’e fatta; questo spetta invece a noi stessi, a ciascuno di noi, che deve sorvegliare e custodire il giusto ordinamento del paesaggio terrestre, ciascuno con il suo spirito e le

<sup>4</sup> Plotino, *Enneadi*, 1.6.

<sup>5</sup> Cfr. G. Rossetti, *Le radici estetiche dell’etica in Gregory Bateson*, Mimesis, Milano-Udine 2008.

<sup>6</sup> M. Yourcenar, *Memorie di Adriano*, Einaudi, Torino 1997, p. 140.

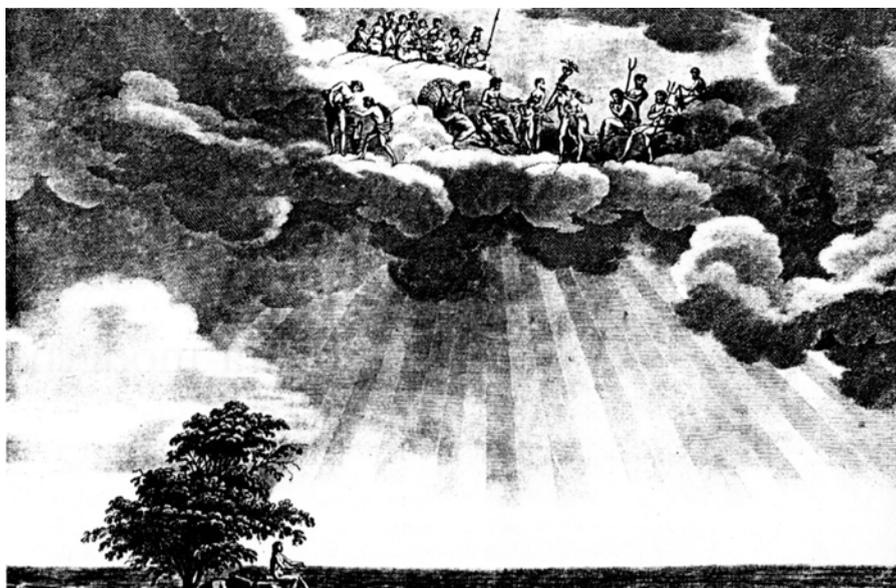


Figura 1 – C.N. Ledoux, *L'arbri du pauvre* (1804) – «Questo vasto universo che vi meraviglia è la casa del povero, è la casa del ricco che è stato spogliato. Egli ha per tetto la volta del cielo e comunica con l'assemblea degli dèi... il povero domanda una casa, dove non sarà ammessa nessuna delle decorazioni che si adoperano con profusione nelle case dei Plutei moderni. L'arte dovrà interpretare i suoi bisogni e sottometterli a proporzione».

sue mani, nella porzione che gli spetta...»<sup>7</sup>. Una grande responsabilità per ciascuno, in ordine a questioni etiche ed estetiche, ed un forte richiamo ancora evidentemente attuale (se si pensa ai cambiamenti climatici, all'uso sapiente delle energie disponibili, alla salvaguardia degli spazi di natura e alla riconsiderazione di quelli di città) che impone con urgenza un mutamento nel pensare e nell'agire, inclusi il progettare e il costruire.

Per realizzare i cambiamenti che conducano a società più sostenibili e a spazi a misura della Terra (una volta si diceva dell'uomo) sono necessarie particolari sensibilità che facciano riacquisire valori e principi propri del pensare e del fare dell'uomo sulla Terra, che appartengono alla nostra cultura ma che probabilmente abbiamo dimenticato: ricordare, ad esempio, che nella cultura giudaico-cristiana Dio aveva assegnato all'uomo la "custodia" (e non il "dominio") del creato; oppure riprendere il legame tra uomo e ter-

<sup>7</sup> W. Morris, *The Prospects of Architecture in Civilization*, conferenza alla London Institution, 10.3.1881, in "On Art and Socialism", London 1947, pp. 246-246. Nell'attualità, nell'*Agenda 2030*, al p. 15 (*Vita sulla Terra*), si fa richiamo al «sentirsi responsabili per gli impatti ambientali e sociali del proprio comportamento individuale come produttore o consumatore».

ra che pone l'origine dell'architettura nell'atto primordiale di coltivare la Terra, per cui il costruire (e in senso più esteso l'abitare), dipende dall'uso saggio e discreto della natura (e delle sue risorse), coniugando le ragioni dell'uomo con quelle proprie della Terra. L'unità del concetto (custodire la terra / piantare alberi / costruire) è contenuta nel profondo segreto delle parole, come ha fatto ricordare Heidegger, poiché l'essenza dell'abitare è in stretto legame con le azioni del coltivare e dell'edificare: infatti, l'antica parola *bauen*, oltre a significare “abitare” (ed esprimere «il modo in cui noi uomini siamo sulla terra») vuol pure dire “custodire” e, anche, “coltivare il campo” (da intendersi anche come “piantare alberi”) oltre a includere il significato di “costruire”<sup>8</sup>. E, nella lingua latina, il verbo *colĕre* designa l’“abitare” e lega intimamente l'insediamento e la coltivazione del suolo; del resto, la stessa radice è nella parola “cultura” che – in questo senso – costituisce il modo specifico con cui l'uomo stabilisce un rapporto con la natura attraverso le produzioni umane. Il progettare e il costruire dovrebbero allora riacquisire la consapevolezza di questo antico – ma attuale – legame, che è possibile riconquistare tanto attraverso la tecnologia (adoperata per sostenere e non per distruggere) quanto attraverso l'antica cultura dell'abitare e del costruire.

In questa ottica si possono riconsiderare alcuni principi dell'architettura da considerare come questioni di forma e di comportamento: la “categoria” vitruviana della *distributio* (o dell'*oikonomia*) che, in maniera sorprendentemente moderna, riguarda il saggio uso dello spazio e delle risorse, oltre che l'opportuno impiego dei materiali; il principio della riduzione, come il *nihil addi* (“niente da aggiungere” se non quel che è strettamente necessario) di Leon Battista Alberti; lo spirito di necessità, ripreso dopo la cultura barocca da quella illuminista e classicista, per cui l'architettura nasce dalla necessità che – come scriveva Francesco Milizia – non ammette il superfluo che verrà poi tradotto in termini radicali nel famoso slogan «less is more» di Ludwig Mies van der Rohe. Se allora etica ed estetica ritrovano la loro sin tesi, forse la bellezza salverà il mondo – come nel romanzo *L'idiota* Fëdor Dostoevskij fa dire al principe Myškin (e per questo continuamente irriso da tutti); anche se questo però sarà possibile – attraverso una consapevolezza etica – a condizione che il mondo riesca a salvare la bellezza.

Sarebbe la conferma della lunga e antica tradizione che ha attribuito una funzione salvifica alla bellezza: adesso declinandola – in senso laico oltre che religioso – come salvezza ecologica, degli uomini e della Terra.

<sup>8</sup> M. Heidegger, *Vorträge und Aufsätze*, Tübingen 1954; trad. it. “Costruire, abitare, pensare”, in *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano 1976, p. 31.



Figura 2 – A. Margagliotta, Ulivo nella Valle dei Templi di Agrigento – schizzo (2019).

## Riferimenti bibliografici

- Boff L. (1995), “Teologia della liberazione ed ecologia”, *Concilium*, n. 5.
- Franzoni G. (1996), *Farete riposare la terra*, EdUP, Roma.
- Heidegger M. (1976), *Vorträge und Aufsätze*, Tübingen 1954; trad. it. “Costruire, abitare, pensare”, in *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano.
- Kruft H.-W. (1987-1988), *Storia delle teorie architettoniche*, voll. 2, Editori Laterza, Roma-Bari.
- Longo G.O., *Etica ed Estetica*, <https://www.doppiozero.com/rubriche/59/201207/etica-ed-estetica>.
- Mancuso V. (2018), *La via della bellezza*, Garzanti, Milano.
- Morris W. (1881), “The Prospects of Architecture in Civilization”, in *On Art and Socialism*, London 1947.
- Rossetti G. (2008), *Le radici estetiche dell'etica in Gregory Bateson*, Mimesis, Milano-Udine.
- Settis S. (2015), *Il mondo salverà la bellezza?*, Ponte alle Grazie, Milano.
- Settis S. (2010), *Paesaggio costituzione cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino.

## 6. *Sistemi di raffrescamento passivo nell'architettura mediterranea*

di *Simona Colajanni*

### **Premessa**

L'esigenza di ridurre i consumi energetici che, soprattutto nel settore edilizio, come già detto, rappresenta uno dei maggiori dissipatori di energia con conseguente emissione di CO<sub>2</sub>, sta spingendo la ricerca nel campo della progettazione edilizia verso la rivalutazione di sistemi di climatizzazione passiva.

Tale approccio non è nuovo, ma storicamente radicato nella cultura architettonica dei paesi del Mediterraneo e del Medio Oriente.

Lo sviluppo dei sistemi passivi è stato determinato dalla grande quantità di popolazione mondiale (circa un terzo) che vive in condizioni di clima caldo-secco, caldo-umido, inoltre la maggior parte delle aree continentali interne è caratterizzata da condizioni climatiche estive con temperature superiori ai livelli di comfort.

Oggi, i sistemi passivi tendono a diventare l'elemento chiave di una progettazione sostenibile anche in diverse condizioni climatiche. Un edificio può essere integrato con sistemi di condizionamento attivi in grado di trasformare le risorse dell'ambiente (sole, vento, acqua) in sorgenti di energia rinnovabile, praticamente inesauribile. Tali sistemi, però, risultano difficilmente integrabili con gli edifici, soprattutto se già realizzati, e comunque richiedono investimenti iniziali molto consistenti.

I sistemi passivi, invece nascono con l'edificio, fanno parte dell'ideazione iniziale e possono essere integrati con i sistemi convenzionali attraverso un processo di ibridazione che ne permette anche l'uso simultaneo.

Negli ultimi anni si sono sempre più sviluppati studi secondo un approccio che implica l'applicazione di nuove strategie progettuali e la messa a punto di strumenti di calcolo e di controllo. Ciò consente di integrare il funzionamento discontinuo dei sistemi passivi con quello continuo

dei sistemi tradizionali con una conseguente diminuzione dei consumi di energia primaria e risparmio in bolletta.

L'azione sinergica tra le attuali conoscenze scientifiche e le moderne tecnologie costruttive e informatiche può, infatti, consentire di concepire sistemi ibridi, applicando i principi che stanno alla base dei sistemi passivi integrati con i moderni impianti di climatizzazione.

I sistemi passivi, ideati nel passato seguendo il percorso solare, lo spirare del vento e lo scorrere dell'acqua, si basano su alcuni semplici principi fisici:

- ventilazione naturale;
- raffrescamento adiabatico;
- controllo della radiazione solare;
- massa termica dell'edificio;
- scambio termico con il terreno;
- effetti della vegetazione.

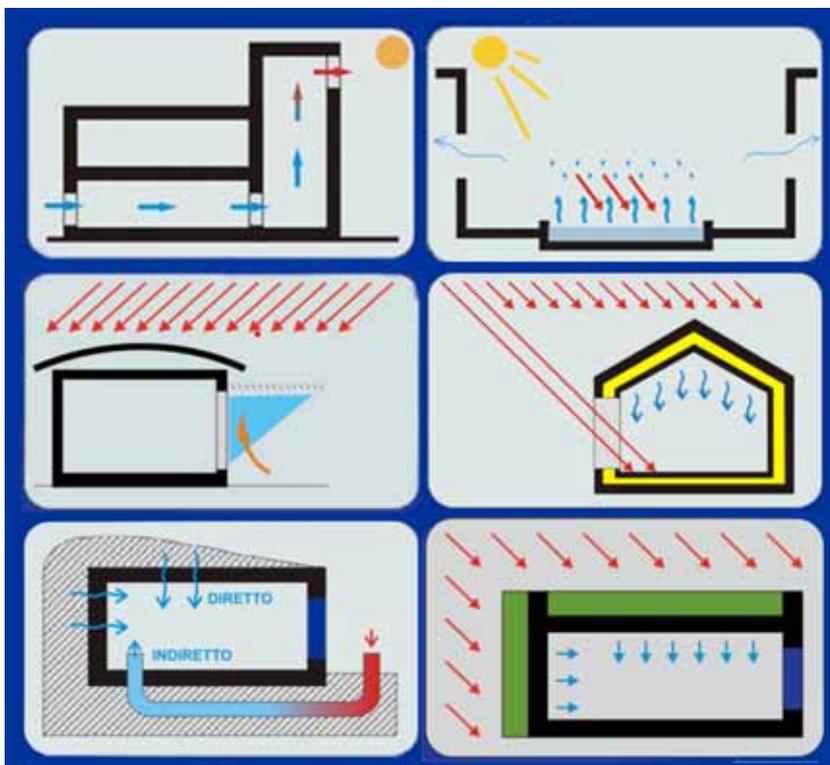


Figura 1 – Schemi di funzionamento dei sistemi passivi. © Prof. Antonio De Vecchi.

Nel bacino del Mediterraneo, proprio per le particolari condizioni climatiche, esposizione solare, temperatura del mare e ventilazione, l'architettura, per decenni, ha mantenuto alcuni principi costruttivi che si sono resi necessari per garantire un minimo comfort abitativo. In particolare, le condizioni climatiche caratterizzate da alte temperature umidità ed esposizione solare hanno richiesto sistemi di mitigazione e smorzamento dei raggi solari e dell'umidità mettendo in atto sistemi di schermatura solare e ventilazione naturale direttamente integrati nelle forme dell'edificio e nell'uso dei materiali locali.

Facendo riferimento alle architetture del passato siciliane, alcuni esempi emblematici si possono ritrovare nelle "Camere dello Scirocco" dei palazzi nobiliari del periodo del Gattopardo, nei "dammusi" di Pantelleria e nelle ricche regge del periodo arabo e normanno come il Castello della Zisa a Palermo che rappresenta un esempio tipico della sapiente integrazione tra architettura e sistemi passivi. Costituisce uno dei pochi esempi di architettura civile normanna con elementi di carattere arabo-islamico e di cultura bizantina, concepito secondo le più raffinate tecniche islamiche di refrigerazione.

Attraverso l'analisi dei principali sistemi di raffrescamento presenti nel castello si vuole spiegarne il funzionamento e comprendere come semplici accorgimenti architettonici possono ridurre il carico termico dell'edificio anche in età contemporanea.

Il castello sorgeva all'interno del parco reale del Genoard (Gennet-el-ardhj), paradiso della terra, circondato da giardini, frutteti e grande quantità di acqua, che contribuiva a mitigare la calura estiva.

La presenza dell'acqua e della vegetazione contribuivano a creare effetti benefici sulla costruzione. Una superficie liquida, anche se soggetta alla stessa insolazione ed assorbimento di radiazione solare del suolo, si riscalda molto meno ed ha un calore specifico più alto rispetto al suolo ed è normalmente più calda d'inverno e più fredda d'estate ed è usualmente più fredda di giorno e più calda di notte. Analogo efficace funzionamento si può trovare nel palazzo dell'Alhambra di Granada dove le temperature estive e l'umidità raggiungono anche livelli più alti di quelli siciliani.

Nel caso della Zisa la vicinanza dei corpi d'acqua costituiva un buffer termico capace di compensare le variazioni di temperatura attenuando le massime estive. Inoltre, queste variazioni di temperatura diurna e notturna attivavano dei moti ascensionali che producevano una ventilazione naturale esterna, così come la brezza proveniente dal mare verso la terra. Durante il giorno, questa brezza aveva un effetto rinfrescante. Un ulteriore contributo veniva apportato dal manto naturale del terreno. La vegetazione e i manti erbosi, accuratamente irrigati, intercettando parte della radiazione solare in-

cidente al suolo ed attenuando l'irraggiamento notturno, facevano quindi diminuire la temperatura e ne stabilizzavano le variazioni. L'evaporazione superficiale apportava ulteriore refrigerio e beneficio nelle giornate particolarmente calde quando soffiava il vento caldo secco di Scirocco attraverso il principio del raffreddamento evaporativo esterno.

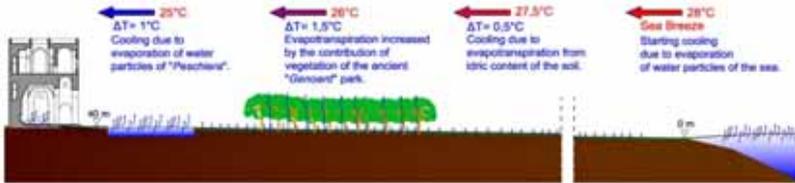


Figura 2 – La figura mostra lo schema di attivazione della brezza marina.<sup>9</sup>

Anche la forma dell'edificio del Castello della Zisa si può considerare una risorsa strategica per il miglioramento delle condizioni climatiche.

Il corpo compatto è stato orientato sull'asse N/S, esponendo i lati corti e chiusi ai venti più freddi e più caldi, mentre il prospetto orientato a est presenta grandi aperture schermate da un portico a tre forniche in opposizione a quello a ovest costituito da una doppia parete con piccole aperture che lasciano fuoriuscire l'aria che si riscalda all'interno ma al contempo diventano una massa termica impenetrabile per la radiazione solare pomeridiana, più calda in periodo estivo.

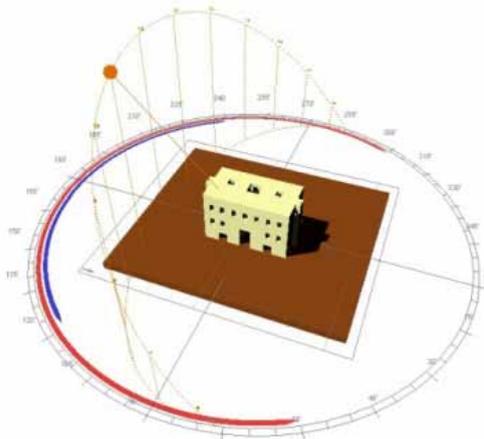


Figura 3 – Studio del percorso solare estivo (26 luglio – giorno più caldo medio).

Questa concezione planimetrica presenta alcune caratteristiche tipiche delle costruzioni fatimite nord-africane, che rappresentano il livello più alto di evoluzione in relazione al rapporto fra struttura edilizia, comfort ambientale e condizioni climatiche. La lettura planimetrica mette in chiara evidenza il naturale percorso dell'aria che si stabilisce all'interno dell'edificio, a ciascun piano, attraverso i vani, i corridoi e le aperture interne, allorquando le fresche brezze di levante mettono in sovrappressione il prospetto est rispetto a quello ovest. In assenza di venti o di brezze la ventilazione naturale interna dei locali è resa possibile dalla differenza di gradiente termico tra un ambiente e l'altro e tra la parte bassa, più fresca, e alta, più calda, degli ambienti stessi che permettono di innescare una ventilazione naturale. A tale gradiente verticale di temperatura si associa un gradiente verticale di pressione che, se pur modestissimo, è suscettibile di attivare ricambio di aria se su una parete dell'ambiente stesso si apre una luce a tutta altezza, anche stretta, ovvero se sulla stessa parete si aprono due luci: una in basso ed una in alto. Viene a crearsi, di fatto, tra le due luci una sorte di camino naturale che permette di attivare il movimento dell'aria. Pertanto, se si hanno due ambienti contigui (in differenti condizioni termiche) è, quindi, possibile attivare un efficace scambio d'aria tra di essi.

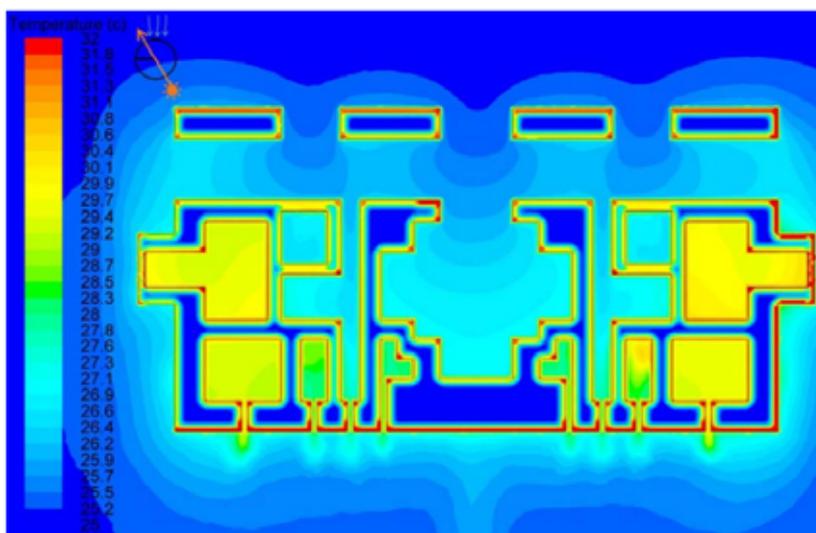


Figura 4 - Studio fluidodinamico delle temperature interne del piano terra del Castello della Zisa alle ore 17:00 del 26 luglio – giorno più caldo medio.

Anche l'involucro dell'edificio svolge il ruolo di meccanismo di regolazione termica tra l'ambiente interno e quello esterno, controllando l'immissione di aria, calore, luce.

I muri portanti del Castello della Zisa combinavano la funzione di sostegno con la protezione dalla luce e dal calore. L'edificio è caratterizzato da murature di grande spessore.

Al piano terreno le murature esterne raggiungono la larghezza di ml 1.90, al primo piano di ml 1.60 e al piano secondo di ml 1.40; quelle interne hanno spessore rispettivamente di ml 1.50, ml 1.10 e ml 0.80. Esse sono costituite da una doppia fodera di pietra da taglio riempita con pietrame a secco o legato con malta ed intonacate con stucco applicato sulla pietra e decorato con disegni policromi.

Grande è la capacità termica del materiale e quindi l'inerzia termica: l'apporto radiativo estivo viene mitigato dagli effetti dello sfasamento e della attenuazione termica. Il materiale da costruzione è stato sfruttato al meglio per avere condizioni equilibrate all'interno dell'edificio.

In particolare, l'impiego di pietra di elevata massa specifica ma anche a bassa conduttività termica (arenaria sedimentaria di origine marina con p.s. circa  $1800 \text{ kg/m}^3$ ) permette di realizzare un adeguato sfasamento termico e contrastare il surriscaldamento delle pareti esposte a sud-ovest.

La razionale forma e disposizione delle aperture, sia esterne che interne, ubicate in modo tale da realizzare percorsi preferenziali dell'aria sia dal basso verso l'alto che dal fronte est al fronte ovest permette una circolazione dell'aria che attraversa tutti gli ambienti dell'edificio sfruttando anche gli effetti del raffrescamento evaporativo prodotto dal Salsabil ubicato nella "Sala della Fontana".

Questa è il fulcro dell'edificio che si sviluppa intorno a questo vano quadrato a doppia altezza, riccamente decorato con mosaici in oro e *muqarnas* pendenti dalle volte dove l'acqua che scivola sul *salsabil* è protagonista e costituisce l'elemento caratteristico dell'edilizia islamica.

In Egitto, in Sicilia, come in tutta l'area del Maghreb troviamo palazzi e residenze dove la sapienza costruttiva nel realizzare quei sistemi va ben oltre la semplice sperimentazione empirica. In modo particolare la costante presenza dell'acqua diviene generatrice dell'ordine dello spazio e anche unità di misura.

L'acqua rappresenta la fonte della vita, la purezza ed al tempo stesso la ricchezza.

Il rapporto tra edificio e natura si esplica nella forma che l'acqua assume nel progetto del giardino e come essa scorra fino al centro dell'edificio: si ritrova sia nelle abitazioni private che nelle moschee, nei caravanserragli,

nelle madrase e nei bazar, dalla Spagna di Siviglia a Cordoba, fino a Granada.

Il principio di funzionamento del raffrescamento evaporativo si basa sulla temperatura dell'acqua (circa 10 °C) che sgorga dalla doppia parete posta a ovest e scivola sulla lastra di pietra inclinata del *salsabil* che frammentando l'acqua in piccole particelle in modo da farla evaporare più facilmente.

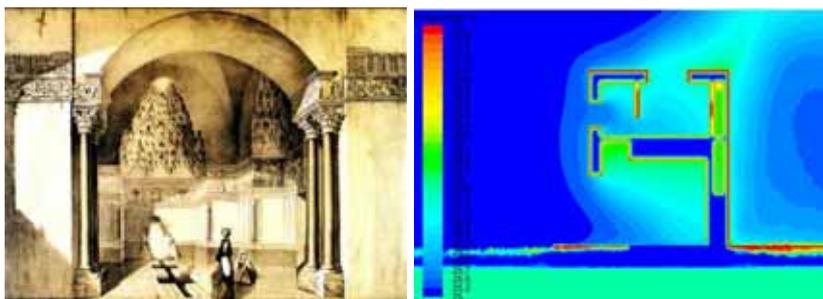
L'acqua, che ha una temperatura bassa, entra a contatto con l'aria calda proveniente dall'esterno (circa 30 °C) e per riequilibrare questo rapporto di tensione, sottrae a questo calore.

Per questa ragione la temperatura dell'aria si abbassa di circa 2-4 °C e perde parte della sua umidità perché si condensa in piccolissime particelle, queste si uniscono alle particelle d'acqua provenienti dalla nebulizzazione del flusso che scivola sulla lastra di marmo del *Salsabil* e, una volta raggiunto un certo diametro, cadono per gravità e vengono sottratte all'aria.

Tale fenomeno prende il nome di coalescenza. La circolazione continua di acqua fresca e la presenza del *Salsabil* servono a tenere attivo questo processo.

L'occasione di descrivere i sistemi di raffrescamento del Castello della Zisa attraverso uno studio fluidodinamico dei fenomeni analizzati permette di dimostrare come i più recenti principi di sostenibilità edilizia, non sono altro che la riscoperta di una tradizione antica, basata sul buon senso e sulla sperimentazione empirica.

Possiamo quindi affermare che si tratti di primordiali edifici a Zero Energy.



*Figura 5 – Rappresentazione della Sala della Fontana del Castello della Zisa di Viollet le Duc e studio fluidodinamico della temperatura interna-esterna della Sala alle ore 17:00 del 26 luglio – giorno più caldo medio.*

## Riferimenti bibliografici

- AA.VV. (1994), *Il giardino islamico. Architettura, natura, paesaggio*, a cura di Attilio Petruccioli, Electa, Firenze.
- Bellafiore G. (1990), *Architettura in Sicilia nelle età islamica e normanna, 827-1194*, Marsilio, Palermo.
- Bellafiore G. (1994), *La Zisa di Palermo*, Marsilio, Palermo.
- Bori D., Marino D. (2006), *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Gruppo Editoriale Esselibri-Simone, Bracigliano.
- Butera F. (1992), *Energia e tecnologia fra uomo e ambiente*, Città studi, Milano.
- Caronia G. (1987), *La Zisa di Palermo Storia e restauro*, Laterza, Bari.
- De Vecchi A., Colajanni S., Sanfilippo E., Di Gesù F., Graceffa A., Guglielmo G., et al. (2012), “Analysis of the traditional passive systems performance through the application of CFD software”, in *ZEMCH 2012 International Conference*, ZEMCH Network, Glasgow.
- Grosso M. (2008), *Il Raffrescamento Passivo degli Edifici in Zone a Clima Temperato*, II Edizione, Maggioli Editore, San Marino.
- Olgyay V. (1990), *Progettare con il clima*, Franco Muzzio & C. editore, Padova.
- Santamouris M., Asimakopoulos D. (2001), *Passive cooling of buildings*, James & James, Londra.
- Scudo G. (1992), *Tecnologie termoedilizie*, Città studi, Milano.
- Vian C. (1983), *L'alhambra Di Granada*, Istituto Geografico De Agostini, Novara.
- Zangheri L., Lorenzi B., Mandana Rahmati N. (2011), *Il giardino islamico*, Leo S. Olschki, Verona.

## 7. Le forme della sostenibilità

di Paolo De Marco

### Per un pensiero sostenibile

Oggi più che mai, le questioni del riscaldamento globale mettono in discussione le attuali modalità edificatorie, l'organizzazione della città e più in generale il rapporto che l'uomo *costruisce* con la natura e con il pianeta; rapporto che deve necessariamente modificarsi e rinnovarsi per creare condizioni di vita confortevoli e compatibili con lo sviluppo a lungo termine.

Osservando il panorama architettonico contemporaneo a livello globale, studiando e analizzando criticamente alcune delle più recenti realizzazioni di architettura sostenibile – o architettura green –, appare necessario tornare a riflettere sulle modalità con cui i principi della sostenibilità vengono tradotti in spazi e forme. O, ancor prima di ciò, è opportuno riconoscere (o forse, semplicemente, ricordare) quali sono i fondamenti che stanno alla base di una architettura realmente sostenibile. Si ha l'impressione, in questa epoca contrassegnata dalla liquefazione del linguaggio e dal dominio delle immagini effimere e transitorie<sup>1</sup>, che buona parte dei progetti sostenibili faccia sovente ricorso ad una presunta “estetica della sostenibilità” – priva di un adeguato pensiero fondativo – con soluzioni formali ormai riconoscibili, scelte materiche e tecnologiche preconfezionate e, soprattutto, tramite l'impiego di un involucro verde vegetale (il fenomeno del *greenwashing*) ad annullare qualsiasi altro tentativo espressivo.

Risultato della velocità di elaborazione dei progetti richiesta dai mercati e dell'esigenza di immediato impatto e ricavo, l'architettura desume da questi condizionamenti i suoi caratteri e, in ultima istanza, non si confronta con una prospettiva a lungo termine. In altre parole, sembra che alcuni progetti non siano il risultato di un *pensare architettura*<sup>2</sup> e che si preoccupino

<sup>1</sup> V. Gregotti, *Contro la fine dell'architettura*, Giulio Einaudi editore, Torino 2008.

<sup>2</sup> «Pensare: ideare costruzioni. Costruire: erigere idee». A. Campo Baeza, “Pensare o non pensare. Questo è il problema”, in *L'idea costruita*, LetteraVentidue, Siracusa 2012, p. 36.

più dell'apparire sostenibili anziché della reale sostenibilità del costruire elaborando, di fatto, un formalismo *di facciata* a cui non corrisponde alcuna ricerca sui caratteri spaziali, sulla qualità dell'abitare e sul suo orizzonte sostenibile.

Per affrontare l'odierna sindemia – di cui la crisi architettonica rappresenta solo un aspetto – è necessario, ancora una volta, tornare a cercare l'essenza del costruire, tornare ad avere cura dell'ambiente e delle cose, tornare alla ricerca della bellezza. Riflettere sulla sostenibilità, allora, vuol dire soffermarsi sulle ragioni all'origine dell'architettura, sulle modalità in cui stiamo sulla terra, sul rapporto con i luoghi, sul modo in cui costruiamo.

Il pensiero sostenibile, dunque, deve partire da quei principi costanti – se vogliamo, atemporali – che sono quelli di tutta la buona architettura, ai quali il progetto contemporaneo deve rispondere con soluzioni precise, in relazione alle necessità dell'abitare in questo tempo e in questi luoghi. Le forme della sostenibilità sono allora gli specifici esiti architettonici in risposta a un sistema complesso e variabile di questioni ambientali (la natura, il carattere dei luoghi in cui si insedia, la natura dei suoli, il paesaggio con cui si confronta), costruttive (la tradizione costruttiva del territorio e le possibili innovazioni) e spaziali (la luce, i materiali, la temperatura, il rapporto interno/esterno).

## Una piccola casa

Il progetto di una piccola casa può divenire un'esperienza fondamentale anche nella didattica dell'architettura sostenibile<sup>3</sup>. Se, per un certo verso, può apparire come una esperienza *semplificata*, esso si offre invece come tema ampio che permette, inoltre, di riflettere sulle ragioni dello spazio in cui si abita e sulle questioni della quotidianità. Anche il progetto di un piccolo organismo architettonico, allora, può divenire occasione per ragionare su tutte le complessità del costruire; e se consideriamo la casa come il *principio dell'abitare*, a partire da questa si potrà estendere l'azione progettuale

<sup>3</sup> Si fa riferimento al ciclo di lezioni intitolato “Le forme della sostenibilità” condotte dall'autore all'interno del Master Universitario di II livello “Materiali e tecniche innovative per l'edilizia sostenibile” (Unipa e Unisom). I principi teorici hanno inoltre trovato un risvolto pratico nel progetto di una piccola casa sostenibile: a partire da identiche richieste funzionali e uguale regime vincolistico, ogni gruppo di lavoro ha elaborato una specifica soluzione progettuale in diversi luoghi della provincia trapanese (Alcamo, Buseto Palizzolo, San Teodoro, Selinunte, Valderice).

a orizzonti più estesi<sup>4</sup>. «Per me – scrive infatti Wang Shu – qualunque tipo di architettura, qualunque sia la sua funzione, è una casa», rimarcando il valore intimo e personale che l'uomo (e in particolar modo il progettista) instaura con questa *peculiare* architettura; «Le case sono semplici. Mantengono sempre una relazione interessante con la vera esistenza, con la vita»<sup>5</sup>. E, inoltre, l'esercizio progettuale si rivela estremamente didattico anche nel permettere di riflettere su sé stessi, essendo la casa – più esplicitamente di qualsiasi altra architettura – «una costruzione assolutamente rispondente, creata dall'uomo per fini umani. In essa l'uomo si manifesta»<sup>6</sup>. In quanto metafora dell'uomo e del suo pensiero, per Bachelard la casa rappresenta anche una sorta di rifugio interiore, «è il nostro primo universo. È realmente un cosmo. Un cosmo in tutte le accezioni della parola [...]. È uno strumento per affrontare il cosmo».<sup>7</sup>

Restando entro i limiti un esercizio didattico, il progetto di una piccola casa sostenibile ha l'obiettivo, dunque, in primo luogo, di rammemorare la dimensione etica e simbolica del costruire e del fare architettura, riaffermando il ruolo di responsabilità del progettista come importante attore nel processo di modificazione dei luoghi e del territorio. Inoltre, si vuol porre lo studente di fronte a condizioni progettuali simili o quantomeno comparabili all'esercizio professionale dell'architettura, confrontandosi con una precisa richiesta funzionale (la piccola casa) e con i reali luoghi per il progetto – considerando dunque le diverse condizioni di suolo, le condizioni di accesso ai lotti e i punti di vista sul paesaggio – e simulando un sistema normativo e vincolistico (vengono stabili dei limiti all'edificazione dei volumi e delle superfici coperte, le altezze massime, le distanze dai confini e dalle altre costruzioni limitrofe).

<sup>4</sup> P. De Marco, A. Margagliotta, “#Io resto a casa. Nuove forme dell'abitare domestico / #Stayhome. New forms of domestic living”, in *FAM* n. 52-53/2020 “Coronavirus Città Architettura. Prospettive del progetto architettonico e urbano”, pp. 57-62. «La casa è tornata ad essere, in modo esplicito, il rifugio domestico, il luogo che custodisce e protegge, che rappresenta il senso primario e primordiale dell'abitare. Restare a casa, dimorare, è stata l'occasione per riflettere sugli spazi alla luce di rinnovate necessità, per possibili azioni che poi dalla casa si possono estendere, con una visione multi-scalare, alle cose e alla città. E poiché la casa è da sempre il principio dell'abitare, da essa certamente potranno traguardarsi cambiamenti e trasformazioni più ampie.»

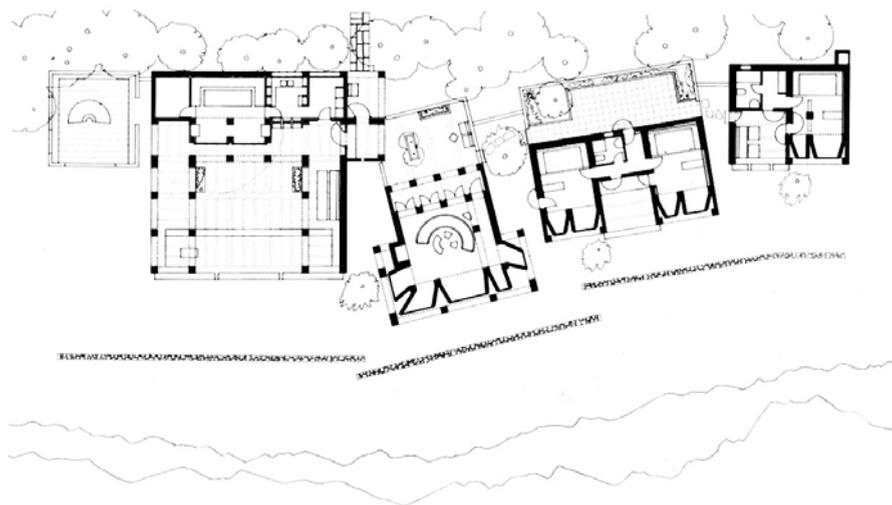
<sup>5</sup> Traduzione dell'autore. Wang Shu citato da Juhani Pallasmaa, *Habitar*, Gustavo Gili, Barcelona 2016, p. 7.

<sup>6</sup> G.W.F. Hegel, *Estetica* (1838), Feltrinelli, Milano 1963, p. 875.

<sup>7</sup> Traduzione dell'autore da G. Bachelard, *La poética del espacio*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, 1965, p. 34.



*Figura 1 – Bernard Rudofsky e José Antonio Coderch, particolare di una finestra della casa Rudofsky a Frigiliana.*



*Figura 2 – Jorn Utzon, pianta della casa Can Lis a Maiorca. La piattaforma sul mare su cui poggia una aggregazione di forme elementari caratterizzate da precisi dispositivi di luce che inquadrano il paesaggio.*

## Per un recupero della tettonica e della stereotomia

Nella ricerca delle appropriate forme della sostenibilità, nel rammemorare alcuni principi primordiali dell'architettura, sembra utile elaborare una riflessione sul concetto di tettonica e sui possibili valori di questa nel progetto contemporaneo<sup>8</sup>. L'etimologia del termine "tettonica" rimanda infatti all'arte di assemblare elementi costruttivi in legno, ovvero, nel suo risvolto formale, al rendere visibili i principi costitutivi e costruttivi dell'architettura e che si traduce nella generale tripartizione dell'edificio (in alzato) in basamento, facciata e coronamento. Usualmente trattato insieme alla "stereotomia" – ovvero l'insieme di tecniche di tracciatura e tagli dei conci di pietra –, il concetto costruttivo e formale della tettonica (per certi versi recuperato da alcuni maestri della modernità nella ricerca di una *sincerità costruttiva*) è andato man mano scomparendo dal momento in cui, proprio agli inizi dello scorso secolo, l'assemblaggio di un numero sempre crescente di elementi costruttivi è stato celato al di sotto di un *velo bianco*, omogenizzando le nuove forme puriste con astratte superfici lisce<sup>9</sup>. La stragrande maggioranza degli edifici contemporanei, infatti, difficilmente *dimostra* le parti e i sistemi di cui si costruisce, apparendo invece come un organismo architettonico uniforme e rendendo meno espliciti i suoi principi costruttivi.

Da queste costatazioni, sorge allora una innovata interpretazione della tettonica e, differente e per certi versi opposta a questa, della stereotomia. Quest'ultima (recuperando il primordiale legame con le strutture lapidee) rappresenta il carattere delle costruzioni massicce e pesanti, che trasmettono i carichi verticali in maniera continua e che poggiano sul suolo come se da questo sorgessero. Il carattere tettonico è, al contrario, identificativo di quelle costruzioni ossee e leggere (in un certo senso, *lignee*), che trasmettono la gravità in forma discontinua e poggiano per punti sul suolo<sup>10</sup>. A titolo esemplificativo di questi concetti, è possibile riconoscere nell'architettura tradizionale siciliana un deciso e prevalente carattere stereotomico, risultante da una serie di istanze (la diponibilità dei materiali, il rapporto con la luce,

<sup>8</sup> Cfr. K. Frampton, *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, MIT Press, Cambridge Mass. 1995; G. Semper, *Lo stile nelle arti tecniche e tettoniche o estetica pratica*, Laterza, Roma-Bari 1992.

<sup>9</sup> P. De Marco, "Pensare in bianco. Progettare in bianco", in S. Rugino (ed.), *Pensare Osservare Progettare. Processi mentali e reali nel progetto di architettura liquida*, Aracne Editrice, Canterano 2018, pp. 134-141.

<sup>10</sup> A. Campo Baeza, "Piano orizzontale", in *Principia architectonica*, Christian Marinotti, Milano 2018, pp. 41-52; A. Campo Baeza, "Scatole, scatoline, scatoloni", in *L'idea costruita*, LetteraVentidue, Siracusa 2012, pp. 52-57.



*Figura 3 – Elisa Valero Ramos, involucro ceramico innovativo dell’edificio residenziale a Gojár.*



*Figura 4 – Aires Mateus Associados, la struttura/frangisole della sede EDP a Lisbona.*

le questioni atmosferiche e metereologiche del territorio) che tutt'oggi, seppur in parte, risultano ancora valide. Il progetto di una architettura contemporanea ha dunque la necessità di far proprie queste istanze costruendo una relazione con ciò che vi sta intorno e recuperando i caratteri spaziali e formali specifici dei luoghi.

Per quanto concerne la prima e più antica accezione di tettonica, l'auspicabile riconquista dei principi costitutivi dell'architettura può, ancora una volta, condurre ad un fare sostenibile del progetto. Recuperare l'idea di basamento, ovvero quella parte dell'edificio che direttamente si relaziona con il suolo, permette non solo di definire una relazione precisa con la natura<sup>11</sup>, ma anche di sfruttare le proprietà termiche del sottosuolo con chiari vantaggi in termini di comfort ambientale degli spazi interni. Con lo studio della facciata, porzione dell'edificio a cui viene principalmente demandata la relazione spaziale interno/esterno, il progetto sostenibile stabilisce la quantità e la qualità della luce naturale dello spazio abitabile; attraverso la facciata l'architettura viene dunque *orientata*, tenendo conto del paesaggio e dell'irraggiamento solare, articolata e protetta da specifici dispositivi che modulano visuali e atmosfere. In fine, l'idea di coronamento dell'architettura, a cui si affida il rapporto con il cielo (e con gli agenti atmosferici), si recupera valutando l'irraggiamento del piano di copertura, ma anche con l'introduzione di sistemi per la circolazione dell'aria e la canalizzazione dei venti.

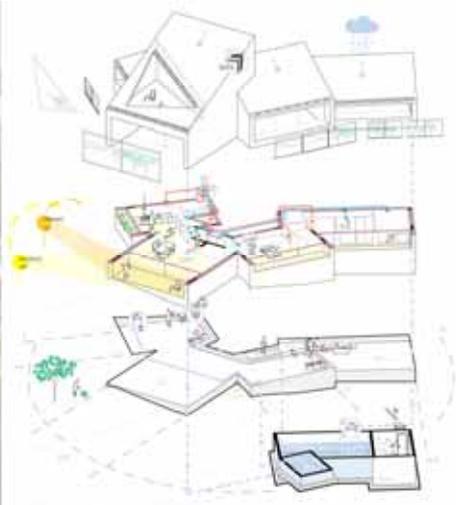
## Riconoscere le necessità

Appare evidente che la ricerca delle forme della sostenibilità non può essere risolta mediante un sistema generico, una ricetta di materiali, soluzioni tecniche e tecnologiche applicabili indifferentemente in geografie e contesti culturali diversi. Diversamente, possono invece considerarsi come delle costanti (o invarianti) quei principi antichi della sostenibilità che il progetto deve di volta in volta declinare al caso specifico, relazionare ai luoghi, declinare ai tempi. Neppure è possibile pensare che si possano costruire forme e spazi nell'indifferenza verso il contesto ambientale, demandando la risoluzione delle questioni *interne* del comfort abitativo a sistemi aggiunti e accessori, o elaborando composizioni vegetali *esterne* a nascondere le lacune di un linguaggio architettonico incerto o, addirittura, assente.

<sup>11</sup> J. Utzon, "Plarforms and Plateaus: Idee di un architetto danese", in *Idee di Architettura. Scritti e conversazioni*, Christian Marinotti, Milano 2011.



*Figura 5 – Fran Silvestre Arquitectos, progetto per la Torre Eólica nel porto di Valencia. Innovazione nel concetto e nella forma delle infrastrutture energetiche.*



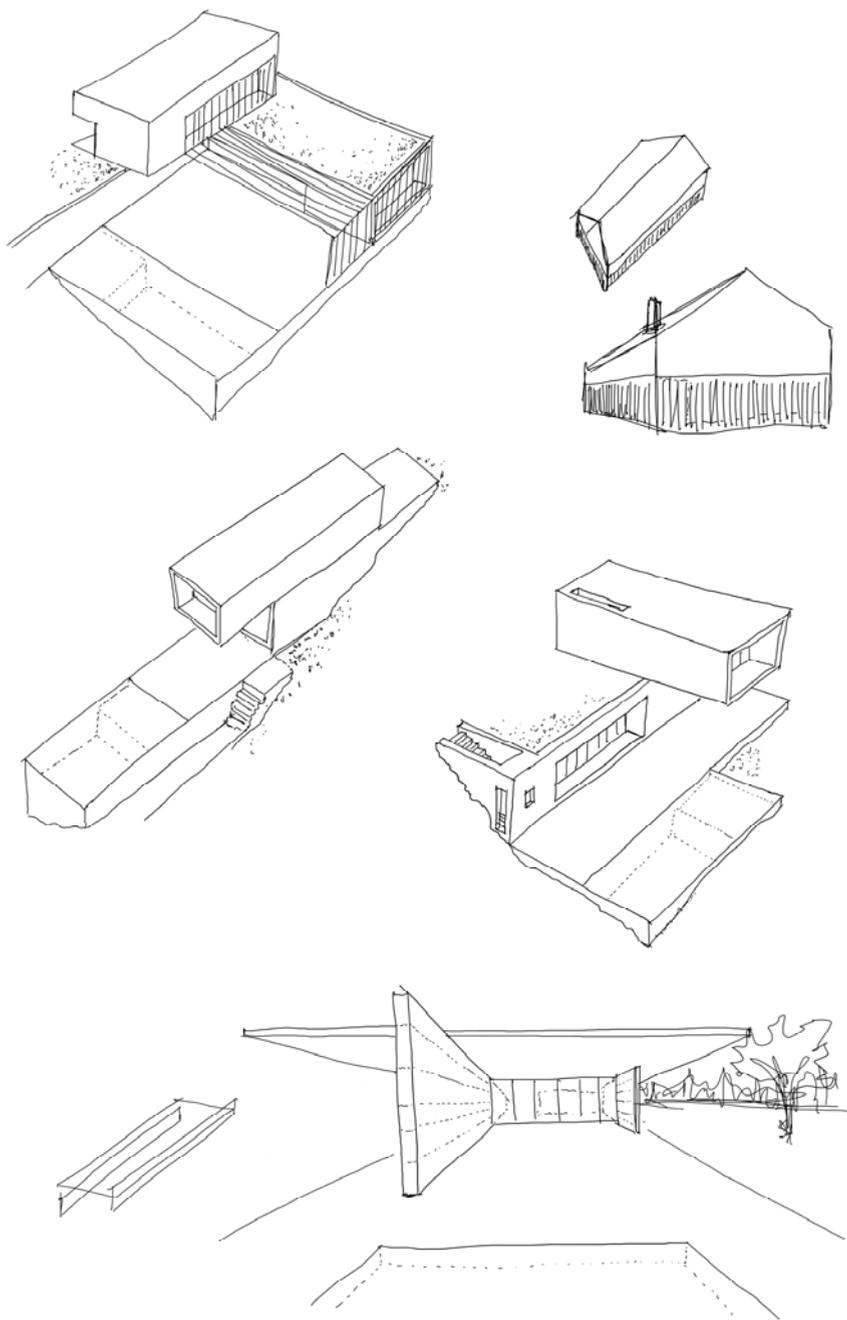
*Figura 6 – Oliver Hernaiz, casa MM a Maiorca. Il progetto si suddivide in quattro corpi orientati secondo la migliore vista e la più efficiente illuminazione naturale; particolare.*

Il progetto sostenibile e le sue forme non possono che ricavarsi a partire dai luoghi, dallo studio delle tradizioni architettoniche e del paesaggio in cui si insediano; dall'analisi di queste relazioni è sempre possibile dedurre dei principi di sostenibilità e, addirittura, trarre gli spunti per specifiche soluzioni architettoniche. In definitiva, la lezione della tradizione è, trasversalmente, quella dell'esigenza di approccio olistico al progetto di architettura, ovvero di un metodo capace di riconoscere le necessità contemporanee dell'abitare e renderle estetica rappresentandone l'essenza, assumendo tutta la complessità proprie di una architettura che vuole realmente confrontarsi con l'orizzonte della sostenibilità tornando al «soggiornare dei mortali sulla terra»<sup>12</sup>.

## Riferimenti bibliografici

- Bachelard G. (1965), *La poética del espacio*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.
- Campo Baeza A. (2012), *L'idea costruita*, LetteraVentidue, Siracusa.
- Campo Baeza A. (2018), *Principia architectonica*, Christian Marinotti, Milano.
- De Marco P. (2018), "Pensare in bianco. Progettare in bianco", in S. Ruginò (ed.), *Pensare Osservare Progettare. Processi mentali e reali nel progetto di architettura liquida*, Aracne Editrice, Canterano.
- De Marco P., Margagliotta A. (2020), "#Io resto a casa. Nuove forme dell'abitare domestico", in *FAM "Coronavirus Città Architettura. Prospettive del progetto architettonico e urbano"*, n. 52-53.
- Frampton K. (1995), *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, MIT Press, Cambridge.
- Gregotti V. (2008), *Contro la fine dell'architettura*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- Hegel G.W.F. (1963), *Estetica* (1838), Feltrinelli, Milano.
- Heidegger M. (1976), "Costruire abitare pensare", in *Saggi e Discorsi*, Mursia, Milano.
- Pallasmaa J. (2016), *Habitar*, Gustavo Gili, Barcelona.
- Semper G. (1992), *Lo stile nelle arti tecniche e tettoniche o estetica pratica* (traduzione parziale), Laterza, Roma-Bari.
- Utzon J., *Idee di Architettura. Scritti e conversazioni*, Christian Marinotti, Milano 2011.

<sup>12</sup> M. Heidegger, "Costruire abitare pensare", in *Saggi e Discorsi*, Mursia, Milano 1976, p. 99.



*Figura 7 – Paolo De Marco, schizzi interpretativi basati sulle prime idee per “una piccola casa sostenibile” elaborate dai gruppi di lavoro del Master.*

# *Applicazioni in Sicilia*

## *8. Progetto di una casa singola in clima mediterraneo*

di *Simona Colajanni*

La Sicilia costituisce un luogo geografico particolare nel bacino del Mediterraneo. La sua posizione e la sua conformazione orografica la caratterizzano per una condizione climatica favorevole alla mitigazione della calura estiva proveniente dall’Africa e al contempo la proteggono dalla bassa pressione proveniente dal nord Europa.

Questa opportunità climatica in uno con le tematiche affrontate durante il percorso didattico del Master hanno costituito l’occasione per sperimentare una metodologia virtuosa per la messa a punto di progetti sostenibili per edifici residenziali rispettosi del paesaggio siciliano e delle sue peculiarità materiche e costruttive.

La scelta di lavorare sulla destinazione edilizia residenziale si è configurata come necessaria in un territorio che ha fatto dell’abuso edilizio residenziale il suo principio insediativo. La possibilità di dimostrare la fattibilità di strategie energetiche passive, anche, in presenza di soluzioni tipologiche di edilizia residenziali, apparentemente semplici, ha permesso di mettere in campo materiali e tecnologie costruttive provenienti dalla reinterpretazione della tradizione locale nel rispetto delle attuali normative vigenti con uno sguardo alle opportunità economiche fornite dall’Ecobonus.

L’occasione si è presentata durante lo svolgimento della fase esecutiva dello stage. I corsisti hanno avuto l’opportunità di applicare quanto studiato durante le lezioni frontali. Ognuno di loro ha svolto un periodo presso aziende produttrici di materiali per l’edilizia, studi professionali impegnati nella progettazione sostenibile di edifici nZEB e società di management per il miglioramento delle prestazioni energetiche sia con sede sia in Sicilia che in Italia.

Questo periodo di stage è stato tradotto nella progettazione esecutiva di strategie sostenibili per il raggiungimento del comfort ambientale attraverso soluzioni che mettessero in pratica sistemi di condizionamento passivo integrato, materiali per l’edilizia rinnovabili e riciclabili, frutto della sperimentazione condotta presso aziende produttrici di fama nazionale e inter-

nazionale, verificando le prestazioni ottenute attraverso l'applicazione di software di ultima generazione per il controllo ambientale.

L'area scelta per la collocazione territoriale è stata quella della Sicilia occidentale tra Palermo e Trapani dove oltre a particolari condizioni climatiche di ventilazione naturale e irraggiamento solare sono anche presenti i benefici effetti della brezza marina proveniente dal vicino Golfo di Castellammare.

I cinque progetti proposti hanno in comune alcuni requisiti dimensionali e funzionali che li rendono confrontabili tra loro e al contempo riproducibili in condizioni climatiche analoghe.

Le scelte materiche e tecnologiche sono il frutto della sperimentazione che ogni componente del gruppo di progettazione ha maturato durante il proprio periodo di stage.

In particolare, sono state sperimentate soluzioni tecnologiche che facesero uso di materiali innovativi a basso impatto ambientale, isolanti naturali e strategie passive.



*Figura 1 – Localizzazione dei siti di intervento. © Prof. Simona Colajanni.*



**RENDERING**



## 9. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Buseto Palizzolo: “Long House”

di Giulia Chiappisi, Serena Privitera, Fabio Romano,  
Alessandro Spatafora



Figura 1 – Rendering Long House, tratto dalla tesi di gruppo del Master.

### **Abstract**

The research is about the project “ex novo” of a single-family home located in the municipality of Trapani, more exactly, in Buseto Palizzolo. Through a study of the place, its characteristics, its constraints referring to the territory and to the current legislation begins the path towards the design of the housing unit. Its aim is to exploit the environmental and technological conditions to be an innovative and sustainable product in commerce. It is based on the rules of “good architectural design”, which is the main basis to obtain optimal results. Looking at sustainability and energy saving, “ad hoc” choices were made to characterize the building and make it an example replicable in other similar contexts. The project has all the basic concepts of natural ventilation, albedo, natural lighting and optimal orientation; In addition, the choice of materials was considered, after a careful study of a completely natural choice, to obtain the result of reducing consumption and production of CO<sub>2</sub> and finally to aim at almost total recycling of the envelopment.

## Strategie sostenibili

Obiettivo del presente lavoro è la progettazione di una casa sostenibile in un'area extraurbana del Comune di Busseto Palizzolo (Trapani). La "Long House" rappresenta un caso emblematico in cui sono state utilizzate diverse strategie sostenibili: sfruttamento di energia da fonti rinnovabili, integrazione di sistemi passivi nei sistemi meccanici tradizionali, impiego di sistemi di isolamento termico per l'azzeramento dei ponti termici dell'edificio con materiali di origine naturale, a basso impatto ambientale, atossici e sicuri per la salute degli abitanti e soprattutto riciclabili. Anche gli impianti sono stati progettati in modo da garantire e massimizzare il risparmio energetico e il comfort abitativo grazie al ricambio continuo e domotizzato dell'aria, al recupero e riutilizzo delle acque meteoriche e allo sfruttamento di fonti rinnovabili di produzione di energia. L'applicazione di queste strategie sin dalla fase progettuale ha consentito di ottenere e verificare livelli di comfort soddisfacenti anche secondo le attuali normative e protocolli vigenti.

## Caratterizzazione ambientale

Prima di procedere con le diverse fasi della progettazione è stata effettuata un'analisi bioclimatica del sito oggetto dell'intervento, Busseto Palizzolo, in Provincia di Trapani, studiando e analizzando la zona climatica di appartenenza, i venti prevalenti del luogo e l'irraggiamento solare.

Busseto Palizzolo si trova nella seconda delle sei zone climatiche del territorio italiano, Zona Climatica C, caratterizzata da 1086 Gradi-Giorno (GG), con temperature miti che oscillano tra gli 8-10 °C nei mesi invernali e con estati calde con 28-30 °C nei mesi di luglio e agosto, ma in generale le escursioni termiche sono moderate.

Il concept di progettazione è stato ispirato dalle caratteristiche tipiche della campagna siciliana puntellata da bagli, uliveti e lotti di terreno ben allineati che seguono l'andamento collinare della zona.

Il lotto scelto si trova in una zona leggermente defilata rispetto il centro in direzione sud-ovest, e mostra i caratteri tipici del paesaggio rurale collinare, in cui si alternano ampi terreni coltivati e aggregazioni minime di basse costruzioni in pietra chiara, tipica del luogo.

Le linee suggerite dai filari delle coltivazioni ed i confini e gli accessi delle proprietà private posti in asse con le preesistenze, sono i segni planimetrici bidimensionali individuati come elementi di una direzione preferenziale tipologica e morfologica che diventa architettura, tridimensionale,

nella nuova configurazione all'interno del lotto assegnato. La naturale pendenza del terreno suggerisce questa direzione sia come esposizione preferenziale che come affaccio principale del progetto che sarà rivolta verso ovest e verso il mare.

Il progetto della "Long House" si basa su un'attenta ricerca dei materiali del luogo e delle architetture tipiche del paesaggio agricolo mediterraneo che nella consimile penisola iberica hanno unito l'uso del colore bianco, sia come scelta estetica che tecnica, con forme decise, nette che definiscano chiaramente i volumi e gli spazi.

La casa segue lo stesso orientamento del lotto e sfrutta la morfologia, interrando una parte della costruzione, adibita a locale tecnico e parte dello spazio abitabile, inserendosi così in modo armonioso nel contesto paesaggistico. Internamente, consta di 93 m<sup>2</sup> suddivisi in due piani con le seguenti funzioni: cucina-soggiorno, due bagni, due camere da letto e un locale tecnico per gli impianti. Tutti gli ambienti sono stati progettati rispettando i rapporti aeroilluminanti e dimensionali previsti da normativa. Un percorso con gradini segue il pendio del terreno consentendo l'accesso dal punto di arrivo delle automobili alla zona living della casa e conduce sino alla parte anteriore del lotto dove è sistemato un piccolo orto in linea con la vocazione dell'intera area.

Un secondo percorso segue il perimetro sud-ovest della piscina, strumento passivo per ottenere un effetto di raffrescamento da evaporazione, e garantisce sia un agevole ingresso alla zona living della casa che un accesso centrale allo spazio verde che affianca l'intero lotto. Gli spazi ipogei, i servizi e l'area occupata della scala interna sono illuminati da lucernari che consentono anche una ventilazione naturale dell'aria degli spazi interni attraverso l'effetto camino che prende forma nel corpo scala. L'aggetto del volume sovrastante offre riparo ad un'ampia area fruibile durante la bella stagione, aprendo lo spazio interno del volume abitativo verso la piscina ed il giardino. Le scelte progettuali adottate privilegiano l'adozione di soluzioni passive, implementate con soluzioni di tipo attivo, in un connubio in grado di consentire un maggiore controllo dei costi nella gestione futura dell'edificio. Sono stati considerati i benefici dell'orientamento, il controllo della radiazione solare, le prestazioni dell'involucro e degli elementi tecnici, l'analisi della ventilazione naturale, l'utilizzo delle più efficienti tecnologie impiantistiche e lo sfruttamento di fonti rinnovabili. Lo sfruttamento ed il controllo degli apporti solari gratuiti sono stati possibili attraverso un corretto dimensionamento della geometria delle aperture e delle schermature sui prospetti dell'edificio esposti a sud, est e ovest, nonché dalla scelta di utilizzare serramenti in alluminio a taglio termico con vetri basso emissivi.

Con il software Daylight Visualizer<sup>1</sup>, inoltre, si è comprovato il valore del fattore di luce diurno e dell'illuminanza nelle condizioni più sfavorevoli al fine di determinare la qualità e il comfort degli ambienti in riferimento al DM Sanità del 5 luglio 1975 che stabilisce l'altezza minima ed i requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione” (all’Art. 5: per ciascun locale di abitazione è necessario un fattore di luce diurna medio) (fig. 3). Lungo i lati sud-ovest e nord-est del perimetro esterno, sono stati previsti alberi caducifoglie in filari come schermatura meteorica contro la radiazione solare diretta in estate ed alberi ad alto fusto con chioma allungata per mitigare le precipitazioni atmosferiche e il forte vento che soffia nelle giornate autunnali e invernali. La scelta dei materiali è ricaduta su soluzioni sostenibili secondo i C.A.M.<sup>2</sup>. Per migliorare il comfort abitativo interno e l’isolamento è stata utilizzata la calcecanapa, un materiale che risponde alle richieste ecologiche. La chiusura superiore con soluzione Cool Roof aiuta nel controllo delle condizioni di comfort interne soprattutto durante la stagione estiva. Anche la pavimentazione esterna è stata progettata con conglomerato cementizio drenante per garantire l’assorbimento dell’acqua e il suo riutilizzo per irrigare la vegetazione prevista nello spazio esterno. La analisi energetiche sono state supportate da soluzioni tecnologiche innovative studiate fino alla fase esecutiva con particolare attenzione agli aspetti strutturali e un’analisi dei dettagli costruttivi.

Per quanto riguarda gli impianti di produzione di ACS, la pompa di calore e i pannelli radianti combinati alla ventilazione meccanica controllata, e i frangisole fotovoltaici a film sottile a copertura del passaggio a sud, hanno contribuito, insieme alle sopra citate scelte progettuali e al controllo domotico innovativo, al raggiungimento di una classe energetica prestante.

## Valutazioni energetiche

La “Long House”, grazie alla combinazione di specifiche scelte progettuali portate avanti e combinate in modo diverso, con una valutazione energetica conclusiva data dalla redazione di un Attestato di Prestazione Energetica che mette a confronto anche gli approfondimenti analizzati, ha raggiunto, in tutti i casi proposti, una classe energetica di tipo A4 e quindi con facile raggiungimento della classificazione nZEB.

<sup>1</sup> VELUX Daylight Visualizer, Software gratuito per il calcolo della luce naturale.

<sup>2</sup> Criteri Ambientali Minimi, requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto volti ad individuare la soluzione progettuale migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita.

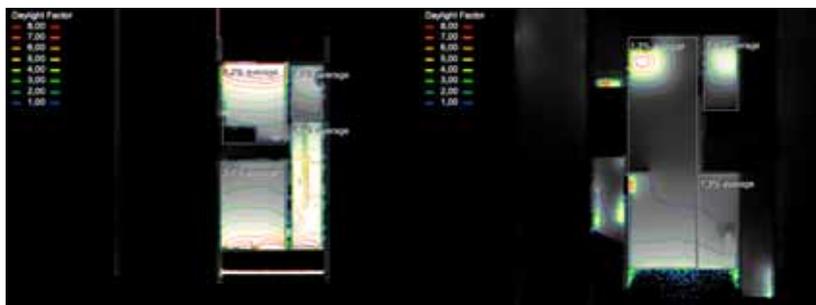


Figura 3 – Daylight factor (PT e P1), tratto dalla tesi di gruppo del Master.

## Riferimenti bibliografici

- Baldo G., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita – nuova edizione aggiornata*, Ed. Ambiente, Cerbera 2008.
- Boriani A., Cariani W., Romani R. (2020), *Guida alla ristrutturazione e riqualificazione energetica degli edifici. s.l.*, Agenzia Nazionale Efficienza Energetica - ENEA, Roma.
- Cameriere P. (2017), *Sviluppo sostenibile e agenda 21*, dispense.
- Green Building Council Italia (2018), *Sostenibilità applicata alla filiera edilizia e dell'ambiente costruito*, ISPRA, s.r.l.
- Lafratta P. (2004), *Strumenti innovativi per lo sviluppo sostenibile. Vision 2000, Iso 14000, Emas, Sa 8000, Ohsas, Lca: l'integrazione vincente*, FrancoAngeli, Milano.
- Medri V., Papa E., Natali Murri A., Landi E., Benito P., Vaccari A. (2016), “La porosità nei geopolimeri”, *La chimica e l'industria*, Vol. XCVIII, 1, gennaio/febbraio.
- Messana F. (2019), *Alcamo, una tappa delle Vie Francigene siciliane*, Politecnico di Torino.
- Mirabella G. (1981), *Alcamo quello che resta*, Sarograf Editore, Alcamo.
- Regina V. (1982), *Longarico, Bonifato e Alcamo. Storia bimillenaria di un popolo*, cartograf, Trapani.
- Pascali L., Modarelli R., Largo A. (2014), “Geopolimeri: ‘Ritorno al passato o salto nel futuro’”, *Ingenio*, 22 luglio.
- Tulliani J.M., Zerbinatti M., Belli A., Mancuso S. (2018-2019), *Da rifiuto a risorsa: reimpiego di un rifiuto come materia prima secondaria per la produzione di un blocco di fango di segagione e cocciopesto alcali-attivato, utile alla realizzazione di chiusure verticali opache*, Tesi di Laurea Magistrale.

# Caratterizzazione della calcecanapa per l'isolamento dell'involucro edilizio

di *Giulia Chiappisi*

## Obiettivi

L'obiettivo è stato quello di valutare l'incidenza dell'utilizzo del biocomposto calcecanapa e dimostrarne l'efficacia rispetto a delle scelte progettuali previste per l'involucro e le chiusure orizzontali e verticali. Inoltre, facendo riferimento ai requisiti per accedere ai finanziamenti Ecobonus 110% in materia di isolamento per soluzioni opache, per il quale si richiede l'impiego di materiali isolanti rispondenti ai CAM, si nota come la calcecanapa rappresenti una valida alternativa sostenibile ai più comuni materiali attualmente in uso.

## Metodologia

L'applicazione di questo biocomposto è stata approfondita valutandone l'incidenza energetica ed economica e sviluppando un'analisi costi-benefici.

Dall'Analisi del Ciclo di Vita – LCA di un elemento tecnico in calcecanapa, si è rilevato come la produzione di materie prime è la fase più impattante, principalmente a causa della produzione della calce. Tuttavia, analizzando il ciclo di vita della canapa, che rappresenta la percentuale più alta del conglomerato, il consumo idrico necessario risulta molto basso. La canapa è una pianta che resiste a diversi microclimi, veloce nella crescita, con una resa elevata in termini di massa vegetale. Inoltre, mineralizza il terreno e il bilancio complessivo di sequestro di anidride carbonica è negativo, in quanto l'assorbimento di CO<sub>2</sub> durante il processo di fotosintesi è superiore alle emissioni date dai processi industriali e di produzione del legante. Il biocomposto calce e canapa può, quindi, essere definibile *carbon negative*, considerando che al bilancio contribuisce sia l'aggregato di origine vegetale sia la carbonatazione del legante aereo durante la fase di presa.

Un prodotto di Calcecanapa può essere riutilizzato a fine vita sgretolandolo, mescolandolo con acqua e altro legante di calce e applicandolo per un nuovo getto. Il materiale ha anche un potenziale di riciclaggio per altre applicazioni come il compostaggio, il rinterro, la frantumazione e lo spargimento su aiuole o campi per aumentare il pH del terreno e introdurre una pacciamatura.

Essendo costituita essenzialmente da biomassa e da calce carbonata (calcite), la miscela di calce e canapa, se mandata in discarica, ha un impatto ambientale minimo. La scelta della fibra di canapa è avvenuta in quanto le analisi biologiche evidenziano che il canapulo, ricavato dalla pianta essiccata, traspirante grazie alla sua struttura molecolare ad alveare, possiede un elevato potere termico ed è anche duttile e durevole per il contenuto di silice nella fibra stessa.

Essa, quindi, rappresenta il corpo inerte del composito, invece, la calce funge da legante e da indurente e fornisce le proprietà antisettiche, ignifughe e resistenti. Per tutte queste qualità rientra nel materiale di base all'interno della corrente della *green economy*. L'obiettivo è stato proprio quello di sviluppare un prodotto per l'edilizia che possa condurre a risultati sostenibili, di risparmio energetico e di consumo senza trascurare l'aspetto rivolto alla salute.

Infine, in relazione al comma 1 del D.Lgs 192/2005 e successive modifiche all'art. 4bis, che tratta la materia degli "Edifici ad energia quasi zero", si richiede che tutti gli edifici di nuova costruzione debbano essere realizzati con la modalità nZEB (a energia quasi zero). Tale disposizione è vigente dal 1° gennaio 2021 per tutti gli edifici di nuova costruzione e pertanto potranno essere progettati e costruiti solo edifici ad alte prestazioni energetiche. Considerando che i consumi di un edificio tradizionale sono dovuti al riscaldamento, al raffrescamento, al consumo di corrente elettrica, al funzionamento di elettrodomestici ed all'illuminazione, per puntare ad un risparmio energetico considerevole si deve porre particolare attenzione all'involucro che viene coinvolto nella gestione di tutti questi fattori, con il compito principale di regolare il passaggio di calore, umidità, ventilazione e luce.

Per questa ragione la scelta è ricaduta su un materiale naturale, con alte prestazioni traspiranti, deumidificanti, antisettiche, isolanti e riciclabili come appunto riscontrato nella calcecanapa.

In particolare, la calcecanapa è stata impiegata come isolante nelle chiusure e partizioni orizzontali: con funzione di sottofondo e di isolante per la copertura piana, nel primo caso per facilitare l'installazione dei pannelli radianti, nel secondo grazie alle sue proprietà traspiranti permette un rilascio dell'aria fresca attenuando il picco di calore la notte e dissipa rapidamente il calore nelle ore diurne. Per le chiusure e partizioni verticali, è stato impiegato il sistema a blocchi prefabbricati in calcecanapa rivestiti di intonaco termoisolante naturale in modo da offrire uno tempo di sfasamento prolungato.

## Risultati

Tramite lo studio della stratigrafia del tamponamento della parete perimetrale verticale dell'edificio (fig. 4) attraverso il programma gratuito "*TerMus-G*" l'applicazione dei blocchi in calcecanapa presenta un risultato nettamente migliore rispetto alla prestazione fornita da una muratura con sistema a cappotto esterno in fibra lignea sia in termini di trasmittanza ( $0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$  contro  $0,335 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), sia di sfasamento ma anche di costo al  $\text{m}^2$  con un risparmio notevole dedotto da un computo metrico estimativo di massima. Stesso processo è stato utilizzato per confrontare i pacchetti di chiusura orizzontale superiore (fig. 1), dove è stato confrontato un sistema premiscelato in calcecanapa con un sistema a tetto freddo. Anche per questa soluzione tecnologica l'utilizzo di questo materiale innovativo presenta dei risultati nettamente migliori rispetto alla soluzione tradizionale, rispondendo anche ai limiti richiesti nell'Appendice B per la Zona C.

Infine, per maggiore completezza, si è svolta attraverso il programma *TerMus* (versione di prova gratuita), un'analisi energetica dell'edificio per il riscaldamento invernale (fig. 2), tenendo conto di tutte le scelte progettuali sopracitate in termini di elementi costruttivi ed impianti e confrontando una possibile scelta con le sole chiusure opache verticali in calcecanapa con un edificio interamente costituito da questo biocomposto. I risultati sono alquanto simili: si riscontra, a parità di classe energetica, una diminuzione della prestazione energetica non rinnovabile e una diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, convalidando la tesi fin qui supportata. Da questo ulteriore confronto si evince come con una corretta progettazione e sfruttamento delle potenzialità di questo materiale si possano raggiungere, con molta facilità, elevati livelli di classe energetica, prossimi all'nZEB.

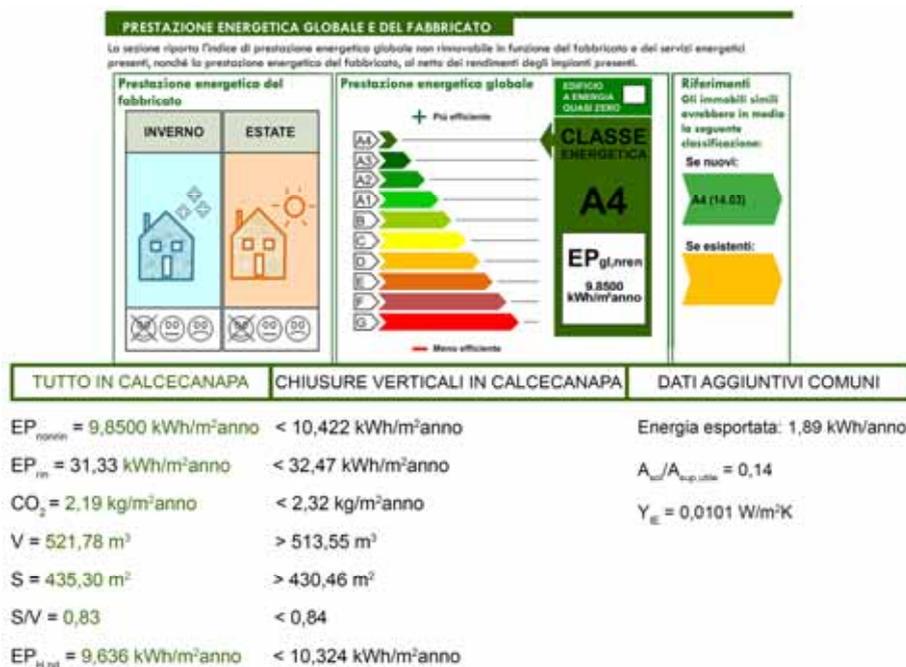
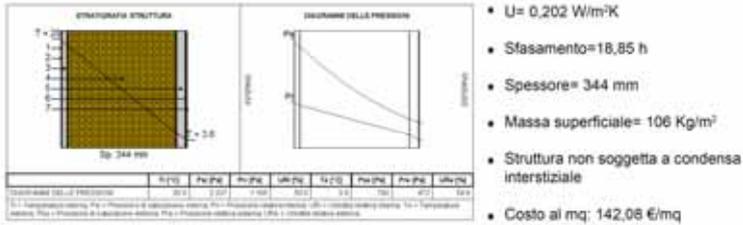


Figura 1 – Certificato APE finale, © G. Chiappisi.

### SISTEMA A BLOCCHI PREFABBRICATI IN CALCECANAPA



### SISTEMA A CAPPOTTO CON ISOLANTE IN FIBRA DI LEGNO

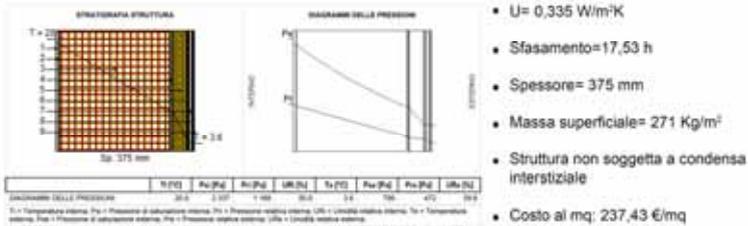
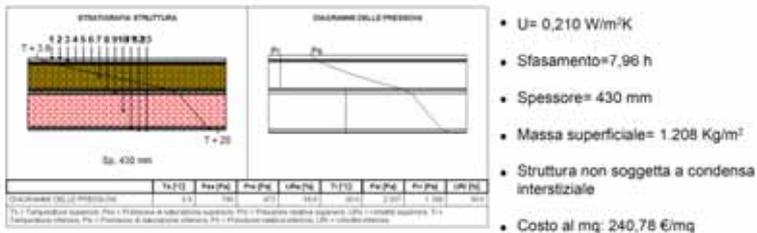


Figura 2 – Analisi e studio della trasmittanza del sistema a blocchi prefabbricati in calcecanapa con Software TerMus, © G. Chiappisi.

### SISTEMA DI COPERTURA CON PREMISCELATO IN CALCECANAPA



### SISTEMA DI COPERTURA COOL ROOF

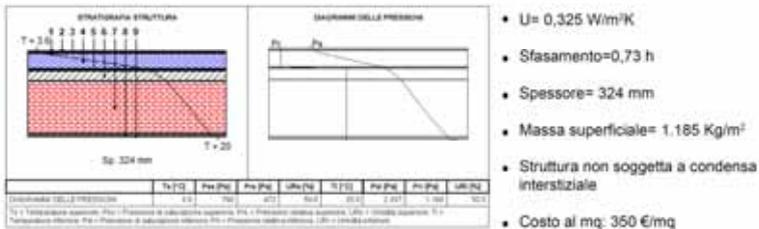


Figura 3 – Studio della trasmittanza del sistema di copertura in calcecanapa costituito da premiscelato con software TerMus, © G. Chiappisi.

# Valutazione energetica di soluzioni tecnologiche innovative: le prestazioni acustiche

di *Serena Privitera*

## Obiettivi

L'isolamento dell'involucro edilizio svolge una funzione determinante per il miglioramento della prestazione energetica: una corretta progettazione dello stesso contribuisce notevolmente all'ottimizzazione dell'indoor comfort dell'edificio. Lo studio proposto riguarda il miglioramento dell'efficientamento energetico attraverso la verifica dei requisiti acustici passivi degli ambienti. Tale processo di validazione è stato eseguito attraverso l'applicazione di software che hanno consentito l'immediato confronto dei dati ottenuti dall'impiego di differenti componenti a secco.

## Metodologia

Il processo progettuale è stato scandito da diverse fasi che hanno riguardato: la definizione di alcune stratigrafie con elementi a secco in modo da valutare possibili scenari e individuare differenti spessori; la redazione di fascicoli riepilogativi delle stratigrafie degli elementi tecnici orizzontali e verticali; la scelta di vetri e serramenti in relazione alla trasmittanza termica; l'analisi dei ponti termici presenti all'interno dell'edificio; l'analisi dei requisiti acustici passivi e la relativa scelta dei materiali, ponendo attenzione ai valori limite per le classi acustiche, anche se non specificatamente richieste per l'edilizia residenziale, la redazione della relazione energetica tramite l'utilizzo del software *Edilclima*. Inoltre, l'utilizzo di un software BIM per la progettazione della *Long House* ha consentito la facile gestione delle componenti del progetto, dalla formazione delle stratigrafie alla realizzazione degli abachi. Si è scelto quindi di utilizzare diversi pacchetti sia per le pavimentazioni, le pareti divisorie interne ed esterne, in base al tipo delle specifiche destinazioni degli ambienti. Il passo successivo è stato quello di verificare l'efficienza dei pacchetti con il programma *Edilclima* in modo da confrontarne le prestazioni delle singole soluzioni ipotizzate con le norme vigenti. Ciò ha permesso un più preciso dimensionamento dell'impianto e l'ulteriore implementazione del progetto con la verifica dei requisiti acustici passivi. Nelle piante sono stati etichettati gli elementi utilizzati come: pareti, pavimenti e infissi, in relazione, anche, all'orientamento solare dell'edificio.

Il software per il calcolo della prestazione energetica prevede diverse fasi: la prima richiede il posizionamento geografico del progetto e la scelta delle norme tecniche da utilizzare per la verifica energetica. Tale scelta è stata effettuata sia in base alla normativa italiana, che in base alle normative regionali, quando esistenti. La se-

conda fase prevede l'impostazione delle singole stratigrafie, sia verticali che orizzontali, la scelta degli infissi, ognuno con le proprie caratteristiche dimensionali e tecniche e l'individuazione dei ponti termici.

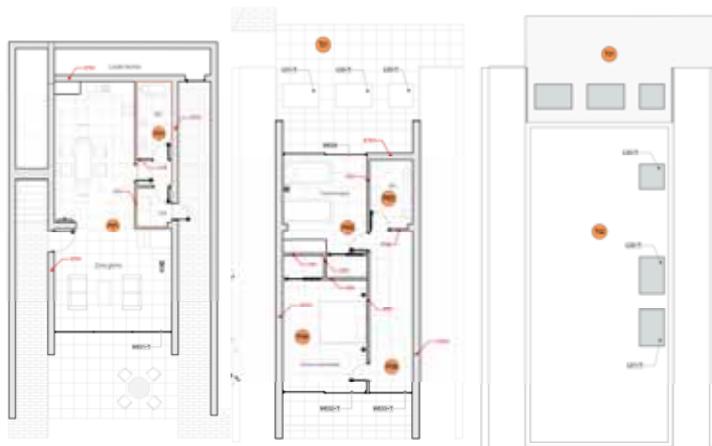


Figura 1, 2, 3 – Piante delle soluzioni progettuali, realizzate con software Revit, © S. Privitera.

Dopo aver individuato i diversi componenti dell'involucro si può modellare tridimensionalmente l'edificio, assegnando ad ogni elemento la reale stratigrafia. Si inseriscono gli infissi e si definiscono le varie zone dell'edificio differenziando gli ambienti climatizzati da quelli che non lo sono.

Una delle fasi più importanti dello studio energetico è proprio quella di definizione degli impianti all'interno del software, tramite l'impostazione delle diverse tipologie e dei vari parametri. Nel caso analizzato è stata utilizzata una pompa di calore elettrica per il riscaldamento (15 kW) e l'ACS (acqua calda sanitaria), con l'inserimento dei pannelli fotovoltaici (condizione già prevista in fase progettuale). I terminali scelti sia per il riscaldamento che per il raffrescamento sono i pannelli radianti. Per una realistica resa dei dati di elaborazione del software, l'edificio è stato diviso in due macro-zone: una che racchiudesse tutte le zone del piano terra e una che racchiudesse tutte quelle del primo piano, proprio in relazione alle diverse destinazioni d'uso domestico. Questo ha permesso una migliore gestione impiantistica potendo separare le impostazioni dei singoli livelli, ma usufruendo di un impianto unico centralizzato in modo da ottimizzare anche i costi di gestione e manutenzione.



Figura 4 – Schema degli impianti dell’edificio. © S. Privitera.

## Risultati

Dalle analisi effettuate si evince che l’utilizzo dei pacchetti sia idoneo all’ottenimento di alte prestazioni termiche ed acustiche.

Lo studio iniziale delle condizioni climatiche e del luogo di progetto sono stati indispensabili per impostare tutte le scelte progettuali e tecniche. Da un’attenta analisi di tutti i fattori interni ed esterni è stato possibile impostare e valutare differenti soluzioni.

Tra le varie ipotesi effettuate si è scelto di utilizzare soluzioni a secco per i materiali che compongono le stratigrafie, esse consentono un alto livello d’isolamento termico e sono la scelta più innovativa e appropriata. L’efficientamento energetico dell’edificio serve ad ottimizzare il rapporto tra immissione di energia e rendimento in termini di produzione e di consumi, per questo motivo l’impianto utilizzato per il riscaldamento e il raffrescamento dell’edificio è stato scelto con l’obiettivo di minimizzare l’impatto ambientale e i consumi.

La verifica dei requisiti acustici passivi e degli impianti adottati nella “Long House” ha consentito di definire un progetto efficiente e sostenibile. La verifica finale effettuata tramite l’APE (Attestato di prestazione energetica), ha dimostrato che le scelte adottate consentono all’edificio di raggiungere il più alto livello di efficienza energetica (A4), tra le classi ad oggi utilizzate.

**ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI**  
CODICE IDENTIFICATIVO: \_\_\_\_\_ VALIDO FINO AL: 10/02/2031

**DATI GENERALI**

<b>Destinazione d'uso</b> <input checked="" type="checkbox"/> Residenziale <input type="checkbox"/> Non residenziale  Classificazione D.P.R. 412/93: [E1]	<b>Oggetto dell'attestato</b> <input checked="" type="checkbox"/> Intero edificio <input type="checkbox"/> Unità immobiliare <input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari  Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 2	<input checked="" type="checkbox"/> Nuova costruzione <input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà <input type="checkbox"/> Locazione <input type="checkbox"/> Ristrutturazione importante <input type="checkbox"/> Ripulificazione energetica <input type="checkbox"/> Altro: _____
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Dati identificativi**

FOTO EDIFICIO	Regione: SICILIA Comune: Buseto Palizzolo Indirizzo: Buseto Palizzolo Piano: _____ Informa: _____ Coord. GeO: 0.000000 N 0.000000 E	Zona climatica: C Anno di costruzione: 2021 Superficie utile riscaldata (m <sup>2</sup> ): 108,79 Superficie utile raffrescata (m <sup>2</sup> ): 106,79 Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> ): 303,41 Volume lordo raffrescato (m <sup>3</sup> ): 303,41
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Comune catastale	8008	Sezione	Foglio	Particella					
Subalterno	da	da	da	da	da	da	da	da	da
Altri subalterni									

**Servizi energetici presenti**

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

**PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO**

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non riservabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

<b>Prestazione energetica del fabbricato</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 50%;">INVERNO</th> <th style="width: 50%;">ESTATE</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">   </td> <td style="text-align: center;">   </td> </tr> </table>	INVERNO	ESTATE	 	 	<b>Prestazione energetica globale</b> <div style="text-align: center;">   <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: green;">CLASSE ENERGETICA A4</p> <p style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">37,67 kWh/m<sup>2</sup>anno</p> </div>	<b>Riferimenti</b> Gli immobili simili dovrebbero in media la seguente classificazione: Se nuovi: A3 (64,2%) Se esistenti: _____
INVERNO	ESTATE					

Pag. 1

Figura 4 – APE, Attestato di prestazione energetica finale; © S. Privitera.

# **Analisi termiche di sistemi a secco innovativi per la progettazione sostenibile dell'involucro**

di *Fabio Romano*

## **Obiettivi**

La tecnologia costruttiva stratificata a secco dei sistemi Struttura e Rivestimento (S/R) permette grande libertà dal punto di vista architettonico e flessibilità a livello tecnico, economico e logistico, fornendo ampie potenzialità strutturali sia nelle nuove edificazioni che per interventi sul patrimonio esistente.

Un sistema S/R è composto da un'ossatura portante a telaio, a cui è demandata la funzione di definizione architettonica dell'involucro e di resistenza alle sollecitazioni esterne, e da un rivestimento in grado di garantire sia la qualità estetica del progetto, all'interno e all'esterno dello spazio abitabile, che le condizioni di benessere e comfort necessarie. Sono state definite due tipologie costruttive a secco, definendone, attraverso simulazione, il comportamento energetico e valutando quella più prestante.

## **Metodologia**

L'involucro edilizio S/R è il risultato di materiali ad elevata standardizzazione che si giustappongono in strati a cui sono demandate funzioni diverse: isolamento termico, potere fonoisolante, sfasamento termico, rallentamento o arresto dei flussi di vapore d'acqua, protezione meccanica e chimica della facciata, tenuta all'aria e/o all'acqua. In grado di consentire una grande variabilità in fase di progettazione, la possibilità di inserire e alternare differenti strati di materiale isolante all'interno della stratigrafia costituente l'involucro permette di ottenere pareti altamente performanti dal punto di vista energetico, acustico e statico, nonché edifici ad elevata durabilità con propensione al risparmio energetico.

La scelta ed il corretto dimensionamento dei materiali costituenti le stratigrafie è stata effettuata facendo riferimento alle certificazioni di laboratorio ed alle indicazioni fornite dal produttore tramite le schede tecniche.

Ogni componente degli strati dell'involucro risponde sia in modo specifico che come entità di pacchetto composito. Uno dei maggiori vantaggi offerti dall'utilizzo di un sistema S/R consiste nella possibilità di modulare le prestazioni delle pareti in funzione dei materiali scelti per comporre gli strati dell'involucro, potendo disporre un controllo diretto dei parametri che influenzano il comfort abitativo.

Le tecnologie costruttive a secco prese in considerazione sono stratificate con gli stessi materiali e possono fornire una soluzione alternativa autonoma oppure, se accostate all'interno dello stesso progetto, possono offrire maggiore libertà compo-

sitiva della fronte architettonica conferendo caratteristiche riconoscibili dal punto di vista architettonico ed estetico. Nei sistemi a secco S/R è possibile utilizzare materiali che rispondono alle caratteristiche di compatibilità ecologica e sono progettati per un ciclo di vita che prevede il loro disassemblaggio e successivo riciclaggio finale a costi limitati.

Nelle stratigrafie in oggetto sono stati utilizzati anche pannelli isolanti con PET riciclato prodotti da bottiglie di PET post-consumo, ulteriormente riciclabile a fine vita. Il PET è un materiale ampiamente riciclato e fornisce un grande contributo per gli obiettivi di riciclaggio della plastica richiesti dalle direttive europee.

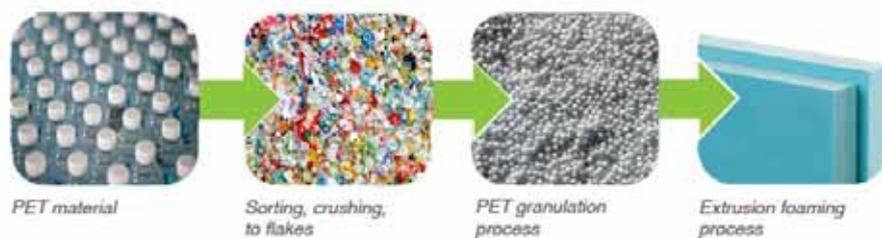


Figura 1 – L'immagine mostra lo schema di produzione dei pannelli isolanti con PET riciclato, © F. Romano.

La tecnologia del sistema a cappotto utilizzato fornisce una valida soluzione di sistema costruttivo a secco per l'isolamento termico esterno dell'edificio. In funzione delle condizioni del luogo e dei requisiti statici e prestazionali suggeriti dal progetto, è stata configurata una struttura metallica portante a doppia orditura, opportunamente dimensionata, si è stabilita la tipologia ed il numero delle lastre di rivestimento, sono stati valutati i materiali isolanti da inserire nelle intercapedini.

Il tipo ed il numero delle lastre di rivestimento, in gesso o in cemento fibrorinforzato, sono stati scelti in funzione delle prestazioni della parete in relazione alla statica, alla protezione al fuoco, l'acustica e l'isolamento termico. Sulla superficie esterna è applicato uno strato costituito da pannelli isolanti in polistirene espanso sinterizzato EPS additivato con grafite ad elevate prestazioni isolanti.

Le facciate ventilate costituiscono una tecnologia di rivestimento esterno per proteggere l'edificio dall'umidità e dagli agenti atmosferici, eliminando i fenomeni di condensa interstiziale ed i ponti termici, favorendo un maggiore isolamento termico e acustico, aumentando le prestazioni energetiche del fabbricato, comportando un risparmio dei consumi energetici e degli oneri di gestione durante la fruizione senza rinunciare ad ottenere un elevato comfort abitativo.

La distanza fisica tra il rivestimento, più esposto alle temperature fredde invernali, e gli strati più interni, determina la riduzione del flusso termico trasmesso per conduzione attraverso i differenti materiali costituenti l'involucro.

Uno strato costituito da pannelli isolanti in polistirene espanso sinterizzato EPS additivato con grafite ad elevate prestazioni isolanti, di spessore ridotto rispetto al precedente, è applicato tramite collante per cappotti alle lastre in cemento fibrorinforzato poste a filo esterno della struttura metallica autoportante del paramento.

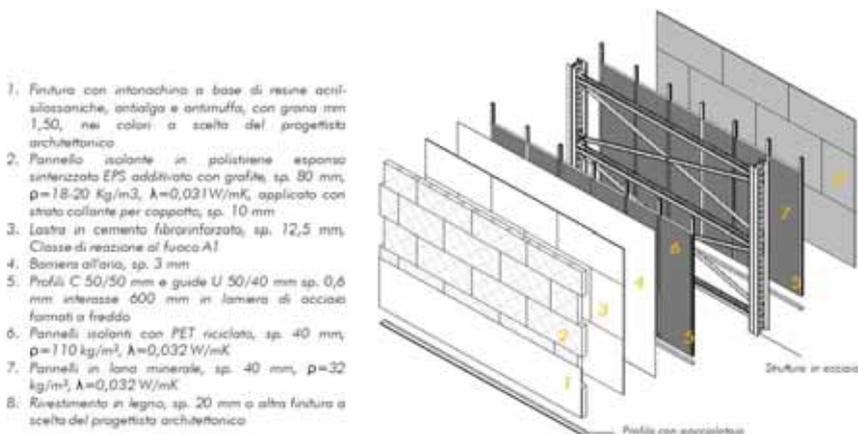


Figura 2 – La figura mostra la chiusura verticale con sistema a cappotto - Esploso stratigrafia, tratto dalla tesi del Master, © F. Romano.

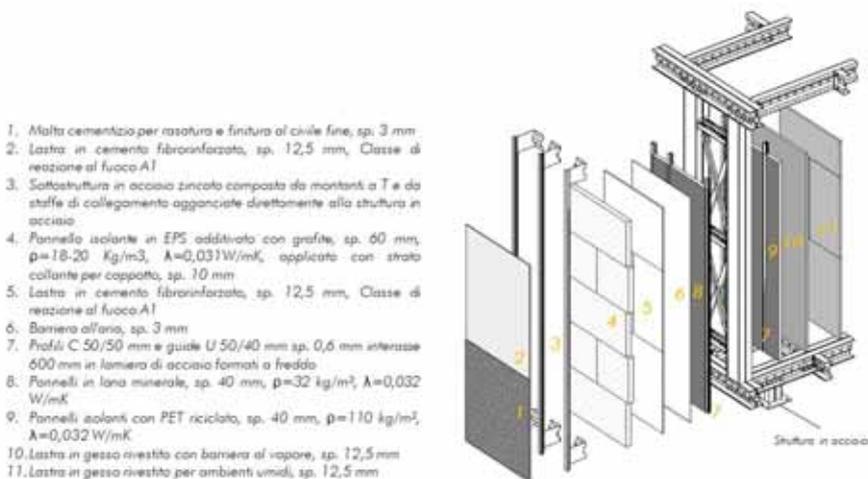


Figura 3 - La figura mostra la chiusura verticale con facciata ventilata - Esploso stratigrafia, © F. Romano.

L'involucro più esterno del sistema con facciata ventilata è costituito da uno strato di lastre in cemento fibrorinforzato rifinito con rasatura e finitura realizzata con intonaco civile. I dettagli applicativi sono stati valutati con estrema cura, con soluzioni esecutive funzionali ed efficaci.

Per caratterizzare termicamente le prestazioni del sistema di isolamento a cappotto è stata effettuata un'analisi igrotermica per la determinazione dei parametri fisici di trasmittanza termica  $U$  [ $W/m^2K$ ], dello sfasamento  $[h]$  e del fattore di attenuazione, oltre alla necessaria verifica igrometrica per fenomeni di condensa superficiale e al tracciamento dei diagrammi delle pressioni.

Il comportamento della stratigrafia scelta per i diversi elementi tecnici ipotizzati è stato valutato attraverso il software Termus-G che consente di simulare, inserendo, per ogni singolo strato o elemento, alcuni parametri quali la conducibilità termica  $\lambda$  [W/mK], la conduttanza unitaria [W/m<sup>2</sup>K], la massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>], il calore specifico [J/kgK], la resistenza termica [m<sup>2</sup>K/W] e definendo per ogni singolo strato o elemento lo spessore [mm].

Le proprietà dei materiali e i dati necessari ai fini del calcolo della trasmittanza termica sono stati ricavati dalle schede tecniche fornite dai produttori. I dati relativi all'ambiente eterno, come ad esempio la temperatura esterna e interna [°C], l'umidità relativa [%] ed i Gradi Giorno, vengono automaticamente introdotti nella simulazione una volta confermata la località all'interno del database del software stesso.

Dai risultati dell'analisi condotta con software TerMus-G di ACCA Software, si evince che nessuna delle due strutture ipotizzate è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. I valori di trasmittanza ottenuti sono inferiori ai parametri stabiliti nell'Appendice A del D.M. 26-06-2015.

## Conclusioni

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni si rileva che il valore dello sfasamento termico della facciata ventilata evita il surriscaldamento del sistema di isolamento termico dovuto all'irraggiamento diretto.

Inserite tutte le informazioni relative alla struttura e le informazioni delle soluzioni impiantistiche adottate, è stato possibile ricavare la classe energetica raggiungibile dal progetto con chiusura verticale con facciata ventilata che corrisponde alla classe energetica A4.

Questa è determinata, anche, sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio.

Tale risultato è determinato anche dalla scelta di utilizzare delle pareti assemblate con sistemi a secco che permettono di raggiungere valori di trasmittanza termica più performante rispetto ad altri sistemi in virtù della possibilità di inserire strati di materiale isolante di diversa tipologia e spessore, potendo disporre di un controllo diretto dei parametri che influenzano il comfort abitativo con la possibilità di utilizzare materiali che rispondono alle caratteristiche di compatibilità ecologica.

La tecnologia del sistema utilizzato permette di raggiungere alti livelli di prestazioni termiche dell'involucro tanto da tendere verso gli ambiziosi obiettivi nZEB. Le facciate ventilate costituiscono un'eccellente tecnologia di rivestimento esterno in cui gli sforzi effettuati in sede di progettazione comportano un evidente risparmio dei consumi energetici e degli oneri di gestione durante la fruizione senza rinunciare ad ottenere un elevato comfort abitativo e un gradevole risultato formale e compositivo.

Nei due casi analizzati è stato possibile ottenere valori bassi di trasmittanza, buoni livelli di qualità prestazionale, elevati livelli di fonoassorbimento e fonoisolamento acustico. Anche dal punto di vista economico, lo scarto tra le due soluzioni indica-

te è minimo I sistemi a secco hanno una minore massa superficiale che si traduce in maggiore leggerezza della chiusura verticale, raggiungono valori di trasmittanza termica più performante.

# Valutazione di intonaci innovativi per l'efficientamento energetico dell'involucro edilizio

di *Alessandro Spatafora*

## Obiettivi

L'obiettivo dello studio è stato quello di confrontare tipologie di intonaco termico differenti. In particolare, sono state prese in esame soluzioni di rivestimento esterno realizzate con materiali innovativi. L'analisi è stata condotta sia su edifici di nuova costruzione che su edifici esistenti.

## Metodologia

È stata eseguita un'analisi dei possibili interventi su un edificio esistente strutturandola attraverso quattro fasi principali:

Analisi preliminare: finalizzata ad acquisire la documentazione necessaria alla conoscenza del fabbricato analizzando documenti, effettuando rilievi e raccogliendo informazioni riguardanti l'edificio dal punto di vista materico-strutturale, normativo e gestionale.

Analisi dei dati e simulazione energetica dello stato di fatto: valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio storico rispettando le caratteristiche ambientali, morfologiche, fisiche, materiche e dimensionali dell'esistente. È stata determinata la prestazione energetica, pre e post-intervento.

Scelta misure di intervento: le opportunità d'intervento per il miglioramento della prestazione energetica sono state individuate *ad hoc*, scegliendo quelle ritenute idonee, spingendosi verso l'uso dei migliori prodotti innovativi sul mercato.

Valutazione del migliore scenario progettuale: tra 'adeguamento impiantistico' e 'miglioramento impiantistico'. La valutazione è stata svolta in relazione ai rapporti costi-benefici dati dagli interventi nel loro insieme, tenendo conto sia delle condizioni di funzionamento invernali che estive.

La ricerca è entrata nel merito dell'analisi dell'involucro, dal punto di vista storico, materico, conservativo ed energetico. L'involucro della muratura interna è costituito da intonaco in calce e sabbia mentre l'involucro esterno è ricoperto da uno strato di arriccio a base di malta di calce e inerti e da un pacchetto di intonaco di tipo Li Vigni, malta aerea a base di calce e sabbie naturali selezionate con ottimi valori di idrorepellenza, permeabilità alla diffusione del vapore, traspirabilità, buona resistenza alle fessurazioni da gelo e ad eventuali muffe e batteri e notevole resistenza all'urto e all'abrasione. Al fine di valutare la tipologia di intervento di efficientamento energetico più adatto al caso specifico si è proceduto, in prima analisi, a ricostruire la stratigrafia del pacchetto murario esistente attraverso indagini in loco. Lo spessore murario varia da 60 cm al piano terra a circa 55 cm al piano terzo co-

stituito da uno strato interno di intonaco di calce e sabbia dello spessore di 2 cm, una malta di calce e sabbia dello spessore di 2 cm, blocchi di calcarenite dello spessore di 53 cm, ulteriore strato di malta di calce e sabbia di 1,7 cm ed un pacchetto di intonaco esterno tipo Li Vigni dello spessore di 1,3 cm. la trasmittanza complessiva del pacchetto murario esistente è risultata essere pari a  $U=1,069 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Per potere enucleare gli interventi di miglioramento energetico si sono analizzate le condizioni di conservazione dell'esistente e la presenza di degradi, la loro analisi ha permesso così di decifrare le maggiori criticità del manufatto considerando gli aspetti energetici, ambientali, microclimatici e di tutela. Sono stati analizzati, in particolare, di tipi di intonaci differenti: Fotocatalitico e Nanotecnologico termoriflettente. Dall'esame dei risultati, ricavati tramite la versione di prova del programma di diagnosi energetica "Termolog", si evince che: l'intonaco Fotocatalitico determina uno spessore della muratura di 37,7 cm. e il valore della trasmittanza termica risulta essere pari a  $0,283 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; l'intonaco Nanotecnologico termoriflettente ha, invece, uno spessore della muratura di 37,8 cm e un valore della trasmittanza termica pari a  $0,234 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Tali prodotti, di recente utilizzo, prevedono l'impiego di nanotecnologie e sono composti da nanoparticelle di silicio che conferiscono proprietà idrorepellenti alla superficie esterna e microriflettori, in grado di garantire oltre il 90% della riflessione della radiazione termica. La combinazione del potere riflettente delle microsferiche di vetro cellulare unita ad inerti leggeri e leganti naturali crea una massa caratterizzata da una grande presenza di celle d'aria ad alto potere coibente e riflettente in grado di mantenere un'alta traspirabilità della massa.

Gli intonaci nanotecnologici risultano adatti per applicazioni su murature esposte alle intemperie e per la protezione di superfici danneggiate con microfratture in quanto, grazie al meccanismo di reticolazione ed alla struttura nanotecnologica, riescono a colmare le microcrepe senza rischio di sfaldamento. Possiedono, altresì, un'eccellente resistenza ai raggi UV e agli alcali ed impediscono l'assorbimento dell'acqua, pur garantendo un'elevata traspirabilità. La posa in opera di questa tipologia di intonaci non differisce da quella degli intonaci classici, con il vantaggio di ottenere ottime prestazioni termoriflettenti anche con spessori ridotti sino a 6 mm. Infatti, applicando un rasante termoriflettente dello spessore di 0,6 cm e trasmittanza termica pari a  $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$  e addizionando un microrivestimento termoceramico che ne migliori notevolmente le prestazioni relative alla riflessione delle radiazioni termiche, otteniamo risultati molto performanti sotto il profilo energetico. Ipotizzando l'applicazione di un pacchetto di intonaco nanotecnologico, dello spessore totale di 1,5 cm, la trasmittanza termica dell'intera muratura risulta essere  $0,608 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Confrontando le prestazioni energetiche attuali con quelle ottenute dall'applicazione di intonaci nanostrutturati, si ottiene un risparmio del fabbisogno di riscaldamento invernale prossimo al 12,4% e un risparmio del fabbisogno di climatizzazione estiva prossimo al 4,6%.

Stratigrafia – PAR_EST							
Strato	s	λ	R	ρ	C	μa	μu
	mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-	-
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Intonaco calce e sabbia	20,0	0,650	0,031	1,750	1,00	20,0
B	Malta calce e inerti	20,0	0,800	0,025	1,350	0,90	23,0
C	Blocco muratura tufo calcareo	530,0	0,795	0,667	1,648	0,90	0,0
D	Malta calce e inerti	17,0	0,800	0,021	1,350	0,90	23,0
E	Intonaco Li Vigni	13,0	0,600	0,022	1,700	1,00	15,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	600,0		0,935			

Figura 1- Stratigrafia struttura PAR\_EST, © A. Spatafora.

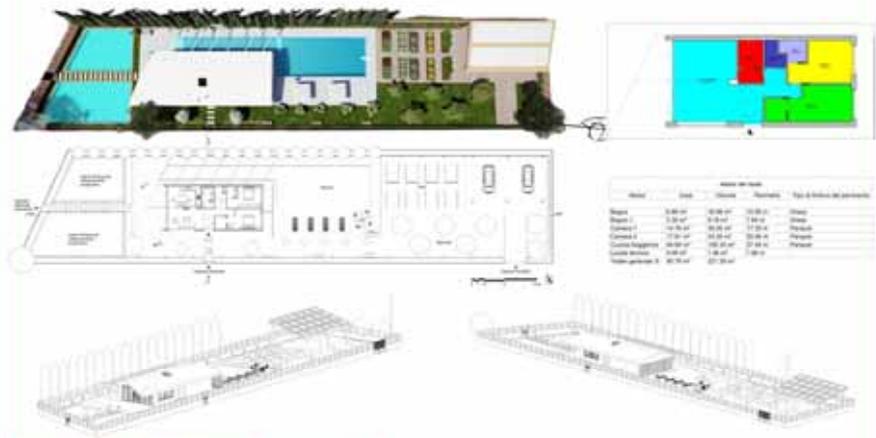
## Conclusioni

I risultati ottenuti dall'analisi delle tipologie di intonaco precedentemente descritte mostrano un netto miglioramento del risparmio energetico rispetto allo stato di fatto; tuttavia, poiché la tipologia di interventi deve tenere conto della valenza paesaggistica, storico monumentale ed artistica del sito, è necessario ridurre al minimo gli spessori di intervento, garantendo al contempo ottime prestazioni termogometriche dell'involucro.

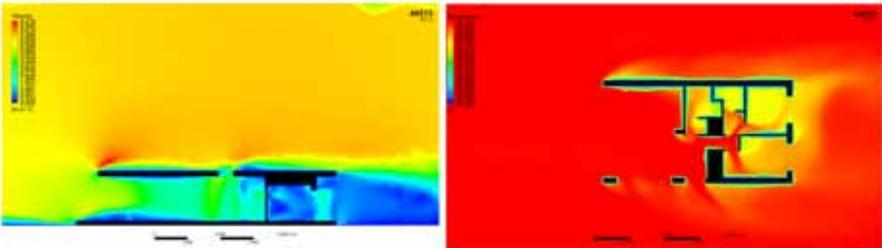
Tale necessità ha orientato la scelta progettuale sull'applicazione dell'intonaco nanotecnologico termoriflettente, il quale consente di ottenere una notevole diminuzione della conducibilità termica e dello spessore di applicazione grazie alle proprietà conferite dalle nano particelle termo-riflettenti

L'utilizzo delle due soluzioni analizzate conferisce, inoltre, al progetto "Long House" un carattere innovativo capace di sfruttare al massimo gli apporti energetici forniti dalla radiazione solare, ottenendo una significativa riduzione delle dispersioni termiche e mantenendo elevati standard di efficienza energetica della muratura.

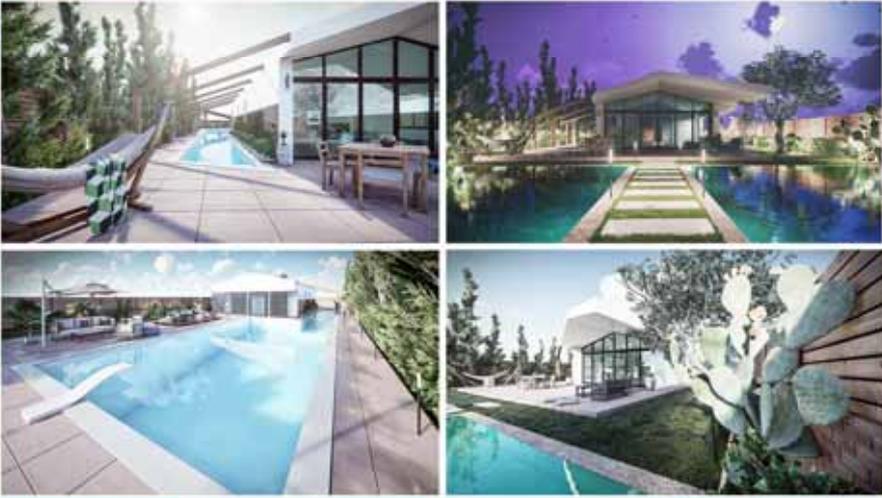
Sebbene gli spessori della muratura sono pressoché uguali ed entrambe le soluzioni assicurano ottimi risultati, restando in linea con i principi di sostenibilità edilizia enunciati nel corso del Master, la scelta progettuale è ricaduta ancora una volta sull'utilizzo dell'intonaco nanotecnologico termoriflettente il quale garantisce un maggior guadagno in termini di trasmittanza termica e un'elevata efficienza energetica che si evince dall'attestato di prestazione energetica (APE) che fa ricadere l'edificio in classe A4.



Analisi e verifica della ventilazione con ANSYS FLUENT



**RENDERING**



## *10. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Marsala: “Casa Salina”*

di *Flavia Barbera, Luisa Lombardo, Salvatore Marinaro, Francesca Noto*



*Figura 1- Rendering Casa Salina, tratto dalla tesi del Master.*

### **Abstract**

The present research work aims at the design of a sustainable building, a small holiday home single-family house in Villaggio San Teodoro, Marsala (TP). A territorial classification, the assessment of the climatic data and a study of the solar paths made possible the most passive strategies for the improvement of indoor and outdoor comfort. Interesting and reasoned was the study of the prevailing winds and the relative positioning and sizing of the openings, including on the roof, in order to favor natural ventilation inside the building. The effectiveness of these solutions have been proven by fluid dynamics analyzes with Ansys Fluent software, Revit and Daylight Visualizer in order to determine the quality and comfort of the environments. Finally, the sizing of the systems and the evaluation of the most performing solutions to further improve the energy efficiency of the building.

The study and analysis made it possible to establish how realistic, feasible and convenient the design was from all points of view. Finally, the energy performance certificate produced the desired results, proving the correct procedure followed and the affirmation of a high, efficient energy class, and therefore an nZEB building.

## Strategie sostenibili

“Casa Salina” rappresenta un caso studio che utilizza fonti di energia rinnovabili, strategie passive integrate, isolamento termico per l’eliminazione dei ponti termici dell’edificio con materiali a basso impatto ambientale, atossici e sicuri per la salute degli abitanti e, al contempo, rispettosi dell’ambiente. Ultimi, ma non meno importanti, gli impianti sono pensati al fine di garantire e massimizzare il risparmio energetico e il comfort abitativo grazie al ricambio continuo ed automatico dell’aria, il recupero del calore dall’aria estratta e, più in generale, assicurano il miglioramento delle prestazioni energetiche dell’edificio.

## Caratterizzazione ambientale

Dall’analisi bioclimatica del sito oggetto dell’intervento, San Teodoro, nei pressi di Marsala in Provincia di Trapani, sono stati dedotti i dati climatici (giorno più caldo e più freddo) e sono stati individuati i venti prevalenti. San Teodoro si trova nella seconda delle sei zone climatiche del territorio italiano, Zona Climatica B, ed è caratterizzata da 751 Gradi-Giorno (GG). Presenta temperature miti nei mesi invernali e estati calde e prolungate, il Maestrale e il Ponente sono i venti che maggiormente interessano il posto; sin dai tempi di Cicerone viene descritta come “Pulcherrima sed ventosa” ovvero bellissima, ma molto ventosa.

Il concept di progettazione si ispira al luogo di straordinaria bellezza identificato dalla laguna, la più estesa della Sicilia, nel tratto di mare compreso tra Punta Alga e Capo San Teodoro: caratterizzata da acque molto basse e molto salate dalle quali si estrae il sale. Spiccano, tra queste, alcuni edifici per la produzione del sale che presentano caratteristiche costruttive tipiche dell’edilizia siciliana che si distinguono per i tetti spioventi con tegole in laterizio. Questa particolarità costruttiva è stata presa in considerazione come punto di partenza definendo un determinato *modus operandi*.

Il lotto assegnato si estende in direzione est-ovest: si affaccia, ad ovest, sul mare mentre ad est, il suo prolungamento, tocca l’entroterra.

Seguendo un processo compositivo modulare, il lotto, è stato suddiviso in grandi “vasche” che riprendono il paesaggio circostante delle saline trapanesi. L’edificio presenta un’alternanza di pieni e vuoti che determinano una serie di spazi utilizzati per migliorare il comfort esterno. Si articolano, infatti, da ovest ad est vasche d’acqua per il raffrescamento passivo, la piscina, l’orto, l’agrumeto e, in ultimo, il garage. La casa segue lo stesso orientamento del lotto e, internamente, consta di 91 m<sup>2</sup> suddivisi in cucina-

soggiorno, due bagni, due camere da letto e un locale tecnico per gli impianti.

## Valutazioni energetiche

Due vasche d'acqua introducono, da ovest, l'ingresso al lotto e precedono la casa unifamiliare; la loro collocazione non è casuale ma sfrutta la presenza e l'orientamento dei venti caratteristici del luogo, generando un raffrescamento passivo che arriva anche all'interno dell'edificio in modo da contribuire alla riduzione del calore. Il principio di funzionamento sfrutta l'evapotraspirazione degli specchi d'acqua a pelo libero che in estate i tendono ad essere sempre più freschi degli ambienti vicini, ragion per cui è possibile ottenere un effetto di raffrescamento da evaporazione, secondo un processo adiabatico.

Il secondo meccanismo passivo individuato e pensato in combinazione a queste è stato il camino solare in posizione centrale rispetto alla distribuzione dell'edificio che, durante la stagione più calda, in relazione con la grande vetrata caratterizzata da infissi a taglio termico da  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , garantisce la circolazione d'aria all'interno dei diversi ambienti della casa. Il suo funzionamento è stato dimostrato grazie alle analisi svolte con *Ansys Fluent*, software di fluidodinamica (versione di prova), anche nei giorni con poca ventilazione o particolarmente caldi dell'anno (fig. 1).

Successivamente la modellazione BIM, attraverso il software *Revit* e alcuni tools online (versione gratuita), ha permesso di verificare le scelte progettuali effettuate considerando, in particolare, l'esposizione di "Casa Salina" rispetto al posizionamento delle schermature solari dell'edificio. Il tetto spiovente e prolungato, in maniera più accentuata, a sud e sud-ovest garantisce, inoltre, una protezione solare soprattutto nei mesi estivi e nelle ore più calde della giornata riducendo, al contempo, l'apporto termico delle zone interne, ad est, un frangisole favorisce la schermatura durante le prime ore del giorno in corrispondenza delle camere da letto.

Sono state, inoltre, effettuate delle valutazioni sulla distribuzione della vegetazione all'interno del lotto da utilizzare per migliorare le condizioni microclimatiche grazie alla riduzione dell'incidenza solare per effetto dell'ombreggiamento vegetale sulle aree esposte a sud, est e ovest.

Per la porzione nord del lotto è stata pensata una schermatura vegetale di Cipressi che garantisce un rallentamento dei venti freddi provenienti da nord-ovest e, al contempo, l'apparato radicale a fittone delle piante contrasta i dissesti strutturali nella porzione della piscina e in prossimità dell'edificio. Il lotto è stato piantumato con diverse specie della macchia mediter-

ranea: fichi d'india, magnolie, palme nane, limoni, ulivi, ecc., che possono resistere alle temperature molto alte della stagione estiva, così come a quelle più rigide della stagione invernale.

Attraverso il software *Daylight Visualizer* è stato valutato il valore del fattore di luce diurna della luminanza e dell'illuminanza all'interno degli ambienti della casa nelle condizioni più sfavorevoli in riferimento al DM Sanità del 5 luglio 1975 che stabilisce i requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione: secondo quanto previsto all'Art. 5 per ciascun locale di abitazione è necessario un fattore di luce diurna medio non inferiore al 2% (fig. 2).

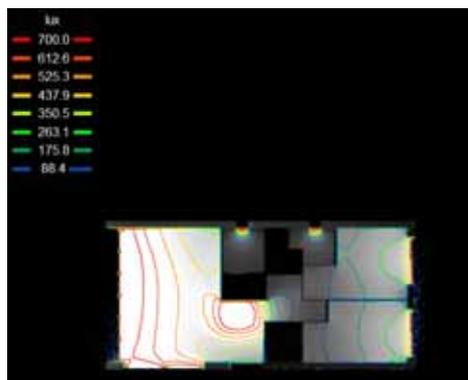


Figura 2 – Prova illuminanza, realizzato con *DayLight Visualizer*, tratto dalla tesi del Master.

Le analisi energetiche sono state supportate da approfondimenti tecnologici e calcoli strutturali di verifica. La struttura portante è caratterizzata da pareti perimetrali portanti in cemento armato con casseri in EPS, isolamento termico a cappotto con pannelli in canna palustre con finitura a intonaco termoisolante con sfere in termoceramica, la copertura, di colore bianco per ridurre l'irradiazione solare, ha una struttura in lastre predalles collaboranti a travi in acciaio di tipo IPE 100. Anche le pareti interne sono realizzate con sistemi costruttivi a secco in modo da poter variare la stratificazione degli elementi in relazione alle diverse esigenze spaziali e termiche e agevolare e rendere flessibile il passaggio dell'impiantistica.

Gli impianti di adduzione di acqua calda sanitaria, la caldaia a condensazione e i pannelli radianti combinati alla ventilazione meccanica controllata rispondono alle attuali richieste normative contribuendo al raggiungimento di elevati standard.

Anche la pavimentazione esterna è stata predisposta con conglomerato cementizio per pavimentazioni continue con altissima capacità drenante per

garantire l'assorbimento dell'acqua e il suo riutilizzo per irrigare la vegetazione del lotto.

*Casa Salina*, grazie alla combinazione di scelte progettuali, risponde a una valutazione energetica conclusiva con un Attestato di Prestazione Energetica (APE) che raggiunge la classe energetica di tipo A4 caratterizzando l'edificio come nZEB.

## Riferimenti bibliografici

- AA.VV. (1994), *Manuale di progettazione bioedilizia*, vol. 2° e 3°, Hoepli, Milano.
- Angioni G., Sanna A. (1996), *L'architettura popolare in Italia. Sardegna*, Laterza, Bari.
- Bartoli B. (2010), *La casa passiva: standard energetici per un abitare ecologico*, Esselibri, Napoli.
- Benedetti C. (1978), *L'energia del sole. Tecnologie ed applicazione in architettura*, Edizioni Kappa, Roma.
- Benedetti C. (1994), *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Bottero M., Rossi G., Scudo G., Silvestrini G. (1984), *Architettura solare: tecnologia passiva e valutazione costi-benefici*, CLUP, Milano.
- Bouvet D., Montacchini E. (2007), *La vegetazione nel progetto. Uno strumento per la scelta delle specie vegetali*, Sistemi Editoriali-Edizioni Simone, Napoli.
- Butera F. M. (2007), *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Cucumo M. A., Marinelli V., Oliveti G. (1994), *Ingegneria solare. Principi ed applicazioni*, Pitagora Editrice, Bologna.
- De Santoli L., Mariotti M. (2011), *La ventilazione naturale: il moto naturale dell'aria per il controllo delle condizioni ambientali*, Flaccovio Editore, Palermo.
- Fassi A., Maina L. (2009), *L'isolamento ecoefficiente. Guida all'uso dei materiali naturali*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Giaccone A., Rizzo G. (1987), *La progettazione termica degli edifici con il personal computer*, FrancoAngeli, Milano.
- Grassi W. (2014), *Termoenergetica dell'edificio: la radiazione solare*, ILMIOLIBRO self publishing.
- Grosso M. (1997), *Il raffrescamento passivo degli edifici, in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, Rimini.
- Radi V. (2011), *Edifici a risparmio energetico nelle regioni mediterranee*, Maggioli Editore, Rimini.
- Scarano A. (2006), *Identità e differenze nell'Architettura del mediterraneo*, Gangemi editore, Roma.

# Materiali naturali per l'isolamento termico

di Flavia Barbera

## Obiettivi

Per garantire il massimo livello di comfort raggiungibile con il minor impatto ambientale sono stati confrontati diversi sistemi di isolamento termico tra alcune tipologie di pannelli isolanti realizzati anche con materiali naturali con lo scopo di effettuare una scelta ragionata.

Le prestazioni energetiche sono state determinate mediante prove effettuate in laboratorio e convalidate da un organismo di certificazione di prodotto, secondo quanto previsto dalla normativa europea.

## Metodologia

Non è sufficiente analizzare e classificare i diversi materiali isolanti naturali in base alla loro trasmittanza termica o al costo, si rende necessario approfondire sia la fase di utilizzo che quella di smaltimento per poter verificarne il bilancio ecologico. Durante il periodo di vita utile si evidenziano aspetti che rendono tali materiali differenti da altre tipologie di prodotto edilizio e per questo richiedono una particolare attenzione.



Figura 1 – Schema delle tipologie di isolanti, © F. Barbera.

Quello che viene definito LCA (Life Cycle Assessment) e i fattori di rischio sono suddivisi nelle seguenti fasi: approvvigionamento delle materie prime; processo produttivo; lavorazione e messa in opera; esercizio. La valutazione di questi fattori è estremamente difficile, poiché deve tener conto di aspetti tra loro assai diversi. L'analisi effettuata è stata di tipo qualitativo. Si sono voluti individuare i fattori di rischio più significativi per i diversi materiali in modo da comporli in una tabella comparativa.

Per quanto riguarda i valori relativi al consumo di energia utilizzata per la realizzazione di un dato materiale isolante o prodotto finito questi sono dati dalla somma delle quote di energia spese per l'approvvigionamento delle materie prime, il trasporto delle materie prime al luogo di produzione, il processo produttivo per la realizzazione del materiale e il trasporto e la distribuzione del materiale fino al luogo in cui verrà messo in opera.

Dal grafico si evince come la canna palustre sia nettamente più conveniente perché quasi del tutto priva di consumo di energia primaria. Lo stesso ragionamento non può essere effettuato per il poliuretano espanso che presenta valori di consumo di energia primaria troppo alti per considerarlo un buon prestante da utilizzare per questi fini. Inoltre, per quanto riguarda la valutazione economica il costo di un materiale in termini di denaro incide fortemente sulla scelta, ma non dev'essere il parametro prioritario proprio in relazione al fatto che il supplemento di spesa dovuto alla realizzazione di un buon isolamento termico viene in breve tempo compensato da un notevole risparmio sulle spese di climatizzazione. Contribuisce alla realizzazione di un ambiente di tipo salubre e, infine, un materiale isolante con basso impatto ambientale, contribuisce, seppur in minima parte, ad un risparmio sui costi ambientali. La tipologia più costosa è generalmente quella degli isolanti termici naturali di origine vegetale.

## **Scelta del pannello isolante**

Il materiale e lo spessore, infatti, incidono sulla capacità isolante del pannello, poiché cambiano fattori come la conducibilità termica, ovvero la quantità di calore che viene trasferita attraverso l'isolante. Se un pannello ha un basso valore  $\Lambda$  ("λ" – si misura W/mK) significa che ha un ottimo potere isolante, a garanzia che sia assicurato il miglior comfort interno nelle diverse condizioni di temperature esterna. Altre attenzioni nella scelta del pannello riguardano la resistenza meccanica, l'inerzia termica, la traspirabilità e l'impermeabilità. Generalmente, si valutano anche le proprietà di isolamento acustico, in modo da poter ottenere due vantaggi applicando un solo materiale. Un buon materiale isolante deve essere in grado di accumulare calore cedendolo lentamente: è un processo definito "sfasamento" e si riferisce al tempo che impiega l'onda termica per passare dall'esterno all'interno. Maggiore è lo sfasamento, più sarà rilasciato con lentezza il calore assorbito dal materiale. La scelta dei materiali isolanti da utilizzare per l'isolamento tecnico è ricaduta su quelli che presentavano la minor conducibilità termica in relazione al minor impatto ambientale. Questi sono le lane naturali, i vetri cellulari, la fibra di

cocco, di vetro, di roccia e ancora più nel dettaglio è stato analizzato il ciclo di vita qualitativo della canna palustre e del sughero.

In particolare, la canna palustre (*Phragmites communis*) fa parte della famiglia delle Graminacee, proveniente da laghi e zone paludose. Le canne vengono compresse e legate meccanicamente con filo di ferro zincato o filo di nylon, tenendo insieme il pacchetto da parte a parte senza rompere le cavità interne che rimangono integre. I pannelli di canna palustre trovano applicazione in rivestimenti interni ed esterni rifiniti a intonaco o rivestimenti in legno, nei solai e nelle coperture di strutture in legno, in soffitti e controsoffitti, in pareti divisorie interne. I pannelli sono riutilizzabili se vengono smontati interi, altrimenti, eliminato il filo di ferro, possono essere inceneriti o compostati in quanto totalmente biodegradabili.

Per quanto riguarda il sughero si ottiene dalla corteccia della quercia da sughero, pianta che cresce nell'area mediterranea. La bollitura rende le cortecce più elastiche e più facilmente lavorabili. Queste vengono poi frantumate e macinate in appositi mulini. I pannelli di sughero sono ottenuti dalla cottura dei granuli in forni ad alta pressione e ad alta temperatura che fanno sì che la suberina contenuta nei granuli si scioglia e migri in superficie, realizzando il processo naturale di agglomeramento e saldatura tra i singoli granuli, senza aggiunta di ulteriori collanti. Si ottengono pani o blocchi successivamente raffreddati e tagliati in lastre di diverso spessore. Il processo di espansione, detto anche "tostatura", determina il caratteristico colore bruno; il rigonfiamento dei granuli con conseguente l'alleggerimento del prodotto e una minor resistenza a compressione. Il sughero naturale senza collanti è riutilizzabile, riciclabile e compostabile.

Svantaggio di questo processo sono le alte temperature dei forni di cottura. Inoltre, il materiale ha un tempo di rigenerazione molto lungo che lo contraddistingue come materiale pregiato e quindi economicamente poco conveniente.

# **Analisi costi-benefici e confronto di finiture termoisolanti per l'incentivo fiscale dell'ecobonus**

di *Luisa Lombardo*

## **Obiettivi**

Si è valutata l'incidenza di una finitura termoisolante in un intervento di Superbonus al 110% e dimostrato la sua efficacia rispetto ad una finitura tradizionale. L'involucro edilizio svolge una funzione cardine per il suo isolamento rispetto all'ambiente circostante e l'intonaco, in particolare, è la pelle dell'edificio, il suo rivestimento, ed è responsabile della sua protezione.

## **Metodologia**

Trovandoci in una porzione di territorio come San Teodoro, scarsamente popolata e caratterizzata al più da ruderi a ridosso della costa, è stato particolarmente interessante ricondurre il caso studio di "Casa Salina" come un possibile intervento dato dalla combinazione dei due incentivi fiscali introdotti con il nuovo Decreto Rilancio n. 34/2020: sismabonus ed ecobonus. Questi prevedono una detrazione fiscale fino al 110% per interventi di riqualificazione energetica e di riduzione del rischio sismico del patrimonio edilizio esistente. Nel caso specifico si approfondirà lo studio delle finiture applicate all'isolamento termico a cappotto come previsto da uno degli interventi trainanti della detrazione.

Dopo alcune considerazioni preliminari e dopo aver individuato l'edificio come abitazione adibita a residenza con carattere continuativo si è deciso di intervenire con una ristrutturazione di I livello che interessa per più del 50% la superficie lorda disperdente dell'involucro edilizio.

L'iter procedurale seguito ha tenuto conto della conformità urbanistica e catastale, considerato uno studio di prefattibilità con la redazione di un APE pre-intervento, il successivo studio delle dispersioni presenti allo stato dell'arte e, una volta scelti gli interventi, si è redatto un APE post-intervento per verificare il salto di due classi energetiche; ultimo step obbligatorio per accedere alla detrazione fiscale. Verificato anche, tramite un rapido computo metrico di massima il rispetto dei massimali ed appurato la rispondenza delle verifiche dell'Ex Legge 10 si è finalmente giunti all'asseverazione dell'intervento proposto.

Avendo svolto lo stage presso un'azienda la cui produzione riguarda principalmente le finiture termoisolanti si è lo studio su queste ultime valutando la loro incidenza energetica ed economica e sviluppando, in ultima battuta, un'analisi costi-benefici anche con altre finiture presenti in commercio. Trattandosi di una villetta a ridosso del mare, si è pensato di accostare ad un valore prettamente energetico, dato dalla composizione della finitura termoisolante in microsferi in ceramica, anche

una caratteristica intrinseca funzionale, caratterizzato da additivi atti a respingere la salsedine che spesso e volentieri contribuisce al degrado del patrimonio edilizio.

Le finiture termoisolanti sono prodotti tecnologicamente avanzati e al più sostenibili, con prestazioni molto avanzate date dall'aggregazione di inerti, additi e fillers pensati *ad hoc* per migliorare la loro prestazione e, inoltre, sono anche caratterizzate da spessori molto ridotti. Costituite da tre strati differenti: il rasante termico, prodotto pensato per regolarizzare la superficie del supporto, il primer termico per garantire l'aderenza dello strato finale, dunque, dell'idropittura termica che dona un aspetto gradevole in ultima battuta.

Caratterizzate da additivi, inerti e granulati specifici sulla base della loro composizione chimica concepita e riformulata in linea con gli standard attuali, conferiscono al supporto flessibilità creativa, durezza, resistenza ai raggi UV, alla pioggia e garantiscono una grande resistenza alle condizioni climatiche anche più avverse, sono riparabili e garantiscono prestazioni strutturali affidabili oltre che ottime capacità energetiche di isolamento. Rispetto ad una finitura tradizionale costituita da rinzaffo, arriccio e intonachino che raggiunge il più delle volte i 2/3 cm finali, le finiture termoisolanti hanno spessori molto sottili, sono prodotte e vengono scelte ed applicate per garantire il decremento del valore di trasmittanza del supporto parietale del 10% con un'incidenza economica che varia dal 5 al 10% sul massimale di coibentazione di 50.000 euro previsti a fronte di monte spesa complessivo di 96.000 euro per le case unifamiliari.

Questi valori sono stati ricavati da una serie di analisi termiche svolte grazie al software gratuito *Termus-G* dell'Acca in relazione alla classificazione e all'abaco delle pareti perimetrali verticali come da UNI/TR 11552:2014 che ha visto applicata la finitura in esame su diversi supporti parietali coibentati con uno strato intermedio di isolante con valori intermedi tra quelli attualmente in commercio.

L'incidenza economica, invece, è stata dedotta facendo un computo metrico estimativo del materiale scelto analizzando un caso studio analogo, una villetta unifamiliare a Mondello con al più le medesime caratteristiche dimensionali e gli stessi valori relativi alla zona climatica di riferimento: la Zona B.

Una volta determinati tali valori è stato poi possibile approfondire l'analisi sulle finiture svolgendo una ricerca di mercato di prodotti sostenibili e con caratteristiche simili in commercio in Italia sulla base di due parametri fondamentali: trasmittanza e costo al m<sup>2</sup>. L'analisi dei prezzi al m<sup>2</sup> è stata calcolata considerando gli operai necessari per la singola lavorazione, i materiali, gli attrezzi, le spese generali, l'utile dell'impresa e, infine, il costo del trasporto.

## Risultati

In ordine di stratificazione sono stati analizzati il rasante termico, il primer termico e l'idropittura termica.

Dall'analisi del rasante termico (fig. 1) scelto in sfere termoceramiche, aerogel e resine acriliche è risultato più prestante energeticamente l'aerogel, ma meno costoso quello contenente le sfere di ceramica. Il primer termico (fig. 2) scelto tra resine

terpoliacriliche, microsferi di vetro e polimeri è stato l'ultimo per un costo nettamente inferiore rispetto agli altri due (il primer non ha caratteristiche termiche, fonde solo da collante).

Per quanto riguarda l'idropittura (fig. 3), invece, tra microsferi termoceramiche, nanocariche e microsferi di vetro le nanocariche sono risultate vincenti per l'isolamento termico in quanto posseggono bassissimi valori di trasmittanza, ma le microsferi termoceramiche, ancora una volta, hanno restituito un basso contributo economico a fronte degli altri due.

La scelta definitiva ha tenuto conto di entrambi i fattori per una scelta oculata e calzante con l'incentivo preso in esame. Dalle analisi svolte si evince come una finitura termoisolante costituita da sfere termoceramiche sia ottimale sia dal punto di vista energetico che da quello economico e, quindi, presenta un ottimo rapporto qualità/prezzo. Dunque, perché scegliere, più in generale, una finitura termoisolante? Per i suoi ottimi valori di risparmio energetico, per la diminuzione del valore di trasmittanza termica del supporto parietale di almeno il 10%, per l'alta sostenibilità dei materiali, l'elevato isolamento termico, l'eliminazione di muffa e condensa così come dei ponti termici e, ultimo, ma non meno importante per la sua versatilità di applicazione.

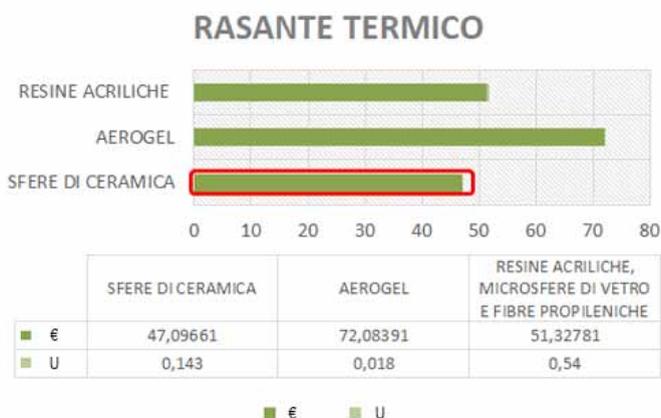


Figura 1 – Analisi, studio e confronto economico e del parametro di trasmittanza di tre rasanti termici analizzati. © L. Lombardo.

La scelta definitiva ha tenuto conto di entrambi i fattori per una scelta oculata e calzante con l'incentivo preso in esame.

Dalle analisi svolte si evince come una finitura termoisolante costituita da sfere termoceramiche sia ottimale sia dal punto di vista energetico che da quello economico e, quindi, presenta un ottimo rapporto qualità/prezzo. Dunque, perché scegliere, più in generale, una finitura termoisolante? Per i suoi ottimi valori di risparmio energetico, per la diminuzione del valore di trasmittanza termica del supporto parietale di almeno il 10%, per l'alta sostenibilità dei materiali, l'elevato isolamento termico, l'eliminazione di muffa e condensa così come dei ponti termici e, ultimo, ma non meno importante per la sua versatilità di applicazione.

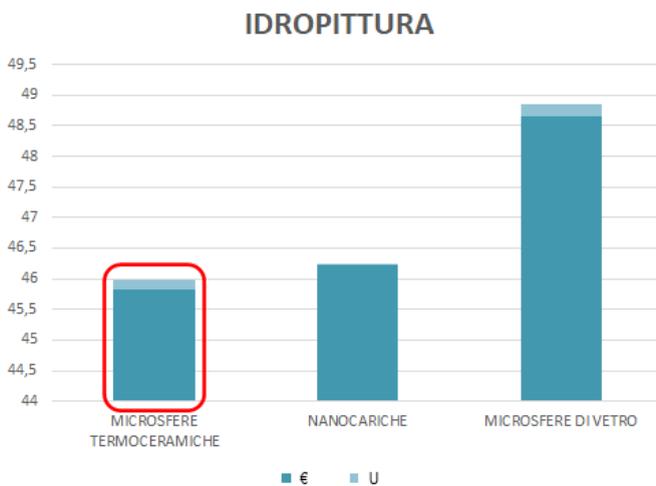


Figura 2 – Analisi, studio e confronto del parametro di trasmittanza di tre idropitture termiche analizzate. © L. Lombardo.

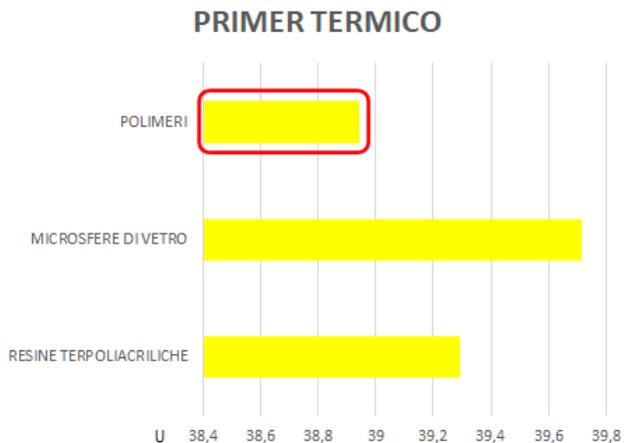


Figura 3 – Analisi, studio e confronto della trasmittanza termica dei Primer Termici in commercio. © L. Lombardo.

# Analisi termiche e confronto tra elementi tecnici innovativi e tradizionali

di Salvatore Marinaro

## Obiettivi

Definendo sistema di chiusura verticale, *“l’insieme delle unità tecnologiche e degli elementi del sistema edilizio aventi la funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio rispetto all’esterno”*. Sono stati analizzati i diversi sistemi di chiusura perimetrale verticale, confrontando sistemi innovativi e tradizionali con lo scopo di effettuare una scelta ragionata a garantire il massimo livello di comfort raggiungibile.

## Metodologia

Studiato il sito, le condizioni climatiche del luogo, e l’incidenza della radiazione solare si è proceduto con lo studio della normativa di riferimento in modo da poter effettuare scelte congrue per il raggiungimento dell’obiettivo prefissato. Il D.Lgs: 311/06 (All. I art. 9) impone, *“al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nel caso di edifici di nuova costruzione [...]”*, che *“in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, [...] il valore della massa superficiale  $M_s$  delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a  $230 \text{ kg/m}^2$ ”*. Nel caso in cui l’elemento tecnico non riesca a soddisfare questo requisito, il DM 26/06/2015 prevede, l’utilizzo di elementi tecnici innovativi. Sono state effettuate delle simulazioni termiche, rispettivamente utilizzando sistemi tradizionali e innovativi per ciascuna delle categorie presenti. L’iter procedurale inizia con la scelta della stratigrafia, definendo i singoli strati che comporranno l’elemento tecnico. Si valuta la Massa superficiale, che secondo il D.Lgs. 311/06 è maggiore di  $230 \text{ kg/m}^2$  si procede con la valutazione della trasmittanza termica, viceversa si valuta la trasmittanza termica periodica. In tutte e due i casi, il valore di trasmittanza deve risultare inferiore al massimo imposto dal decreto requisiti minimi, rispettivamente  $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$  per la trasmittanza termica e  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  per la trasmittanza termica periodica, valori massimi riferiti alla zona climatica presa in considerazione. Soddisfatto infine quest’ultimo parametro, si conclude con la valutazione di eventuale condensa interstiziale. Qualora uno dei su citati parametri non viene soddisfatto, si interverrà sulla stratigrafia, aumentando o sostituendo qualche strato. Di seguito uno schema per illustrare più chiaramente la procedura.

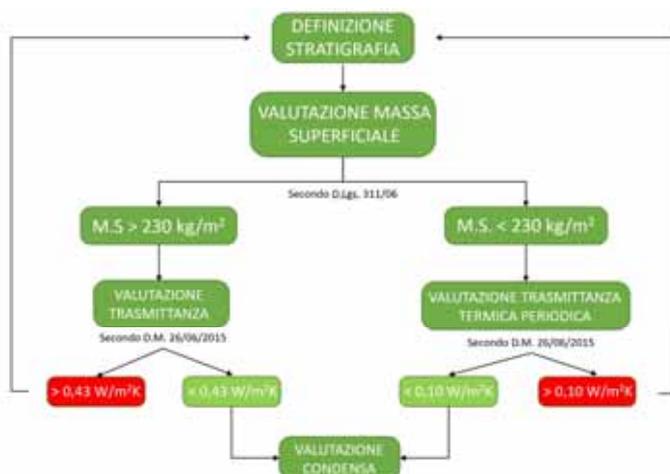


Figura 1 – Mappa dell'iter procedurale per il controllo della stratigrafia.  
© S. Marinaro.

## Simulazioni

Le simulazioni sono state effettuate attraverso il software Termus-G di Acca che permette il calcolo dei parametri utili per la valutazione termica dei singoli elementi tecnici. Si assembla l'elemento tecnico, strato per strato, inserendo i dati di input relativi: spessore [mm], conducibilità termica [W/mK], conduttanza unitaria [W/m²K], massa superficiale [kg/m²], calore specifico [J/kgK], resistenza termica [m²K/W]. Successivamente, vengono impostate le condizioni al contorno, ovvero: temperatura esterna [°C], umidità relativa esterna [%], gradi giorno, velocità del vento [m/s], temperatura esterna [°C].

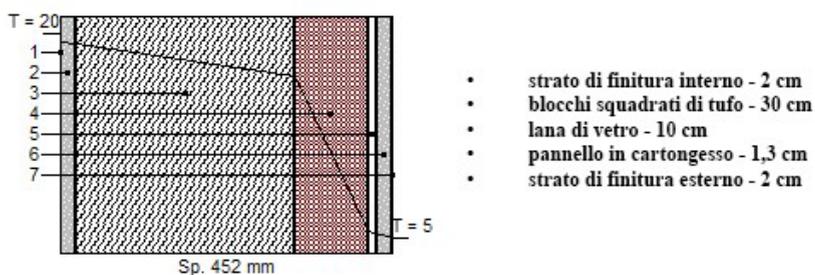


Figura 2 – Calcolo della trasmittanza termica della parete portante con blocchi di calcarenite squadrati e uno strato esterno di isolamento in lana di vetro, realizzato con software TerMus. © S. Marinaro.

Avendo inserito tutti i dati di input si procede con le diverse simulazioni. La parete portante è stata ipotizzata con dei blocchi di calcarenite squadrati e uno strato

esterno di isolamento in lana di vetro. Utilizzato per realizzare strutture portanti, ha la capacità di trasmettere solidità, forza e naturalezza.

### Parete portante con casseri in EPS

Il sistema è basato su elementi che, mutuamente e velocemente collegati tra di loro, realizzano una casseratura in polistirene atta a ricevere il getto in calcestruzzo e a portarlo a maturazione. La tecnologia, caratterizzata dalla presenza dell'EPS sulle superfici interne ed esterne, consente agli edifici di eliminare totalmente le dispersioni termiche dell'involucro.

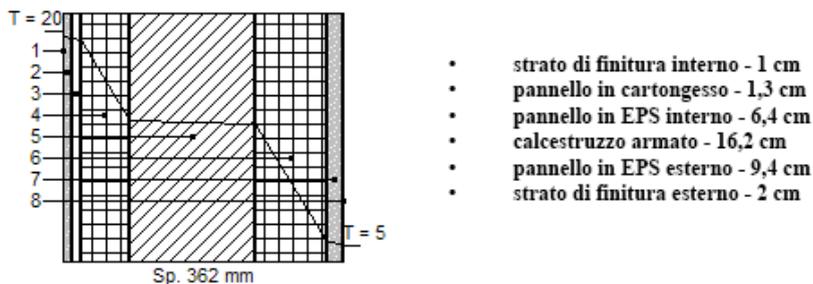


Figura 3 – Calcolo della trasmittanza termica della parete portante con casseri in EPS, realizzato con software TerMus. © S. Marinaro.

### Parete perimetrale verticale in laterizio

La parete perimetrale verticale in laterizio è costituita da blocchi preassemblati in laterizio, tra i quali viene interposto uno strato di materiale isolante. La presenza di uno strato isolante tra i due elementi costruttivi in laterizio permette la realizzazione di un taglio termico completo.

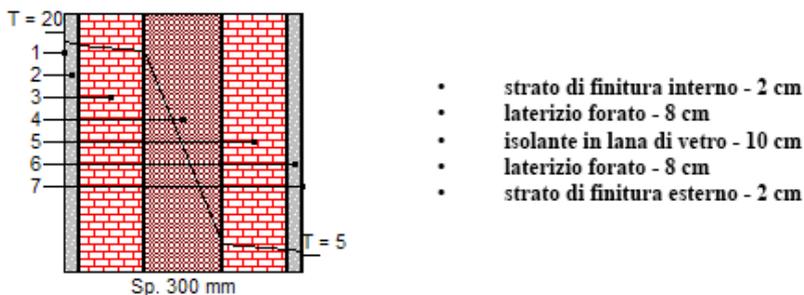


Figura 4 – Calcolo della trasmittanza termica della parete verticale di tamponamento tradizionale, realizzato con software TerMus. © S. Marinaro.

### Parete perimetrale verticale assemblata a secco

L'involucro, assemblato a secco, è costituito da elementi di rivestimento assemblati fra loro con giunzioni a secco. Tra i molti vantaggi quello di poter inserire numerosi e differenti strati di materiali, isolanti e portanti, in modo da aumentare notevolmente le caratteristiche termiche della parete.

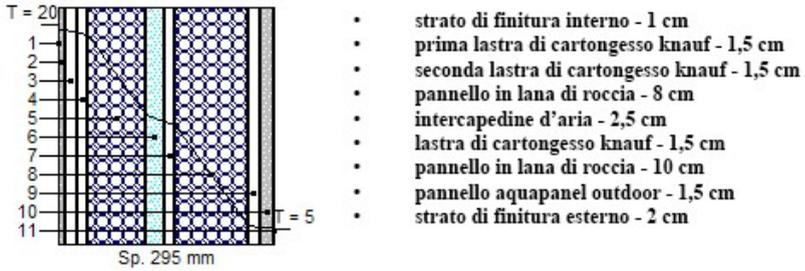


Figura 5 – Calcolo della trasmittanza termica della parete perimetrale verticale assemblata a secco, realizzato con software TerMus. © S. Marinaro.

## Risultati

Confrontando infine i dati di output dei diversi elementi tecnici si evince come gli elementi più performanti da un punto di vista termico sono quelli innovativi, con valori di trasmittanza termica e trasmittanza termica periodica inferiori rispetto a quelli tradizionali.

## **Analisi e dimensionamento del sistema impiantistico idrotermosanitario**

di *Francesca Maria Noto*

È noto che il primo passo per ridurre consumi e dispersioni energetiche sia sicuramente raggiungere livelli di isolamento efficaci. Difatti, la progettazione di un buon involucro termico per “Casa Salina” ha permesso di poter sfruttare al meglio le tecnologie impiantistiche oggi presenti sul mercato. Dunque, progettare secondo i principi di bioclimatica significa raggiungere il comfort e il risparmio energetico anche grazie ai sistemi impiantistici adottati.

L’obiettivo principale della progettazione di “Casa Salina” era quello di rendere l’edificio energeticamente sostenibile ed il più vicino possibile ai canoni di una costruzione nZEB. Ecco perché i punti-chiave di questa progettazione sono stati:

- La riduzione delle fonti energetiche esterne per rendere l’edificio il più possibile “auto-sufficiente”: la forma energetica, l’orientamento e le caratteristiche dell’involucro (pareti, solai, finestre, ecc.) devono essere valutate in maniera accurata;
- La progettazione del comfort estivo, con superfici vetrate e schermature solari attentamente ideate;
- La riduzione delle perdite per trasmissione prevedendo un elevato isolamento di tutte le strutture disperdenti;
- L’installazione di un sistema di Ventilazione meccanica controllata (VMC) con recupero di calore che possa garantire il corretto ricambio di aria interno agli ambienti;
- La riduzione delle perdite per ventilazione prevedendo un elevato controllo della tenuta all’aria e al vento dell’involucro, raggiungibile con una corretta posa in opera dei serramenti, con la correzione dei ponti termici, ecc.
- La corretta valutazione del sistema impiantistico che massimizzi il ricorso a fonti energetiche rinnovabili.

### **Obiettivi**

Se, dunque, la riduzione dei fabbisogni energetici dell’edificio è il primo obiettivo di una costruzione ambientale sostenibile ed energeticamente sensibile, l’utilizzo di sistemi impiantistici moderni e performanti e che fa il più ampio uso di energie rinnovabili è il passo successivo.

Qui di seguito infatti vengono riportati le analisi e il dimensionamento di massima dei sistemi impiantistici progettati per “Casa Salina”.

## Metodologia

È stato dimensionato l'impianto di adduzione di acqua sanitaria, determinando i diametri delle tubazioni che compongono la rete di distribuzione dell'acqua calda e fredda, applicando il metodo di calcolo delle Unità di Carico (UC) secondo la norma UNI 9182 per la determinazione delle portate massime contemporanee.

Dal punto di vista commerciale è stato scelto un sistema di tubazioni in PE-Xc reticolato elettronicamente con raccordi di transizione e le valvole realizzati in bronzo. Tutti i materiali del sistema sono sicuri dal punto di vista igienico, grazie al passaggio totale del raccordo senza punti di ristagno rendendolo resistente alla proliferazione di batteri e legionella, oltre che da un'elevata resistenza alla corrosione soddisfacendo tutti i requisiti di legge.

Come sistema di generazione di calore per "Casa Salina" è stata scelta una pompa di calore aria-acqua.

Essa è in grado di climatizzare gli ambienti e produrre acqua calda sanitaria in maniera sostenibile perché sfrutta una fonte rinnovabile gratuita: cattura, dunque, il calore presente nell'aria esterna e la trasferisce mediante un ciclo frigorifero all'acqua dell'impianto di riscaldamento, a fronte di un consumo abbastanza contenuto di energia elettrica.

Non bruciando fonti fossili, una pompa di calore non emette CO<sub>2</sub> né altre sostanze inquinanti.

Questo sistema riesce a rendere all'impianto molta più energia di quella che consuma, con un'efficienza che varia al variare delle temperature di lavoro.

Dal punto di vista commerciale è stata scelta una pompa di calore da abbinare ai pannelli radianti a pavimento, per ottenere il massimo comfort domestico in fase di riscaldamento e in fase di raffrescamento, aggiungendo anche un impianto solare fotovoltaico e consumando l'elettricità auto-prodotta per alimentare la pompa di calore, abbattendo notevolmente i costi e le emissioni ottenendo una perfetta ecosostenibilità.

Con un generatore a pompa di calore, con una efficienza che varia al variare delle temperature di lavoro, dunque si avrà un consumo notevolmente più basso se lavorerà con un impianto a bassa temperatura come un pavimento a pannelli radianti.

Come sistema di riscaldamento per "Casa Salina" è stato scelto un impianto a pannelli radianti a pavimento.

In particolare, questa tipologia, proprio per la specifica posizione dei pannelli, cede calore soprattutto per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento.

Rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali si può avere un notevole risparmio energetico per il minor gradiente termico tra pavimento e soffitto (maggiori risparmi si hanno in relazione alla maggiore altezza dei locali) e certamente contribuiscono sia l'uso di temperature più basse, che riduce e dispersioni lungo le tubazioni, sia la mancanza di moti di convezione d'aria calda su superfici vetrate e la mancanza di dispersioni e surriscaldamento delle pareti poste dietro i radiatori. Poiché è stato adottato l'impianto a pannelli radianti sia in funzionamento invernale che estivo, è stato scelto un interasse di posa delle tubazioni di 10 cm per garan-

tire la massima resa possibile, anche in modalità di raffrescamento. Il sistema di posa a spirale privilegia l'uniformità di temperatura della superficie alternando una tubazione di mandata con una di ritorno, consentendo salti termici limitati in ogni punto dell'ambiente.

Coibentazione interna di qualità, serramenti con elevate prestazioni e ponti termici ridotti al minimo determinano una riduzione del fabbisogno energetico, compromettendo però anche la salubrità degli ambienti. Ambienti poco ventilati che determinano un tasso di umidità più alto, favoriscono la formazione e concentrazione di muffe, acari, funghi, batteri ed inquinanti.



Figura 1 – Schema disposizione impianto radiante. © F. M. Noto.

La soluzione è un sistema di ricambio aria “forzato” in funzione 24h, tutto l’anno, che sostituisce l’apertura manuale delle finestre con la possibilità di controllare le portate d’aria limitando al minimo indispensabile il ricambio, quindi gli sprechi di energia e migliorando sensibilmente la qualità dell’aria, la ventilazione meccanica controllata.

È presente un’unica unità di trattamento che conferisce all’aria le caratteristiche termiche ed igroscopiche desiderate e mediante un ventilatore permette la distribuzione della stessa in tutte le stanze.

Lo scambiatore di calore altamente efficiente consente di recuperare fino al 98 % del calore contenuto nell’aria espulsa dagli ambienti.

Grazie a questo si possono ottenere notevoli risparmi di energia rispetto a quando il ricambio d’aria viene effettuato unicamente tramite apertura delle finestre o infiltrazione d’aria. La strategia impiantistica, scelta in relazione alla volontà di raggiungere un’elevata efficienza energetica dell’edificio, prevede l’installazione di un impianto di ripresa dell’aria esausta da locali umidi (come bagni e cucina), in modo da poter recuperare, sia durante la fase invernale sia quella estiva, tramite lo scambiatore di calore entalpico, parte della temperatura e del contenuto di vapore d’acqua dell’aria in espulsione.

Questa soluzione assicura un abbattimento consistente della potenza delle batterie di riscaldamento e di raffrescamento con un notevole risparmio energetico. Grazie all'elettronica intelligente e al sensore di umidità permette di ottimizzare le condizioni di umidità degli ambienti, in particolare nei periodi invernali quando l'aria esterna più fredda e secca può determinare un'eccessiva deumidificazione.

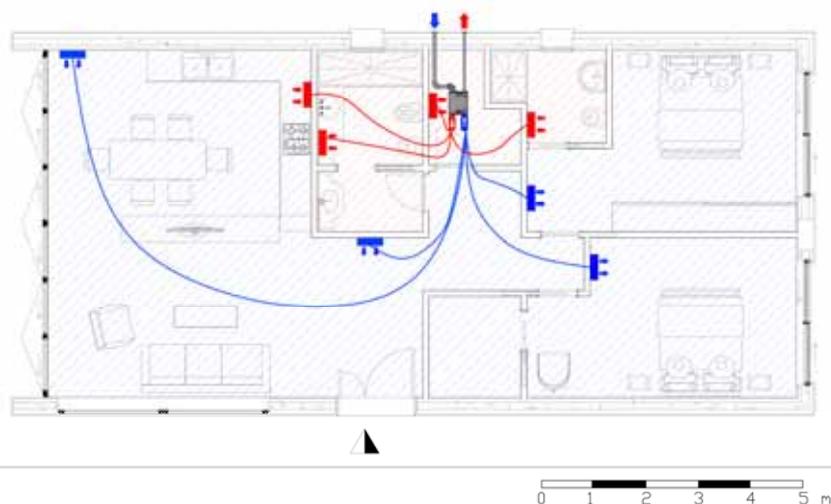


Figura 2 – Schema impianto di ventilazione meccanica controllata. © F. M. Noto.

## Risultati

Il risparmio energetico e il raggiungimento della massima efficienza possibile per “Casa Salina” sono stati i punti fondamentali della sua progettazione. È ormai riconosciuto che la quantità di energia utilizzata per il riscaldamento, raffrescamento e illuminazione rappresenta circa il 36% dell'energia totale consumata in Italia.

Di questa quantità circa il 66% riguarda il condizionamento invernale, il condizionamento estivo e la produzione di acqua calda, ed è proprio su questa parte di energia che i risparmi conseguibili sono notevoli, fino all'80%.

La progettazione secondo i principi di bioclimatica, il miglioramento dell'isolamento delle superfici d'involucro e infine la progettazione del sistema impiantistico sono state le principali azioni per far raggiungere il risparmio energetico dell'edificio. Sono stati affrontati sia aspetti progettuali che tecnologici, avendo sempre come punto di riferimento la relazione tra esigenze di comfort, di contenimento degli scambi energetici e dispersioni con l'ambiente esterno e la scelta del sistema impiantistico.

Dunque, è stato dimostrato come l'utilizzo di energia rinnovabile e sostenibile, unitamente alle moderne tecnologie impiantistiche, consenta il raggiungimento di livelli di consumi davvero contenuti.

Questa è la ragione per la quale il sistema impiantistico idrotermosanitario progettato per “Casa Salina” è stato attentamente valutato e definito per il raggiungimento di un elevato risparmio energetico come fattore strategico che si avvicina sempre più all’obiettivo di un edificio ad emissioni quasi zero.

# LA CASA SUL MARE



PLANIMETRIA E PROFILI  
Scala 1:500



DESCRIZIONE	AREA	PERIMETRO	VALORE UNITARIO
CANTINA	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 2	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 3	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 4	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 5	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 6	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 7	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 8	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 9	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 10	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 11	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 12	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 13	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 14	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 15	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 16	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 17	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 18	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 19	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 20	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 21	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 22	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 23	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 24	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 25	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 26	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 27	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 28	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 29	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 30	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 31	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 32	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 33	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 34	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 35	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 36	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 37	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 38	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 39	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 40	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 41	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 42	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 43	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 44	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 45	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 46	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 47	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 48	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 49	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq
CANTINA 50	10,00 mq	10,00 m	0,00 €/mq

## RENDERING



## 11. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Selinunte: “Casa sul mare”

di Maria Bica, Alessandra Foderà, Viviana Maria Li Causi, Achille Roberto Porcasi



Figura 1 – Rendering Casa sul mare, tratto dalla tesi del Master.

### Abstract

The foundations of sustainable design require a strategic approach to take full advantage of climate and context in which a building is located, to satisfy the comfort needs of those who will live in it in the best possible way. A building designed according to specific criteria will reduce the energy requirements for its operation, with a lower environmental impact and optimal integration with the surrounding environment. A conscious and sustainable design should not even begin without having deepened and known the characteristics of the reference context. The work analyzed below is based precisely on the knowledge of the place and the climate, reducing the criticalities dictated by geomorphological characteristics such as latitude, orientation, terrain conformation and presence of vegetation of a lot located in Selinunte (TP) in which a single-family housing unit has been designed, with an interesting view of the sea and a large garden as functional as it is ornamental. The use of analysis and simulation programs made it possible to verify the correspondence between the mere design intervention and the assessment of environmental comfort as defined by the regulations.

## Strategie sostenibili

Durante la progettazione della “Casa sul Mare” è stato sperimentato un processo iterativo per la realizzazione di un manufatto architettonico che coniuga la tradizione costruttiva locale, le tecnologie moderne e la necessità di soddisfare l’indoor comfort: l’uso di materiali a basso impatto ambientale, facilmente reperibili, atossici e sicuri per la salute e per l’ambiente, l’uso di strategie passive quali sistemi di schermatura integrati e di vasche di raffreddamento e mitigazione per le alte temperature, l’installazione di impianti a fonte di energia rinnovabile si impegnano all’unisono per il risparmio energetico e miglioramento della qualità ambientale dei locali abitabili dell’edificio.

## Caratterizzazione ambientale

Dall’analisi del sito ha preso avvio il processo di progettazione: l’area di Marinella di Selinunte, nel territorio di Castelvetrano (TP), è caratterizzata da 1055 Gradi-Giorno (GG) quindi rientra nella zona climatica C, con temperature minima e massima registrate rispettivamente in gennaio (8,7 °C) e agosto (29,7 °C) con precipitazioni più copiose in dicembre (71 mm); per la posizione geografica, l’area risente dei venti di tramontana, scirocco e maestrale con velocità fino a 5/6 m/s.

Il lotto, oggetto della progettazione è per lo più pianeggiato, presenta dimensioni pari a 120 m x 30 m con direzione prevalente sull’asse nord-sud, ossia l’asse congiungente il punto di accesso pedonale/carrabile con la vista verso il mare.

Questo rappresenta il punto di partenza del concept progettuale: la forte longitudinalità si impone sia sui percorsi sia sulle forme architettoniche. I riferimenti principali sono il *Padiglione di Barcellona* (Ludwig Mies Van Der Rohe) e la *Sancaklar Mosque* ad Istanbul (Emre Arolat Architects).

Gli stessi elementi longitudinali disegnano la configurazione esterna facendo da supporto alle vasche d’acqua per il raffrescamento passivo, delimitando le aree di pertinenza abitabili come la veranda e definendo i percorsi, sia esterni sia interni, che a loro volta inquadrano le aree di giardino destinate alle piantumazioni ornamentali ed alla floricoltura ma soprattutto all’agrumeto, all’uliveto ed all’orto, privilegiando le specie autoctone della macchia mediterranea adatte ai climi estremi locali; le piantumazioni in prossimità dell’edificio mitigano il calore intenso dei periodi estivi migliorando le condizioni microclimatiche sia dell’ambiente sia delle superfici dell’edificio e fungono da schermatura agli infissi.

La modellazione 3D, inoltre, ha consentito di completare la predisposizione delle schermature mediante elementi orizzontali aggettanti ricorrendo ad alcuni applicativi in grado di simulare realisticamente il soleggiamento nel corso dell'anno, consentendo di valutare l'incidenza dei raggi solari sulle superfici dell'edificio.

In merito all'illuminazione naturale, ricorrendo al programma gratuito Daylight Visualizer, invece, è stato valutato il valore del fattore di luce diurna, della luminanza e dell'illuminanza nelle condizioni meno favorevoli verificando la corrispondenza con i parametri di legge (DM Sanità del 5 luglio 1975) che prevedono “*un fattore di luce diurna medio non inferiore al 2%*” così da garantire qualità e comfort degli ambienti abitabili da parte degli occupati.

Infine, seguendo le normative nazionali D.M. 26/06/2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*, e D.M. 26/06/2015, *Decreto Requisiti Minimi*, sono state effettuate le analisi termoigrometriche mediante la versione di prova del programma *Blumatica Energy e Ponti Termici* delle soluzioni tecnologiche scelte valutando le prestazioni dell'involucro (parete perimetrale comprensiva della facciata ventilata, solai contro-terra e di copertura).

Relativamente al solaio di copertura, si è scelta la soluzione “Cool Roof”, ossia una tipologia di finitura bianca in grado di ridurre al minimo l'apporto dell'irradiazione solare (alto valore dell'Indice di Riflettanza Solare).

Il sistema costruttivo è pensato in muratura tradizionale portante con laterizi forati e armatura in acciaio con solai in latero-cemento con travetti prefabbricati.

Il sistema impiantistico prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici di cui si è stimata una copertura da fonti rinnovabili pari a più del 90% mediante una superficie di captazione pari a circa 10,80 m<sup>2</sup> orientata verso sud con un'inclinazione rispetto al piano di campagna pari a 14,90°. Tali pannelli sono costituiti da moduli non ventilati in silicio monocristallino e presentano una dimensione tipo pari a 1658x996x35 mm in grado di sviluppare una potenza di picco pari a 1,62 kW.

L'uso di fonti rinnovabili comprende anche il sistema geotermico orizzontale installato nel terreno ad una profondità pari a 3-5 m esteso per circa 100 m<sup>2</sup> con una tubazione in polietilene reticolato di passo di 1 m; la temperatura media annuale del terreno si attesta intorno ai 15-16 °C, rappresentando una buona fonte di calore in inverno ed un ottimale pozzo freddo in estate.

Si è ipotizzata una pompa di calore con classe di efficienza energetica A++ in grado di gestire i sistemi di riscaldamento e raffrescamento dell'e-

dificio oltreché per la produzione di acqua calda sanitaria; il sistema di distribuzione interna è realizzato mediante pavimento radiante con tubazione in PVC Ø14x2 mm con temperature di mandata estate/inverno pari a 18/36 °C.

Tutte le scelte progettuali ed i sistemi fin qui descritti hanno contribuito al raggiungimento di una classe energetica prestante, limitando il più possibile l'impatto energetico che l'edificio ha sul contesto ambientale.

## Valutazioni energetiche

Il risultato finale è quello di un progetto apparentemente semplice, fatto di linee rette e volumi elementari, ma rappresenta una risposta progettuale fatta di scelte accurate finalizzate al dialogo collaborativo tra la tradizione e l'innovazione tecnologica, mirata al raggiungimento di un progetto sostenibile ed energeticamente indipendente.

Tutto ciò si specifica con la redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica che ha dimostrato l'efficacia delle soluzioni scelte facendo rientrare l'immobile in classe A4 con un indice di prestazione energetica piuttosto basso (2,92 kWh/m<sup>2</sup> anno).

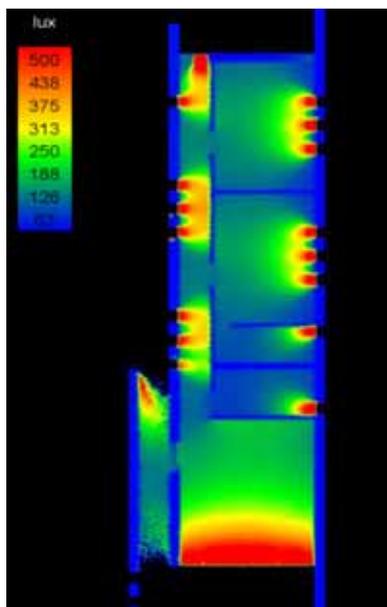


Figura 2 – Valutazione del Fattore di Luce Diurna (FLD), parametro utilizzato per valutare il livello di illuminazione naturale all'interno di un ambiente, realizzato con il software DayLight Visualizer, tratto dalla tesi del Master.

## Riferimenti bibliografici

- Abram P., Salchegger H. (2017), *Il Verde pensile: tra tecnica e natura: [evoluzione della tecnologia e Norma UNI 11235; tipologie di coperture a verde; tecniche di realizzazione; progettazione dello strato vegetativo; manutenzione di avviamento e ordinaria]*.
- Assiad, Pigni I. (1998), *Impieghi di fumi di silice nei calcestruzzi. Aspetti tecnologici e normativi*, In *Concreto*, s.l.
- Bourmauda A., Beaugrandb J., Shahc D. U., Placetd V., Baleya C. (2018), *Towards the design of high-performance plant fibre composites. Progress in Materials Science*, Elsevier BV, Cambridge.
- Canestrone M. (2019), *Prodotti ecosostenibili e la valutazione del ciclo di vita*. <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/prodotti-ecosostenibili-e-la-valutazione-del-ciclo-di-vita/>
- Çengel Y. A. (2016), *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill Education, New York.
- Ciciriello S. (2017), *APE. Manuale operativo per l'attestato di prestazione energetica*, Maggioli Editore, Rimini.
- De Simone G. (2017), *APE. Guida al nuovo Attestato di Prestazione energetica*, Maggioli Editore, Rimini.
- Fiorito F. (2009), *Involucro edilizio e risparmio energetico*, Flaccovio, Palermo.
- Khale D., Chaudhary R. (2007), "Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review", *Journal of Material Science*.
- Mancosu C., Zevi L., Zevi B. (2019), *Il nuovissimo manuale dell'architetto*, Mancosu Editore, Roma.
- Panagiotopoulou Ch., Kontori E., Perraki Th., Kakali G. (2007), "Dissolution of aluminosilicate minerals and by-products in alkaline media", *Journal of Material Science*, 42(9).
- Paparella R. (2008), *I prodotti fotocatalitici in edilizia*, Cleup, Padova.
- Quaranta C. G. (2016), *La domotica per l'efficienza energetica delle abitazioni*, Maggioli Editore, Rimini.
- Riusa (2020), *Impianti per il recupero delle acque piovane da tetti e coperture, catalogo tecnico*.
- Santi G. (2018), *Il tetto verde. Architettura e tecnica del green roof per le costruzioni*, CLD Libri, Pisa.
- Santulli C., *Utilizzo delle fibre naturali per la produzione di materiali sostenibili*.
- Tomassini D. (2020), *Fondamenti di illuminotecnica. Elementi di fotometria, sorgenti luminose e impianti illuminotecnici*, Sandit Libri, Albino.
- UNI EN ISO 6946:2018, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo*.
- UNI EN ISO 13786:2018, *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*.

# Analisi e confronto tra sistemi di copertura ad elevate prestazioni termoisolanti

di *Maria Bica*

## Obiettivi

Il crescente interesse verso le problematiche ambientali ha fatto sì che l'involucro edilizio non venisse più considerato solo come l'elemento separatore tra interno ed esterno, ma bensì come un'interfaccia dinamica in continua ed attiva interazione con i fattori climatici esterni. L'efficienza dell'involucro è data dalla capacità di reagire in maniera flessibile alla variabilità delle condizioni ambientali, minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura in quello estivo, con il conseguente miglioramento del comfort abitativo e della qualità ambientale. L'obiettivo è quello di dimostrare l'efficacia di due diversi sistemi tecnologici per l'efficientamento energetico delle coperture: *cool roof* e *green roof*.

## Metodologia

Il *cool roof*, letteralmente tetto fresco, è un sistema impermeabilizzante per le coperture caratterizzato dall'elevata capacità di riflettere l'irradiazione solare incidente e dalla capacità di emettere energia termica nell'infrarosso, fattori che garantiscono delle basse temperature superficiali delle coperture, anche se soggette a forte irraggiamento solare diretto.

Nel periodo estivo la temperatura superficiale di una copertura *cool roof* e di una copertura tradizionale differisce sostanzialmente: la temperatura superficiale di una copertura in membrana bituminosa nera varia tra 60 °C e 80 °C, a parità di condizioni una copertura *cool roof* ha invece una temperatura superficiale di circa 35-60 °C, a seconda della latitudine e della tecnologia adottata.

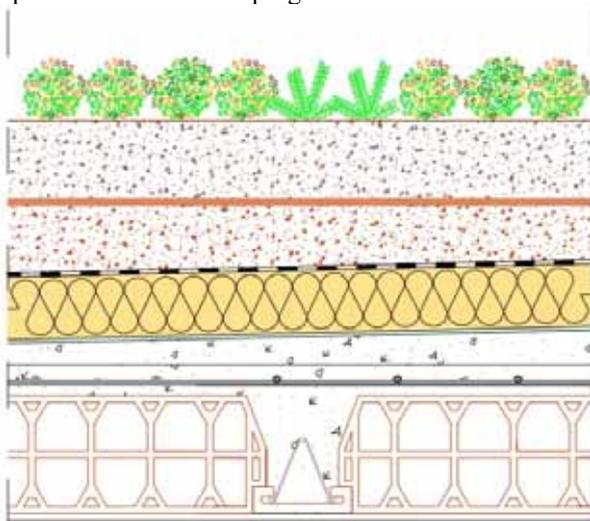
Il *green roof* inteso come destinazione a verde della copertura degli edifici è una delle principali strategie impiegate in bioarchitettura per limitare l'impatto ambientale delle costruzioni, contribuisce alla riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio e quindi alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Apporta inoltre numerosi vantaggi economici ed ecologici nonché di comfort abitativo e della qualità dell'ambiente:

- assorbe temporaneamente l'acqua piovana e la rilascia lentamente;
- filtra l'inquinamento urbano e riduce l'anidride carbonica;
- raffredda l'aria per evapotraspirazione;
- favorisce l'insediamento di ecosistemi animali;
- riduce la trasmissione dei rumori all'interno dell'edificio;
- riduce gli effetti delle "isole di calore urbane";

- aumenta la resistenza termica della copertura;
- protegge il manto impermeabile e ne prolunga la durata.

Lo studio del comportamento termico del sistema tecnologico di un tetto verde, si presenta molto complesso, poiché gli elementi che lo costituiscono interagiscono in maniera attiva con l'ambiente esterno e sono caratterizzati da proprietà termiche variabili in funzione del contenuto idrico. La stima delle prestazioni termiche di un *green roof* deve considerare la trattazione di fenomeni complessi che rappresentano il rapporto fra il substrato culturale, le piante e l'atmosfera. Uno dei fenomeni più importanti è rappresentato dall'evapotraspirazione, ossia dalla grandezza fisica che misura la quantità di acqua che nell'unità di tempo, passa all'atmosfera, a seguito della traspirazione vegetale e dell'evaporazione dal suolo. Essa dipende da fattori climatici (irraggiamento solare, temperatura e umidità) e dalle essenze presenti. Sulla base delle scelte progettuali effettuate viene così definita la stratigrafia della copertura verde ipotizzata sull'edificio progettato a Selinunte e si ricava pertanto:



*Figura 1 – Particolare costruttivo della copertura verde ipotizzata per la “Casa sul Mare”.  
© M. Bica.*

# Formulazione e caratterizzazione di prodotti geopolimerici per l'impermeabilizzazione

di *Viviana Maria Li Causi*

## Obiettivi

La ricerca di materiali innovativi sostenibili per il miglioramento delle prestazioni dell'edificio può avere come obiettivo la formulazione di prodotti geopolimerici da impiegare come strato di finitura di superfici esposte al contatto con l'acqua, quali ad esempio piscine e vasche in genere.

L'approfondimento è stato focalizzato, in particolare, sulla formulazione e caratterizzazione di questi nuovi materiali.

## Metodologia

Il progetto di edilizia residenziale svolto è ubicato a Marinella di Selinunte, in un lotto di terreno dalla forma allungata con vista sul mare. Data la grande estensione del lotto, si è potuta realizzare nell'area esterna una piscina interrata, dei corsi d'acqua prospicienti il prospetto est, come ausilio per il raffrescamento dell'edificio, e una vasca fuori terra. Grazie alla presenza di queste vasche d'acqua si sono potute conoscere e approfondire le problematiche legate ai loro rivestimenti e studiare l'applicazione di un geopolimero come strato di finitura.

Il geopolimero è costituito fondamentalmente da una polvere di natura allumino-silicatica, detta precursore, quale ad esempio metacaolino, caolino, fumo di silice, scorie granulate d'altoforno, e da una soluzione acquosa, detta soluzione attivante, costituita da idrossidi o silicati alcalini, quale ad esempio idrossido o silicato di sodio o potassio; la loro reazione produce un materiale allumino-silicatico alcalino amorfo o semicristallino.

Il termine "geopolimero" è stato utilizzato per la prima volta nel 1978 da Davidovits, per indicare in generale materiali a base allumino-silicatica alcalina, che si ottengono per polimerizzazione di condensazione, detta "geopolimerizzazione o geosintesi", che ricostituisce chimicamente materiali, per i quali il prefisso "geo" evidenzia come essi mimino i materiali naturali, per esempio le argille. Gli atomi di silicio e di alluminio reagiscono formando molecole chimicamente e strutturalmente comparabili con quelle che compongono le rocce naturali; pertanto, i materiali geopolimerici esibiscono proprietà analoghe a quelle dei composti che formano le rocce, come durezza e stabilità chimica.

Questa innovativa classe di materiali offre grandi vantaggi, che lo rendono anche un materiale sostenibile: ha caratteristiche chimico-fisiche simili al cemento, sebbene, rispetto a quest'ultimo, abbia temperature di produzione molto più basse, emettendo così minori quantità di anidride carbonica in atmosfera; i suoi costituen-

ti sono naturali o provengono da scarti industriali, avvallando così per essi un nuovo ciclo di vita.

Date le enormi potenzialità, ci si è posti come obiettivo la formulazione di un materiale da utilizzare come rivestimento per le vasche presenti nel progetto.

Nella prima fase è stata svolta una ricerca bibliografica relativa alla preparazione di materiali geopolimerici, in particolare concentrando l'attenzione sulla loro composizione e preparazione, al fine di individuare i parametri di interesse per realizzare un rivestimento impermeabile da applicare su un supporto in conglomerato cementizio sottoposto ad ambienti aggressivi.

Raccolto e analizzato il materiale, si è successivamente passati allo studio e alla caratterizzazione dei materiali, forniti dall'azienda, i quali sono stati suddivisi in due macrogruppi, ovvero precursori e attivatori, e successivamente in funzione delle caratteristiche risultate dalle analisi in 4 diversi microgruppi: A; B; C e D. Le analisi che ci hanno permesso questa suddivisione sono state:

a) analisi XRD, condotte attraverso un diffrattometro Panalytical Empyrean dotato di rilevatore PixCel™, raggi X CuK $\alpha$ , con filtro in Nichel, dimensioni delle slitte di diffrazione e antiscattering scelte in funzione del range angolare indagato, nel caso specifico da 10 a 70° si sono scelte aperture da 1° e 2° rispettivamente;

b) analisi al microscopio elettronico, con analisi elementale con microsonda a raggi X in dispersione di energia per quantificare i rapporti molari tra silicio e alluminio nei primi e tra silicio e metallo alcalino nei silicati, utilizzando un microscopio elettronico FEI QUANTA 600 con generatore FEG con microsonda EDS, usato in modalità basso vuoto (da 0,4 a 0,5 torr di vapore acqueo) in modo da non dover dorare i campioni;

c) analisi granulometrica, attraverso granulometria Laser Malvern Hydro2000MU, il campione viene disperso in acqua mediante un'elica posta in rotazione a 3000rpm, la misura è stata condotta per 15 secondi, al fine di valutare il grado di finezza delle materie prime e se vi fosse una correlazione tra quest'ultima e le caratteristiche meccaniche espresse dai provini. L'indagine ha evidenziato la prevalenza delle fasi amorfe nelle materie prime dei precursori, condizione fondamentale per l'ottenimento di un geopolimero performante. Anche negli attivatori si sono presentate molte fasi amorfe.

Le indagini svolte hanno permesso una migliore interpretazione delle prestazioni fornite dai geopolimeri. Le fasi di preparazione dei provini si sono così svolte:

a) è stata preparata la soluzione attivante 7M mediante l'uso dell'attivatore C. Essa non è stata mai variata, in questo modo si è avuta la possibilità di poter studiare la reattività dei precursori;

b) sono state misurate le densità delle polveri al fine di ricavare i corretti quantitativi da miscelare;

c) sono state calcolati i corretti quantitativi delle miscele da realizzare, i precursori sono stati pesati e aggregati in maniera tale da avere un rapporto Si/Al fisso pari a 1,5.

I provini realizzati sono costituiti da:

- Precursore: A e B, quest'ultimo in aggiunta per raggiungere il rapporto Si/Al desiderato,

- Soluzione attivante: la soluzione in precedenza preparata, inoltre è stato aggiunto sotto forma di polvere l'attivatore A con funzione di attivatore. I campioni sono stati preparati in duplice copia e sono stati lasciati maturare a temperatura ambiente e a temperatura controllata in stufa. I provini sono stati sformati in tempi differenti, quelli maturati a temperatura ambiente dopo dieci giorni, quelli maturati in stufa sono stati sformati dopo sette giorni. Questi ultimi, successivamente alla sformatura, sono stati tagliati in quattro parti per ricondurli ad una forma cubica, al fine di sottoporli a:
  - Prove di compressione meccanica: realizzate a 7 e 28 giorni dalla realizzazione dei provini, tramite l'uso della macchina elettromeccanica di prova universale (UTM) della Wance modello ETM 501;
  - Prove di picnometria ad elio, per valutare la porosità dei materiali ottenuti.

## **Risultati**

La formulazione trovata e studiata ha portato ai seguenti risultati:

- I provini mostrano un aumento, tranne che per due casi, delle prestazioni meccaniche nei successivi 21 giorni di maturazione;
- La formulazione adoperata mostra risultati meccanici promettenti, decisamente paragonabili alle formulazioni cementizie;
- Contrariamente a quanto riportato in letteratura, non si evidenzia una correlazione tra il grado di finezza delle polveri e le resistenze meccaniche esibite. In futuro sono auspicabili:
  - Nuove formulazioni, al variare dell'attivatore A;
  - Migliori condizioni di maturazione dei provini.

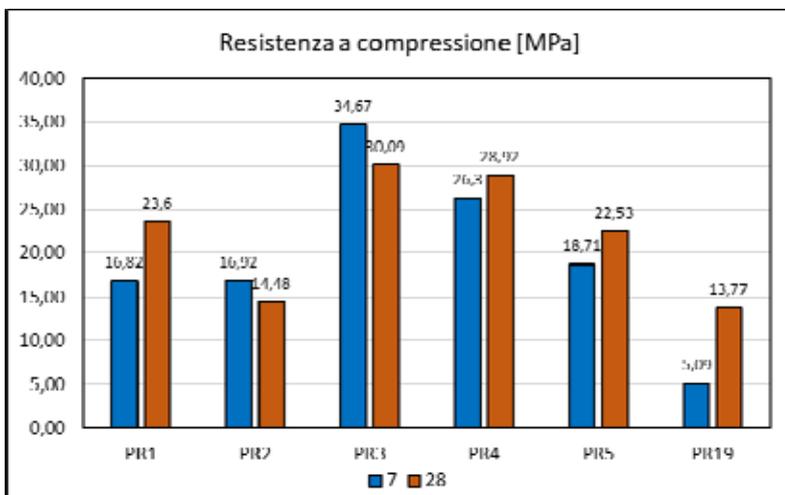


Figura 1 – Analisi e confronto delle prove di resistenza e compressione meccanica con picnometria ad elio per valutare la porosità dei materiali ottenuti. © V. M. Li Causi.

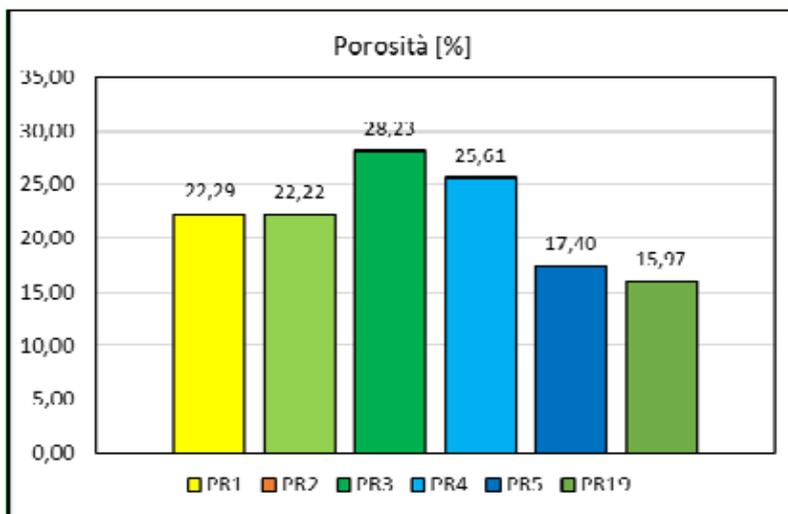


Figura 2 – Analisi e confronto della porosità dei materiali ottenuti. © V. M. Li Causi.

# Valutazione delle prestazioni energetiche di edifici esistenti e di nuova costruzione

di *Achille Roberto Porcasi*

## Obiettivi

Analizzando le prestazioni energetiche dell'edilizia esistente si intende dimostrare come sia possibile, operando con semplici interventi di retrofit energetico, migliorare le caratteristiche di comfort di immobili privi di qualità abitativa in termini di vivibilità termo-igrometrica; inoltre, a fronte di investimenti di modesta entità, si rende possibile ottenere un ritorno economico in tempi non troppo lunghi rispetto alla vita utile degli elementi tecnologici scelti. Un esempio di nuova costruzione, inoltre, dimostra come sia possibile tenere sotto controllo ogni aspetto della progettazione, tanto architettonica quanto tecnologica, per annullare quasi completamente il consumo energetico da fonti non rinnovabili. A tal proposito sono state definite le caratteristiche necessarie per il rilascio delle certificazioni energetiche definite dalle normative vigenti, avendo come riferimento i concetti di "edificio ad energia zero o quasi zero" (ZEB/nZEB).

## Metodologia

Per l'analisi energetica si è fatto riferimento ad un caso studio di edificio storico in muratura portante del XVIII secolo, vincolato ai sensi della D.M. 42/2004 per il suo carattere storico e perché sito in centro storico in provincia di Agrigento. Oggetto di lavori di recupero nella seconda metà del XX secolo, l'edificio è stato ripristinato nei suoi aspetti funzionali ma presenta caratteristiche ben diverse dai requisiti minimi di vivibilità richiesti dalla normativa. Si è ipotizzato un progetto di retrofit per migliorare il comfort degli ambienti interni limitando le dispersioni termiche e i consumi di energia primaria e tendendo in considerazione le tecniche di intervento sull'edilizia storica e sugli elementi che manifestano la loro identità artistico-architettonica. Per la valutazione energetica si è preso a modello una delle unità residenziali di cui si compone l'edificio, un piano intermedio con esposizione est-ovest, in zona climatica C (1218 Gradi giorno e 137 giorni di riscaldamento). Lo scambio di calore avviene attraverso le pareti di spessore pari a circa 84 cm costituite da una struttura in muratura portante in pietra naturale (blocchi di calcarenite) e finite con intonaco tradizionale a base di calce sia all'interno sia all'esterno. La redazione di un APE pre-intervento ha messo in evidenza la scadente efficienza energetica: l'immobile che in classe G con un indice di prestazione energetica globale da fonti non rinnovabili piuttosto elevato. Intervenedo sull'involucro, si intende limitare le dispersioni energetiche mediante la sostituzione degli infissi e l'inserimento di uno strato di isolamento termico interno, in virtù del regime vinco-

listico, e adattando gli infissi esistenti alle nuove esigenze mantenendo la sezione del telaio in legno, sostituendo il vetro singolo con una sezione a doppi vetri con camera d'aria interna isolata con strato di aria ottenendo una notevole resa migliorativa dell'elemento tecnico. A livello impiantistico, ipotizzando l'inserimento di una caldaia a gas di nuova generazione utilizzata per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria, si stima un valore di gas naturale consumato annualmente pari a 885,74 Sm<sup>3</sup>.

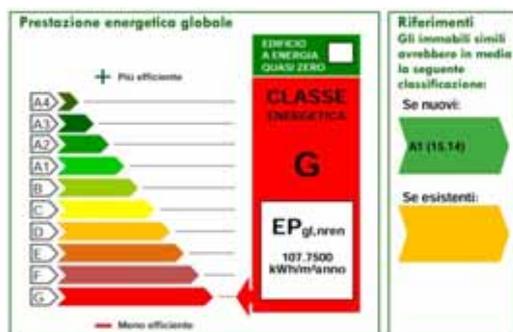


Figura 1 – Calcolo attestato di prestazione energetica pre-intervento. © A. R. Porcasi.

La redazione dell'APE post-intervento ha ottenuto la classe A1 con un indice di prestazione energetica globale da fonti non rinnovabili nettamente inferiore allo stato dell'arte precedentemente descritto. Per l'analisi energetica delle nuove costruzioni si è progettato un edificio con sistema costruttivo in muratura tradizionale portante con laterizi forati e armatura in acciaio con solai in latero-cemento con travetti prefabbricati. Il solaio di copertura è stato pensato con la soluzione *cool roof* ossia una tipologia di finitura estremamente bianca in grado di ridurre al minimo l'apporto dell'irradiazione solare (alto valore dell'Indice di Riflettanza Solare). Per le chiusure verticali è stato studiato un sistema di facciata ventilata con supporto in acciaio e pannellatura in pietra locale. Il sistema impiantistico prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici di cui si è stimata una copertura da fonti rinnovabili pari a più del 90% mediante una superficie di captazione pari a circa 10,80 m<sup>2</sup> orientata verso sud con un'inclinazione rispetto al piano di campagna pari a 14,90°. Tali pannelli sono costituiti da moduli non ventilati in silicio monocristallino e presentano una dimensione tipo pari a 1658x996x35 mm in grado di sviluppare una potenza di picco pari a 1,62 kW. L'uso di fonti rinnovabili comprende anche il sistema geotermico orizzontale installato nel terreno ad una profondità pari a 3-5 m esteso per circa 100 m<sup>2</sup> con una tubazione in polietilene reticolato di passo di 1 m; la temperatura media annuale del terreno si attesta intorno ai 15-16 °C, rappresentando una buona fonte di calore in inverno ed un ottimale pozzo freddo in estate. Si è ipotizzata una pompa di calore con classe di efficienza energetica A++ in grado di gestire i sistemi di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio oltreché per la produzione di acqua calda sanitaria; il sistema di distribuzione interna è realizzato mediante pavimento radiante con tubazione in PVC Ø14x2 mm con temperature di mandata estate/inverno pari a 18/36 °C. Tutte le scelte progettuali ed i si-

stemi fin qui descritti hanno contribuito al raggiungimento di una classe energetica prestante, limitando il più possibile l’impatto energetico che l’edificio ha sul contesto ambientale. La redazione dell’Attestato di Prestazione Energetica relativo a tale sistema edilizio ha dimostrato l’efficacia delle soluzioni di progetto: l’immobile rientra in classe A4, la più efficiente, con un indice di prestazione energetica globale da fonti non rinnovabili prossimo alla classificazione di edificio ad energia quasi zero (nZEB).

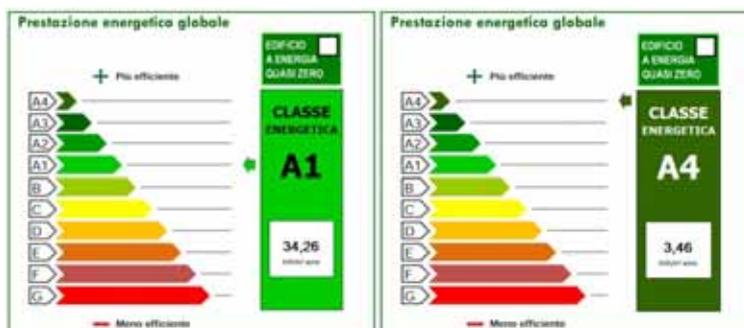


Figura 2 - 3 – Calcolo attestato di prestazione energetica post-intervento singolo e globale.  
© A. R. Porcasi.

## Risultati

Il confronto tra l’analisi sull’edilizia storica e sulle nuove costruzioni ha consentito di mettere in evidenza le fragilità delle tecniche costruttive del passato alla luce della normativa vigente. Si è visto come l’intervento sull’involucro edilizio e al contempo la progettazione di un sistema impiantistico efficiente possa compensare i limiti di intervento delle tecniche moderne sulle architetture storiche e, al contempo, un edificio di nuova costruzione ha evidenziato la possibilità – oltre che la necessità – di pensare ad una “progettazione consapevole” che parta dalla definizione delle esigenze funzionali ed estetiche ma principalmente che garantiscano un certo benessere ai fruitori dell’opera edilizia. A tutto ciò si collega lo sviluppo tecnologico che supporta i tecnici nella gestione e nelle procedure di analisi consentendo una più precisa ed immediata verifica delle rispondenze alle normative. L’integrazione tra la progettazione tradizionale e la tecnologia sta alla base dello sviluppo dell’abilità di un buon progettista che deve tenere conto di ogni aspetto della redazione di un progetto architettonico.

# Programmazione del cantiere sostenibile

di *Alessandra Foderà*

## Obiettivi

La gestione sostenibile del cantiere implica l'analisi, già in fase di progettazione, delle problematiche ambientali che emergeranno in fase esecutiva al fine di dare indicazioni e linee guida ai responsabili e al personale che opereranno nella fase di costruzione ed avviamento dell'opera. Occorre in fase preliminare creare "presidi osservatori" nei confronti di quelli che sono gli aspetti ambientali più significativi: rifiuti solidi e liquidi, terre e rocce da scavo, acque scarico e reflue, stoccaggio di prodotti pericolosi, emissioni in atmosfera, emissioni acustiche, emissioni di campi elettromagnetici significativi, fibre artificiali e vetrose e utilizzo di prodotti chimici, amianto.

## Metodologia

Il controllo di questi molteplici fattori che spesso vanno a sommarsi ed intrecciarsi all'interno del cantiere edile deve essere gestito già in fase di approccio progettuale/amministrativo e documentale mediante la predisposizione di Piani di Controllo ambientale, specifiche tecniche di appalto/fornitura, linee guida di gestione, strumenti di auditing da utilizzare in cantiere per verifica e registrazione dati, importanti sia per il monitoraggio della qualità del cantiere, sia in tema di certificazioni (EMAS, LEED, ISO 14001, ecc.). Questi buoni propositi normalmente si scontrano con fattori socioculturali ormai consolidati, in particolare in piccole realtà imprenditoriali e soprattutto in ambiti privati, laddove quasi mai si hanno a disposizione risorse organizzative, professionali ed economiche che supportino il processo di gestione ambientale nelle diverse fasi. Le normali prassi di fatto portano a gestioni approssimate o a non gestioni degli aspetti legati alle tematiche ambientali e conseguentemente della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. Non vi sono solo i materiali derivanti da processi di costruzione e demolizione, ma anche una serie di altri rifiuti che sono prodotti nei processi secondari del cantiere. Basti pensare ai rifiuti prodotti a seguito di attività, anche amministrative, a servizio delle lavorazioni edili e i rifiuti prodotti dalla manutenzione delle attrezzature e dei mezzi d'opera. Recuperare il materiale possibile e privilegiare la raccolta differenziata rappresentano il modello corretto di approccio al trattamento dei materiali e rifiuti. Il layout di cantiere dovrà prevedere: nell'area di Stoccaggio una piazzola con soletta in calcestruzzo o il posizionamento di cassoni di tipologia idonea al materiale da contenere da adibirsi al deposito temporaneo dei rifiuti e/o sfridi di lavorazione /imballaggio quali: ferro, cavi, plastica, legno, misto; le terre e rocce da scavo devono essere gestite come da relativo piano, secondo modalità di comportamento diversificate a seconda dello specifico cantiere; le emissioni in atmosfera quali

polveri, emissioni gas automezzi e macchinari, dovranno essere limitate mediante: bagnatura delle superfici ed attraversamenti, lavaggio delle gomme degli automezzi in uscita dal cantiere, riduzione dei limiti di velocità, copertura di stoccaggi e trasporti polverulenti, evitare di tenere accesi inutilmente i mezzi d'opera, manutenzione di mezzi ed attrezzature. L'eco-costruzione e successivamente l'eco-gestione del cantiere permette di avere la minimizzazione degli impatti sull'ambiente naturale e su quello antropizzato. Tale processo passa da azioni semplici quali: l'ottimizzazione del carico dei mezzi di trasporto; barriere-recinzioni anti-polvere ed antirumore; l'approvvigionamento di materiali a "km 0"; l'utilizzo di sostanze prodotte quanto più naturali possibile. Un cantiere ad impatto zero vuol dire alta efficienza, basse emissioni, altissima professionalità quindi minori probabilità di infortunio sul lavoro o incidenti ambientali. L'edilizia sostenibile parte dalla fase progettuale e viene esplicitata dal cantiere e dal ciclo di vita e di esercizio dell'opera. Un piano di efficienza energetica non può prescindere da un piano di efficienza di ristrutturazione delle normali prassi; un cantiere *green* può, se ben gestito, avere ritorni economici importanti. Un altro fattore molto importante che rende un cantiere sostenibile è anche quello economico. Un'opera è sostenibile anche se per realizzarla si è utilizzata una quantità ridotta di mezzi, materiali e manodopera. Gli aspetti da tenere in considerazione sono: scelta progettuale sulle migliori e più convenienti tecniche costruttive da impiegare; - l'accessibilità del sito, ovvero renderlo più agibile possibile ai mezzi di trasporto materiale e di lavorazione, al fine di utilizzarne un numero ridotto per minor tempo; - la scelta di materiali e risorse da utilizzare, privilegiando materiali locali; l'approvvigionamento dei materiali e delle risorse da utilizzare deve essere calcolato prima dell'inizio lavori così da economizzare gli ordini, non provocare sprechi e dunque maggiori rifiuti che dovranno essere smaltiti. Per far ciò in fase di progettazione dell'unità immobiliare a Selinunte, mossi dalla volta di voler realizzare una casa sostenibile si è posta molta attenzione sulla distribuzione interna degli ambienti per meglio sfruttare l'esposizione solare; la scelta dei materiali; la scelta delle tecniche costruttive; la gestione del cantiere. L'organizzazione del cantiere in ordine di elenco occupa l'ultimo posto, ma ogni scelta presa è stata condizionata alla realizzabilità dell'immobile e alla messa in opera di tutti i materiali. In particolare, nelle scelte progettuali e nella volontà di voler posizionare l'immobile più vicino alla strada, e non a ridosso della costiera, si celano anche due scelte di tipo cantieristico:

- la prima scelta riguarda una questione pratica di vicinanza alla strada e di facile accessibilità ai mezzi di cantiere, ai mezzi di carico e scarico materiali e ai mezzi di raccolta rifiuti;

- la seconda scelta riguarda l'economia del cantiere, in quanto il terreno vicino al mare si trova ad una quota inferiore rispetto al livello della strada, per cui il terreno di risulta degli scavi per le fondazioni sarebbe stato inutilizzato.

Invece, ponendo l'immobile alla quota più alta (più vicino alla strada), il terreno di risulta dagli scavi della fondazione è stato riutilizzato in cantiere stesso per la realizzazione dei terrazzamenti. L'organizzazione del cantiere interviene anche sulla scelta dei materiali in base alla reperibilità in loco, la rapidità di messa in opera e la resa. Le stesse ragioni hanno orientato la scelta della tecnica costruttiva per la rea-

lizzazione delle pareti perimetrali. Per la realizzazione della struttura portante si è preferito utilizzare la tecnica della muratura portante in laterizio armata piuttosto che una struttura in acciaio; questo perché il laterizio non solo è un materiale naturale, ma è anche facilmente reperibile in loco e veloce da mettere in opera, oltre al fatto che non necessita di operai specializzati per la messa in opera. Al contrario una struttura in acciaio avrebbe inciso nell'economia del cantiere non soltanto con un prezzo d'acquisto più alto della materia prima rispetto al laterizio, ma anche sul trasporto del materiale in cantiere. Dove per trasporto si intende sia il carburante per raggiungere il cantiere che il costo del mezzo speciale per il trasporto delle travi e dei pilastri in acciaio, che chiaramente non si possono compattare come i blocchetti di laterizio. Inoltre, sotto la voce “mezzi” se si fosse optato per la scelta della struttura in acciaio sarebbe bisognato considerare il costo per l'utilizzo di una gru per la messa in opera delle travi e dei pilastri.

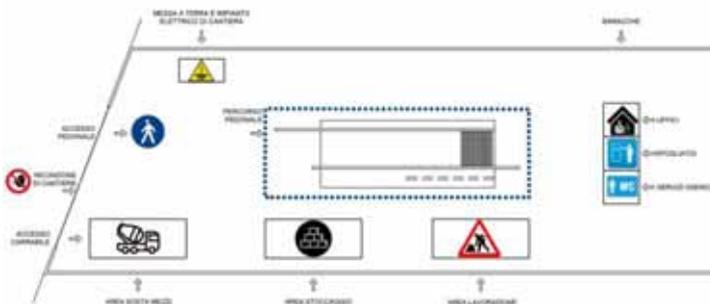
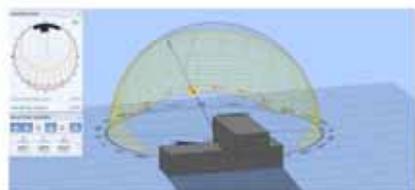
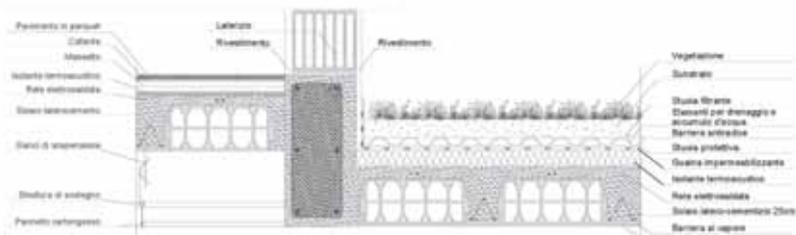
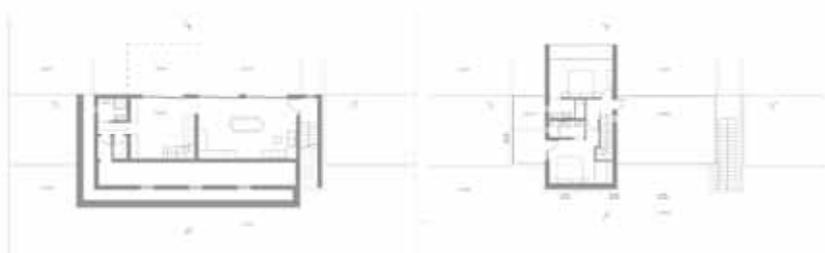
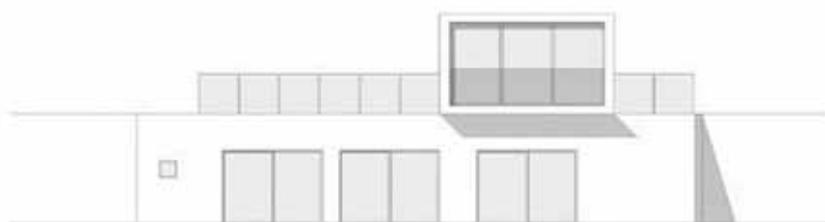


Figura 1 – Layout di cantiere. © A. Foderà.

## Conclusioni

L'area di sosta, di stoccaggio e di lavorazione sono state poste una accanto all'altra con lo scopo di creare una catena di montaggio. Pensando che il materiale arriva con i mezzi, viene depositato, lavorato e poi messo in opera. In virtù di questo schema le aree di stoccaggio e lavorazione sono sufficientemente vicine ai percorsi pedonali e all'immobile così da agevolare la lavorazione e la messa in opera. L'impianto di cantiere è stato posto in alto a sinistra del lotto, così da essere distante dall'immobile per motivi di sicurezza, ma allo stesso tempo vicino all'ingresso nel caso di manutenzione esterna. Le baracche si è preferito posizionarle esattamente all'opposto dell'ingresso per ragioni di sicurezza ed evitare interferenze tra le lavorazioni cantieristiche e d'ufficio. I percorsi pedonali e carrabili sono stati pensati anche per agevolare il raggiungimento delle baracche, seguendo il percorso pedonale raggiunge gli spogliatoi o i servizi igienici, ed infine seguendo sempre il percorso pedonale, si può muovere intorno all'immobile e intorno alle aree di lavorazione. Così facendo, organizzando il cantiere e programmando l'approvvigionamento dei materiali, della manodopera e dei mezzi, si riuscirà sicuramente a contenere costi e tempi al fine di realizzare un cantiere sostenibile.

## LA CASA CANNOCCHIALE



## RENDERING



## 12. Progetto sostenibile di edilizia residenziale a Val d'Erice: "Casa Cannocchiale"

di Gaetano Camarda, Rosario Cavaleri, Giovanni Collovà, Barbara Seminara



Figura 1- Rendering dell'edificio di progetto, tratto dalla tesi del Master.

### Abstract

The term 'sustainability' has become established itself in the architectural field up to mark the future planning in a totally different way from previous ones. The following research attempts to retrace the significant phases and decisions of a sustainable planning in the Valderice area, in Trapani, Sicily. Firstly it was introduced the data related to the study area and the nit was identified aspects in construction. After explaining the sustainability criteria adopted, it was showed the building basic construction systems. The last chapter is divided into four thematic: a strategy for calculating the pollution emissions into the atmosphere and the use phase of different thermally equivalent technological systems. It analyzes the way to make some brick elements more sustainable, exploiting resources considered scraps or waste, with attention at the theme of recycling and reuse; this perspective is integrated within an LCA, consequently to respect the minimum environmental criteria (CAM) provided for building materials. Finally, explains what is a nZEB building and defines the hydronic air conditioning system adopted for the study object with analysis of the results obtained by some simulations.

## Strategie sostenibili

La “Casa Cannocchiale” può essere definita un edificio sostenibile e autosufficiente dal punto di vista energetico. Attraverso una strategia che mette in atto l’applicazione di sistemi di condizionamento sia attivi che passivi, l’adozione di soluzioni materiche e tecnologiche che permettano di minimizzare le dispersioni termiche e la progettazione di impianti che rispettino le prescrizioni normative vigenti è stato possibile raggiungere un livello di prestazione energetica molto elevato.

## Caratterizzazione ambientale

La piccola casa sostenibile è stata progettata all’interno di un lotto sito a Valderice, un comune che si estende per 53 km<sup>2</sup> e dista pochi chilometri dal comune di Trapani. Valderice è caratterizzato da un clima tipicamente mediterraneo, con un inverno mediamente freddo dovuto ad un’altitudine di quasi 300 metri e piogge intense mentre d’estate la temperatura massima può raggiungere i 40 °C con un tasso di umidità che si attesta su valori piuttosto moderati. Il valore di gradi giorno è pari a 1.076 ed è caratterizzato dalla zona climatica C.

Sulla base dell’orientamento del lotto, si è voluta enfatizzare la vista verso il paesaggio prendendo ispirazione dal progetto di “Casa no Gerês”, di Garça Correia e Roberto Ragazzi, un edificio dalle linee semplici con uno sbalzo che segna la propensione verso il paesaggio e dal progetto di ispirazione mediterranea di “Casa Biancorosso”, sita a Cefalù (PA), realizzata dallo studio *mf2arch* dove l’edificio, situato sulla collina Sant’Elia, possiede le medesime caratteristiche concettuali del progetto portoghese, ma protende verso il mare e il centro abitato di Cefalù.

Il lotto di “Casa Cannocchiale” si pone sul versante nord del centro abitato di Valderice con accesso dal lato sud e pendenza media a degradare verso il mare favorendo una vista di straordinaria bellezza.

La strategia passiva per la progettazione dell’edificio si basa sullo studio dei diagrammi solari che ha permesso di organizzare le aperture in funzione dell’irraggiamento solare: l’edificio è stato dotato di aperture esposte a nord per sfruttare in maniera massiva l’irradiazione solare indiretta, prevedendo schermature sul prospetto sud e sud-est per proteggersi dalla radiazione diretta. Il volume è stato pensato come la sovrapposizione di due blocchi, ottenuti tramite una griglia modulare delle dimensioni di 5x5 metri, ruotati tra loro ad angolo retto con ingresso a sud. Il blocco del piano terra è stato integrato con il contesto naturale circostante attraverso l’interramento di una

parte dell'edificio che accoglie la zona giorno distinta in: ingresso, soggiorno, cucina, bagno degli ospiti, ripostiglio e locale tecnico. Il blocco superiore è stato progettato come un elemento indipendente che sembra poggiarsi sul blocco sottostante. Questo volume, aggettante sul precedente, è dotato di una grande apertura rettangolare posta a nord che come un cannocchiale traguarda il golfo di Monte Cofano. Al suo interno trova spazio la zona notte distinta in due camere da letto con bagno annesso e disimpegno. Per integrare ulteriormente l'edificio con il paesaggio circostante, la copertura del blocco inferiore è stata ricoperta da un manto erboso. Questo espediente permette di nascondere alla vista il volume inferiore enfatizzando lo sbalzo del cannocchiale superiore. Inoltre la scelta di utilizzare un tetto giardino contribuisce all'attenuazione delle dispersioni termiche.

Anche l'involucro edilizio è stato progettato in linea con i principi di sostenibilità prevedendo l'impiego di blocchi in laterizio forato riempiti con polistirene additivato con grafite che consentissero un adeguato livello di trasmittanza termica, secondo i valori stabiliti dal Decreto Interministeriale 26/06/2015. Così come già presentato per le coperture sono state adottate due differenti tecniche, ossia il tetto giardino per le coperture del blocco inferiore e il *cool roof* per la copertura di quello superiore. La prima sfrutta l'elevato spessore della stratigrafia contemporaneamente all'attività biologica del manto erboso. La seconda impiega il concetto di *cool roof* attraverso l'impegno di superfici di colore bianco con elevata riflettanza. Entrambe le tipologie sono state previste per ridurre la dispersione termica dell'edificio soggetto ad un forte irraggiamento solare in periodo estivo. Parallelamente, sono stati previsti altri sistemi passivi per migliorare la performance dell'edificio. Per quanto concerne la ventilazione, tenendo conto dei venti predominanti del lotto e sfruttandoli per incanalarli all'interno della casa: le grandi aperture poste a nord accolgono i venti che provengono dal litorale e insistono all'interno del vano scala che funge da acceleratore di corrente. Sul solaio di copertura, in corrispondenza del vano scala, è stato previsto un infisso apribile di lunghezza pari alla proiezione della scala per favorire l'innescò dell'effetto camino. Un'ulteriore strategia in termini di sistema passivo viene esercitata dal fenomeno del raffrescamento evaporativo: da un lato dell'edificio è stata prevista una piscina di modeste dimensioni e dall'altra la realizzazione di piccoli corsi d'acqua, simili a ruscelli, che sfruttano l'acqua meteorica accumulata. I percorsi cingono la struttura per confluire a valle del lotto dove l'acqua viene raccolta in apposita vasca e riutilizzata all'interno del circuito idrico. Infine, per sfruttare al massimo la radiazione solare è stata prevista una parete d'accumulo, ossia una parete di elevato spessore che sfrutta il principio di inerzia termica. Tale espediente viene pensato per la parete esposta a sud, soggetta ad un importante feno-

meno di irraggiamento solare, soprattutto nella stagione estiva. Per ottimizzare gli apporti solari, sono state prese in considerazione la posizioni e le dimensioni dei serramenti al fine di sfruttare al massimo l'illuminazione naturale, nel pieno rispetto delle norme igienico-sanitarie. L'analisi condotta ha tenuto conto sia del rapporto aeroilluminante che del fattore medio di luce diurna, parametro definito dal DM Sanità del 5 luglio 1975, che prevede un valore minimo di illuminamento pari al 2%, il programma Velux Daylight Visualizer ha permesso di valutare i valori per ogni ambiente.

Per quanto riguarda il fabbisogno energetico è stata prevista l'installazione di impianti per la produzione di energia elettrica di natura sostenibile: nella fattispecie si è valutata la progettazione di un impianto minieolico e di uno fotovoltaico. Il primo è stato dimensionato in seguito a calcoli con formule semplificate che tengono conto di nozioni di fluido meccanica e di caratteristiche legate alla tipologia di impianto. Il secondo è stato previsto per essere installato sulla copertura del posteggio auto, quindi esponendo i pannelli a sud-est con inclinazione di circa 35°. È stato, anche, previsto un impianto di climatizzazione tramite il dimensionamento di una pompa di calore invertibile, ed elettrica con funzionamento in entrambe le stagioni, mentre un hydrokit collegata ad essa produce acqua calda sanitaria.

## Valutazioni energetiche

Dalla definizione di precise scelte architettoniche integrate, in parallelo, con le scelte di natura impiantistica e con le strategie di efficientamento energetico, è stato possibile ottenere un edificio energeticamente indipendente e ad elevate prestazioni. Tale considerazione è suffragata dai risultati ottenuti in seguito ad una simulazione energetica tramite la quale è stata raggiunta la classe energetica A4 e l'etichetta di edificio nZEB secondo l'Attestato di Prestazione Energetica.



Figura 2 – Distribuzione del Fattore medio di Luce Diurna nella zona giorno, realizzato con il Software DayLight Visualizer, tratto dalla tesi del Master.

## Riferimenti bibliografici

- Bartoli B. (2010), *La casa passiva: standard energetici per un abitare ecologico*, Esselibri, Napoli.
- Cappucci G. M., *Valutazione dell'efficienza ambientale dei tetti verdi a livello globale: confronto tra casi studio*, tesi di laurea, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, A.A. 2014-2015.
- Confindustria Ceramica, *Criteri Ambientali Minimi*.
- Coppo L. (2021), *L'utilità del tetto verde e i benefici per l'efficientamento energetico dell'edificio*.
- Ente Italiano di Normazione UNI, *Gestione ambientale. Valutazione del ciclo di vita. Requisiti e linee guida*, UNI EN ISO 14040/4. 2006.
- Ente Italiano di Normazione UNI, *Sostenibilità delle costruzioni. Dichiarazione ambientale di prodotto. Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto*. UNIEN ISO 15804. 2012.
- Giordano R. (2010), *I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nei processi edilizi*, Sistemi Editoriali-Edizioni Simone, Napoli.
- Lucia M. G., Duglio S., Lazzarini P. (a cura di) (2018), *Verso un'economia della sostenibilità. Lo scenario e le sfide*, FrancoAngeli, Milano.
- Massa M. F., *Il muro solare: riscaldare la propria abitazione con un guadagno indiretto dal sole*.
- Micocci F., Pulcini G. (1991), *Gli intonaci. Materiali, tipologie, tecniche di posa-tura e finitura, degrado e recupero*, Carocci Editore, Roma.
- Mitja K., Dadiv B., Roman K. (2020), *Interpreting environmental impacts in building design: Application of comparative assertion method in the context of the EPD scheme for building products*, Cleaner Production.
- Olgay V., (1990), *Progettare con il clima*, Franco Muzzio, Padova.
- Pacchioni G. (2017), *Nanotecnologie! Una rivoluzione già iniziata*, Scienza Express, Trieste.
- Paoletta A., (2001), *L'edificio ecologico. Obiettivi, riconoscibilità, caratteri, tecnologie*, Gangemi, Roma.
- Tinti F. (2009), *Geotermia per la climatizzazione*, Flaccovio Editore, Palermo.
- Tramonte S. U., Wallnofer D. (a cura di) (2019), *Benessere e sostenibilità nel recupero edilizio*, Legislazione tecnica, Roma.
- Visa I. (2016), *Sustainable energy in the built environmentsteps towards nzeb*, Springer International Pu, Switzerland.
- Wienke U. (2002), *L'edificio passivo*, Alinea, Firenze.

## **Applicazione dei CAM per la produzione di elementi innovativi in laterizio**

di *Rosario Cavaleri*

Nel progetto di “Casa Cannocchiale”, il laterizio rappresenta uno dei materiali maggiormente utilizzati per la sua realizzazione, presente in blocchi forati nelle pareti perimetrali e in pignatte nei solai. Il contesto siciliano nella quale l’abitazione unifamiliare si instaura, tradizionalmente è fortemente caratterizzato da muraure rustiche di cui il laterizio è facente parte. Oggi il laterizio in architettura rappresenta uno dei principali materiali da costruzione, costituito da argilla cotta ad alte temperature. Viene ampiamente utilizzato per applicazioni di tipo: strutturale, di completamento e di finitura superficiale. Da un’attenta analisi energetica sul laterizio, l’argilla materia prima di cui si compone quest’ultimo è una risorsa disponibile in natura non dannosa all’ambiente, verrebbe da pensare che se costituito da un materiale sostenibile sia per sua natura esso stesso sostenibile, non facendo i conti che per la sua realizzazione necessita di una grande quantità di energia in cottura che porta al depauperamento di risorse non rinnovabili. Il laterizio, di conseguenza, necessita di una profonda innovazione per renderlo maggiormente competitivo su un mercato in continua evoluzione.

### **Obiettivi**

Il seguente elaborato si pone l’obiettivo di rendere più sostenibile da un punto di vista ambientale il laterizio. Per fare ciò si agisce seguendo due strategie: una equivalente all’abbattimento del consumo energetico per la sua realizzazione diminuendo le temperature massime raggiunte durante la cottura e una che cerca di sfruttare il più possibile risorse ormai considerate scarti o rifiuti da altre industrie. Scegliendo la strategia dello sfruttamento di risorse considerate rifiuti, bisogna fare in modo che vengano rispettati i criteri minimi ambientali previsti dal DM 11 ottobre 2017, che sancisce le direttive da seguire per una sua corretta applicazione. Una maggiore sostenibilità del laterizio, rappresenta un incentivo al suo sviluppo, viene raggiunta in questo caso attraverso l’utilizzo di materiali di scarto provenienti da altre filiere produttive aggiunti in percentuale rispetto al peso secco del prodotto finito superiori al 10% nel rispetto dei cosiddetti “criteri minimi ambientali”. I criteri minimi ambientali (fig.1), comunemente chiamati con l’abbreviazione “CAM”, si presentano come dei requisiti di tipo sociale, ambientale ed economico, volti a indirizzare le scelte della Pubblica Amministrazione e dei privati verso quei prodotti, servizi, lavori a più elevato valore di sostenibilità attraverso una classificazione effettuando una valutazione della eco-compatibilità di un componente edilizio. I CAM fanno riferimento alle etichette ambientali che a vario modo forniscono informazioni sul ciclo di vita del prodotto, con riferimento all’utilizzo di materie prime, all’utilizzo di energia, all’emissione di CO<sub>2</sub> e allo smaltimento finale sotto

forma di rifiuti. In tal senso, il Codice degli Appalti attualmente in atto nella valutazione delle offerte economicamente più vantaggiose ha introdotto la valutazione di criteri oggettivi in grado di pesare le performance ambientali, energetiche, sociali ed economiche di media e lunga durata dei prodotti da costruzione, portando molte aziende all'avvio di sperimentazioni sui materiali tradizionali.

## Metodologia

L'oggetto di approfondimento ha visto la produzione di elementi innovativi in laterizio che al loro interno contenessero una percentuale di materiale riciclato pari o superiore a quanto richiesto dalla norma, mantenendo al tempo stesso l'iter produttivo previsto per un materiale di tipo tradizionale. Iter produttivo costituito dalle seguenti fasi: miscelazione (realizzazione di una miscela contenente tutte le componenti che compongono l'impasto), formatura (consente di dare la forma desiderata al materiale ancora plasmabile), essiccazione (comporta l'eliminazione in modo graduale dell'"acqua di impasto") e cottura (definisce le caratteristiche fisico-chimiche del prodotto finito).



Figura 1 – Campioni di blocchi in laterizio realizzati in laboratorio. © R. Cavaleri.

In conseguenza a tutto ciò, nella campagna sperimentale sono state riscontrate varie problematiche nella ricerca di un materiale da aggiungere alla miscela di argilla. Quest'ultimo doveva risultare: compatibile chimicamente e fisicamente all'argilla, facilmente reperibile e con un costo di acquisto basso o addirittura nullo. Operando una selezione attraverso confronti e successive esclusioni, la scelta più opportuna dei materiali di scarto da utilizzare è ricaduta sui seguenti prodotti: vetro, ceramica e altre argille. La campagna sperimentale così avviata ha portato alla realizzazione di varie tipologie di campioni di laterizio, esattamente undici, contenenti al loro interno percentuali differenti di materiale di scarto, le quali sono state testate e di conseguenza valutati i risultati.

## **Risultati**

I campioni sperimentali delle varie tipologie realizzate, sono stati sottoposti a prove, misurazioni, pesature per la valutazione delle loro proprietà e caratteristiche. Sono state effettuate verifiche e analisi dimensionali e procedurali, valutandone la resistenza meccanica minima richiesta per il prodotto essiccato e per il prodotto finito (fig.2), ritiro dimensionale medio post-essiccazione e post-cottura, verifica visiva per la valutazione di imperfezioni o irregolarità, assorbimento d'acqua, test di resistenza ai cicli gelo-disgelo, valutazione delle efflorescenze. Considerando i risultati ottenuti dalle prove chimico-fisiche alla quale i campioni sono stati sottoposti, l'aggiunta di materiale di scarto in quantità superiore al 10% rispetto a un materiale di riferimento denominato "standard" comporta essenzialmente sia aspetti negativi che aspetti positivi. Tra gli aspetti negativi vi è una lieve diminuzione delle prestazioni meccaniche sia post-essiccazione che post-cottura seppur poco significativa e vi sono limiti e criticità per la messa in produzione con relativa successiva commercializzazione, mentre tra gli aspetti positivi vi è il mantenimento della resistenza ai cicli gelo-disgelo, assorbimento d'acqua e valutazione delle efflorescenze che superano gli standard minimi previsti dalla norma;

Tutto ciò ha portato allo studio sulle possibili applicazioni di questa tipologia di materiale e risulta molto interessante l'utilizzo di essi per la realizzazione di elementi in laterizio innovativi qualora dovessero essere rispettati i criteri minimi ambientali previsti dalla normativa italiana che richiedessero prestazioni leggermente inferiori rispetto ai materiali considerati "standard".

# Applicazione di un sistema di climatizzazione idronica per l'nZEB

di *Giovanni Collovà*

## Obiettivi

L'obiettivo del presente elaborato è dimensionare un impianto di climatizzazione idronica al fine di fornire un impianto ad alta prestazione all'edificio di progetto, classificandolo come edificio nZEB. Parallelamente all'impianto idronico, si tenta di dimensionare un impianto fotovoltaico affinché la produzione di energia elettrica venga totalmente demandata al funzionamento dell'impianto idronico e divenendo un sistema integrato indipendente dalla rete elettrica nazionale.

## Metodologia

La continua e inarrestabile crescita del tema energetico, coadiuvato dall'emanazione di normative e direttive atte a limitare i consumi energetici soprattutto nel campo edile, è stata ritenuta un argomento di grande attualità e di rilevante interesse per essere approfondita. Infatti, la Comunità Europea si è rivelata particolarmente sensibile al tema tramite l'emanazione della direttiva 2010/31/UE che introduce il concetto di edificio nZEB. Come riportato all'art. 2 della precedente direttiva, si definisce edificio nZEB (Nearly Zero Energy Building) un edificio che possiede determinate caratteristiche tale da renderlo un sistema ad alta efficienza energetica in funzione di un bilancio tra consumo energetico ed energia prodotta quasi pari a zero, che punta alla sostenibilità e al risparmio energetico.

Per raggiungere tale obiettivo si deve intervenire su vari componenti edilizi, a partire dall'involucro, sia superfici opache che trasparenti, e dalla sua coibentazione fino ad un'attenzione mirata al dimensionamento e alla scelta delle migliori soluzioni impiantistiche. In seguito, contribuiscono gli effetti dell'illuminazione naturale e artificiale, i sistemi di ventilazione naturale e/o meccanica, in concomitanza con la predisposizione del sistema domotico. Successivamente alla progettazione architettonica, che ha tenuto conto degli elementi tecnici nel rispetto delle normative in campo energetico, si è ritenuto necessario attenzionare la progettazione impiantistica.

Grazie alle conoscenze e all'esperienza maturata durante il tirocinio, è stato possibile scegliere le migliori soluzioni per l'impianto di climatizzazione dell'edificio: nella fattispecie è stato scelto un impianto di climatizzazione basato sul funzionamento della pompa di calore. Essa è composta da una macchina esterna, utile per ottenere il calore dell'aria esterna necessaria per il funzionamento, e una macchina interna che procede alla cessione energetica della pompa di calore. L'unità interna, opportunamente pensata per essere installata all'interno del locale tecnico, sfrutta

L'energia elettrica per attivare i componenti che devono conferire il calore del fluido aria al fluido termovettore. Per tale impianto di climatizzazione si è scelta l'acqua come fluido termovettore, rendendo il sistema fortemente ecologico. Inoltre, la pompa di calore designata è invertibile, quindi consente un funzionamento sia nei mesi invernali che in quelli estivi. L'unità interna può essere immaginata come separata in due serbatoi: in uno si prevede la produzione di acqua calda tecnica, nell'altro dell'acqua calda sanitaria per mezzo di implementazione di hydro kit.

A monte dell'impianto vi sono numerose valvole e saracinesche che permettono di invertire o interrompere il flusso in base alle necessità e dall'unità interna dipartono le tubazioni che raggiungono i terminali dislocati all'interno dell'edificio. Per il funzionamento dell'impianto nei mesi invernali viene progettato un impianto a pavimento radiante, pensandone l'installazione in tutte le zone climatiche della casa, ad eccezione dei bagni, della dispensa e del locale tecnico. Ogni zona climatica della casa possiede un particolare tipo di collettore adatto al sistema impiantistico al fine di migliorare le fasi di controllo e manutenzione. Le condotte uscenti dal locale tecnico raggiungono i collettori di zona dai quali dipartono le tubazioni per il pavimento radiante. Per il funzionamento dell'impianto nei mesi estivi sono stati previsti dei ventilconvettori con sviluppo orizzontale; al piano terra vengono pensati con installazione sul tramezzo che divide il locale tecnico dalla zona giorno, mentre vengono progettati da incasso nel controsoffitto del bagno quelli predisposti per le camere da letto al piano superiore. Tali ventilconvettori vengono progettati con tubazioni interne al controsoffitto che sfociano con bocchette per la ripresa dell'aria in prossimità del vano scala e griglie per immissione dell'aria sulle velette in direzione camera.

La simulazione è stata condotta con l'ausilio per programma Termus nella versione di prova gratuita: preliminarmente sono state importate le piante del piano terra e del primo piano, sulle quali sono stati inseriti gli elementi tecnici. Si è deciso di utilizzare gli elementi tecnici che sono stati scelti in team durante la fase progettuale nell'ottica della massima resa in termini energetici. In seguito, sono stati assegnati i vani e predisposta la centrale termica, ossia le caratteristiche dell'impianto di condizionamento scelto. Successivamente alla fase di definizione delle caratteristiche dell'impianto, è stato lanciato il calcolo che ha permesso di ottenere la documentazione correlata, ossia relazione generale, fascicolo tecnico e attestato di prestazione energetica.

Per mezzo di un software, appartenente alla stessa azienda del precedente, è stato dimensionato l'impianto fotovoltaico affinché l'energia prodotta pareggi l'energia di funzionamento della pompa di calore. Nella fattispecie viene ricostruita la volumetria di progetto e predisposta la stringa fotovoltaica sulla copertura del posteggio per le automobili. L'impianto, costituito da 15 pannelli di silicio monocristallino, produce una potenza di circa 3 kW come risultato dopo il calcolo del software. Tali informazioni vengono implementate all'interno della "centrale termica" impostata per l'impianto di climatizzazione idronica.

## Risultati

In seguito al calcolo della simulazione condotta e all'ottenimento del relativo Attestato di Prestazione Energetica "APE", è stato possibile verificare la bontà delle scelte architettoniche e, soprattutto in merito al seguente approfondimento, impiantistiche. Dall'attestato si evince che l'edificio oggetto di studio è stato equiparato ad un edificio di classe energetica A4 e ad energia quasi zero con un indice di prestazione energetica globale non rinnovabile, ossia il valore che indica l'energia totale che viene consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno, pari a 0.5690 kWh/m<sup>2</sup> anno. Per sottolineare l'importanza di aver scelto un impianto a pompa di calore è stata condotta una simulazione con la progettazione di un impianto con caldaia a condensazione, a parità di elementi tecnici e condizioni ambientali.

I risultati hanno dimostrato che l'edificio viene catalogato come classe energetica B. Quindi si conferma la scelta dell'impianto a pompa di calore in merito alla sua prestazione energetica. In definitiva si analizzano gli aspetti positivi della pdc riassumibili nella realizzazione di un sistema fortemente ecologico e una prestazione energetica riferita al parametro COP con valore pari a 5, ossia la conversione di 1 kW di potenza elettrica in circa 5 kW di potenza termica prodotta dalla macchina; inoltre, l'impianto potrebbe diventare indipendente con l'ausilio di un impianto fotovoltaico opportunamente dimensionato in funzione del fabbisogno richiesto. Tuttavia, si deve tener conto dell'importante investimento iniziale che, nell'arco di pochi anni viene interamente recuperato, generando un modesto guadagno mensile.

# Valutazione del sistema X-LAM per l'innovazione tecnologica sostenibile

di *Barbara Seminara*

## Obiettivi

L'obiettivo del presente lavoro consiste nell'espone le motivazioni tecnico-energetiche che hanno portato a prediligere il sistema costruttivo in X-LAM rispetto al sistema tradizionale con struttura intelaiata e tamponamenti in laterizio. Nelle politiche attuali, in cui si predilige l'utilizzo di materiali sostenibili, il sistema X-LAM risulta sicuramente molto competitivo per l'intrinseca rinnovabilità della materia prima.

## Metodologia

Le strutture in legno se ben progettate possono durare molto tempo, si pensi alla Pagoda di Horyuji costruita alla fine del settimo secolo in Giappone, che nonostante i devastanti terremoti, tifoni, tempeste e molti altri disastri naturali che hanno colpito il Giappone risulta ancora intatta ai giorni nostri.

Quando si progetta un'abitazione in legno, ciò che bisogna evitare è il ristagno dell'acqua a contatto col legno stesso. I criteri di difesa per un edificio dal "carico di umidità" sono articolati all'interno dei principi di progettazione, definiti dai paesi anglosassoni come le regole delle "4Ds".

- *Deflection* (deviazione): è il primo principio a livello architettonico per cercare di contenere e minimizzare il carico di umidità. In presenza di venti dominanti è infatti importante prevedere protezioni delle facciate;
- *Drainage* (drenaggio): ha lo scopo di allontanare nel modo più rapido possibile l'acqua dall'edificio;
- *Drying* (possibilità di asciugare): se a seguito di un errore di costruzione dovesse infiltrarsi dell'acqua all'interno delle membrane di tenuta quest'acqua deve avere la possibilità di asciugarsi;
- *Durable materials* (materiali durabili): qualora l'umidità del materiale non possa essere tenuta sotto controllo attraverso l'applicazione dei tre principi precedenti, è consigliabile utilizzare legni pretrattati o provenienti da specie arboree particolarmente durabili.

Il legno inoltre è un materiale igroregolatore quindi assorbe vapore acqueo dall'ambiente e lo rilascia in caso di necessità favorendo un ottimale clima indoor. Le strutture in X-LAM presentano anche un ottimo comportamento dal punto di vista sismico e di resistenza al fuoco, come dimostrato da alcuni studi condotti dal CNR. Un importante istituto di ricerca americano ha messo a confronto due edifici con la stessa forma e le medesime dimensioni. Il primo in calcestruzzo armato e il secon-

do in legno, facendo riferimento alle parti strutturali e alle partizioni attraverso analisi di tipo LCA (Life Cycle Assessment), che prendono in considerazione l'intero ciclo di vita dell'edificio con le risorse impiegate, dal processo di produzione della materia prima fino alla realizzazione completa dell'edificio, e ne è emerso che per costruire una casetta in calcestruzzo si impiegano circa le stesse energie per costruirne due in legno.

Attraverso la costruzione di un edificio in legno anziché in calcestruzzo riusciamo ad ottenere fino al 60% di riduzione di energia primaria.

Con il legno si accorciano i tempi di cantiere e si riduce la produzione di sfridi e rifiuti in quanto i pezzi vengono prodotti in stabilimento e poi successivamente assemblati in cantiere, mentre il calcestruzzo necessita di un tempo di assestamento del materiale che incidono sulle tempistiche di tutte le fasi costruttive.

Il legno per sua natura è un materiale a bassa trasmittanza e di conseguenza naturalmente isolato. Al contrario, il laterizio o peggio ancora il cemento armato e l'acciaio sono materiali a maggiore conduttività. Di conseguenza l'ossatura degli edifici a struttura portante lignea risulta sicuramente avvantaggiata dal punto di vista energetico.

Per fare qualche esempio, la conduttività termica del legno di abete comunemente impiegato in edilizia si posiziona in un range tra 0,13 e 0,20 W/m<sup>2</sup>K, l'acciaio arriva addirittura a 60 W/m<sup>2</sup>K, mentre il cemento armato raggiunge i 2,3 W/m<sup>2</sup>K.

L'edilizia moderna richiede che le nuove costruzioni siano termicamente efficienti e, pertanto, la struttura deve sempre essere abbinata a pannelli isolanti di adeguato spessore, al fine di raggiungere il livello di prestazione energetica desiderato.

Se la struttura portante è realizzata con un sistema a bassa conducibilità termica (legno o laterizio alleggerito/additivato), saranno necessari minori spessori complessivi al fine di raggiungere un determinato valore di trasmittanza. Al contrario i materiali tradizionali come i classici mattoni forati o i blocchi in calcestruzzo necessitano di maggiore isolamento per raggiungere il medesimo obiettivo.

In generale, a parità di prestazioni, gli spessori delle pareti esterne in legno sono quasi dimezzati rispetto a quelle in laterizio isolato. Si tratta di un evidente vantaggio del legno, in quanto è possibile aumentare lo spazio interno degli ambienti o limitare il filo esterno della sagoma dell'edificio.

Per tale ragione si è ritenuto interessante valutare il fabbisogno energetico della "Casa Cannocchiale" effettuando un confronto tra la richiesta di raffrescamento e riscaldamento per il sistema in X-LAM e quello tradizionale intelaiato con tamponamenti il laterizio.

## Risultati

La modellazione dell'abitazione "Casa Cannocchiale" è stata effettuata tramite il plug-in del programma Sketchup, adoperato in versione di prova, BestEnergy.

Sono state impostate le caratteristiche degli elementi opachi e trasparenti, i dati climatici relativi a Trapani (Birgi) ed è stata lanciata la simulazione. I risultati della simulazione, effettuata con il programma open source Open Studio, hanno permes-

so di valutare il fabbisogno per il raffrescamento ed il riscaldamento (in kWh/m<sup>2</sup>) al variare dei mesi dell'anno.

Nella tabella 1 si riporta la stratigrafia adoperata per la costruzione in X-LAM, mentre nella tabella 2 la stratigrafia per la costruzione con il sistema tradizionale. Confrontando le due tabelle si può notare che il cappotto adoperato per la struttura in X-LAM è circa la metà di quello adoperato per la costruzione con il sistema tradizionale.

Nella figura 2 e nella figura 3 si restituiscono rispettivamente il fabbisogno per il raffrescamento e per il riscaldamento espresso in kWh/m<sup>2</sup> al variare dei mesi dell'anno. In entrambi i grafici riportati si vede che i due sistemi sono pressoché equivalenti, in quanto le curve sono quasi sovrapposte ma gli spessori adoperati nella struttura in X-LAM sono circa dimezzati rispetto alla costruzione con il sistema tradizionale. Pertanto, perché costruire in legno?

- È una scelta green ed ecosostenibile;

- I tempi ed i costi necessari per realizzare le strutture in legno sono molto più sicuri e più brevi rispetto alle costruzioni tradizionali, in quanto i pezzi vengono prodotti in stabilimento e poi successivamente assemblati in cantiere;

- Si ha una riduzione del 60% del consumo di energia primaria rispetto ad una costruzione tradizionale;

- Infine, come dimostrato nella simulazione effettuata, a parità di prestazioni gli spessori adoperati per le costruzioni in legno sono quasi dimezzati rispetto a quelle in laterizio isolato.

# Valutazione delle emissioni prodotte in fase di produzione e utilizzo di chiusure verticali

di *Gaetano Camarda*

## Obiettivi

In questo lavoro di ricerca si prova a definire un sistema di comparazione tra sistemi di tamponamento tecnologicamente equivalenti, nell'ottica di stimare la quantità di anidride carbonica emessa per la produzione e l'utilizzo dell'intero pacchetto rispetto ad una casa tipo. Lo scopo è quello di stimare la reale sostenibilità di un sistema tecnologico, prescindendo dalla sua materia prima d'origine (naturale o artificiale), ma considerando il reale impatto in fase di produzione ed utilizzo, stimando le emissioni in atmosfera generate. Attualmente, le normative mondiali, così come le aziende o imprese di produzione e servizi, si affidano a strumenti standardizzati per la stima delle emissioni di gas in atmosfera o generalmente per valutare l'impatto ambientale di un processo. Lo strumento utilizzato oggi a questo scopo è la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD), che fornisce dati ambientali sul ciclo di vita dei prodotti in accordo con lo standard internazionale ISO 14025. Tramite questo strumento è possibile valutare quelli che sono gli indicatori ambientali degli elementi tecnici, e definire per ogni fase del ciclo di vita le relative emissioni. Le diverse tipologie di tamponamento utilizzato, le diverse tipologie di impianti introdotte per il soddisfacimento del fabbisogno, sono alcuni degli elementi che concorrono alla definizione di un sistema integrato sostenibile.

## Metodologia

In una prima fase è stata eseguita una ricerca degli elementi tecnici da utilizzare per la definizione della stratigrafia dei tamponamenti da confrontare. L'ipotesi è quella di definire tre tipologie di tamponamento tipo e studiare in dettaglio le emissioni in fase di produzione e di utilizzo e valutare in maniera dettagliata le proprietà termofisiche. In particolare, per il tamponamento della SicilFerro Torrenovese è stato utilizzato il divisorio "PlastBau" in EPS espanso con guide in acciaio zincato. Dopo un'attenta ricerca su EPD disponibili, sono state scelte varie tipologie di elementi tecnici (laterizio, intonaco, malta, ecc.) necessari per definire le stratigrafie delle tre tipologie di tamponamento da esaminare. In particolare, sono stati identificati i seguenti elementi tecnici con relativi EPD: Laterizio Alveolater 25/30 F55 h19 (Stabila S.r.l), Divisorio Plastbau D200 (Sicilferro Torrenovese S.r.l), MAPETHERm M.Wool (MAPEI), MapeWall Intonaco Base (MAPEI), Klima AirPlus (KeraKoll), Wallboard (Gyproc), Gypframe 92s50 (Gyproc), Adesivo ECO granello (Kerakoll), Steel profiles (Gyproc), SilanColor Pittura/Tonachino (MAPEI).

I valori degli indicatori ambientali ricavati dagli EPD utilizzati, sono quelli relativi al processo di produzione che include le fasi A1, A2, A3, corrispondenti rispettivamente a fornitura delle materie prime, trasporto e produzione. Per poter eseguire una comparazione equa e plausibile dei risultati, è stato scelto come parametro di riferimento dei tamponamenti la trasmittanza termica “U”. Cioè le tre tipologie di tamponamento che saranno definite in seguito, avranno simili valori di trasmittanza termica pari a circa  $U \approx 0.2 [W/m^2K]$ . La scelta di questo parametro, piuttosto che di altri parametri termo-fisici, è legato al fatto che ad oggi in ambito commerciale è usuale riferirsi alla trasmittanza termica come primo parametro che identifica le proprietà termofisiche e le prestazioni dei materiali o prodotti. Gli indicatori ambientali minimi richiesti dalla norma per i prodotti ad uso edile sono:

- GWP, si riferisce al contributo al danno potenziale risultante dall'emissione di quel gas relativa ad un'unità del gas di riferimento (anidride carbonica, a cui viene assegnato il valore 1).

- ODP, la distruzione dello strato di ozono che fa da scudo alla terra dai raggi ultravioletti nocivo alla vita. Il potenziale di riduzione della fascia di ozono in alta atmosfera esprime la presenza di alcune specie chimiche (CFC, HCFC), che amplificano il fenomeno del “buco dell'ozono”.

- AP, il deposito di acidi, il quale ha un impatto negativo sull'ecosistema naturale e negli ambienti costruiti dall'uomo, come ad esempio gli edifici. Queste sostanze abbassano il pH dell'acqua delle precipitazioni con prevedibili danni all'ecosistema.

- EP, il potenziale di eutrofizzazione esprime l'aumento della concentrazione delle sostanze nutritive (principalmente a base di fosforo e azoto) in ambienti acquatici, originando fenomeni di eccessiva crescita delle alghe con conseguente danno alla fauna acquatica.

- POPC, il potenziale di smog fotochimico esprime la formazione di ozono nella bassa atmosfera, causato dall'azione dei raggi solari sui composti volatili (VOC) e ossidi d'azoto (NOx). È comune nelle grandi città, in particolare durante l'estate quando l'irraggiamento solare è più intenso.

- ADPE, il potenziale di esaurimento delle risorse antibiotiche descrive la riduzione delle materie prime di origine animale.

- ADPF,, il potenziale di impoverimento delle risorse abiotiche, descrive la riduzione delle fonti energetiche di origine fossile.

Tutti gli indicatori ambientali dei tamponamenti sono stati calcolati per la fase di produzione, mentre per le simulazioni nella fase di utilizzo si evidenzia soltanto il contributo in termini di GWP [kgCO<sub>2</sub>eq.]. Le simulazioni numeriche e la valutazione di indicatori ambientali, parametri termo-fisici e tutti i risultati ottenuti, hanno richiesto la combinazione di codice scritto appositamente per lo scopo e di software specifico di analisi. In particolare, il linguaggio di programmazione opensource utilizzato per l'esecuzione della maggior parte delle operazioni di post-processing è Python v.3 (in particolare su piattaforma Google Colab), mentre le valutazioni sulle proprietà delle tipologie di sistemi tecnologici messi a punto sono state eseguite con il software IsoRef. Per quanto riguarda le simulazioni numeriche per il calcolo del fabbisogno energetico al variare del tipo di tamponamento, que-

ste sono state eseguite con l'ausilio del framework opensource OpenStudio. Il calcolo del fabbisogno consente di stimare l'energia termica necessaria per il condizionamento estivo ed invernale dell'edificio. Dalle analisi effettuate si evince che, il tamponamento di "TIPO2" è quello con le minori emissioni di gas serra in atmosfera durante la fase di produzione del tamponamento (ovviamente in riferimento alla stratigrafia formulata), per quanto riguarda la fase di utilizzo le emissioni ed i fabbisogni tra le diverse zone climatiche e le diverse esposizioni sono circa uguali per tutte le tipologie di tamponamento, risultato atteso anche viste le proprietà termo-fisiche simili dei tamponamenti.

## **Risultati**

Dai risultati ottenuti si evidenzia che:

- Le analisi eseguite hanno messo in evidenza la differenza sostanziale degli indicatori ambientali legati alla produzione delle diverse tipologie di sistemi tecnologici. Riguardo all'indicatore GWP indagato, il tamponamento TIPO2 risulta essere il campione con le emissioni nocive più basse;
- Le analisi del fabbisogno energetico hanno messo in evidenza che a parità di trasmittanza, il comportamento delle diverse tipologie di sistemi tecnologici è equivalente, in quanto le emissioni nella fase di utilizzo sono simili per tutte e tre le tipologie.



RENDERING



### 13. Progetto sostenibile di edilizia residenziale ad Alcamo: “Casa Terrea”

di Matteo Bevilacqua, Gianluca D’Arpa, Alida Schifano, Roberto Sconduto



Figura 1 – Rendering Casa Terrea, tratto dalla tesi del Master.

#### Abstract

This research work has developed the design of a small sustainable house, which implements all the technological solutions that minimize the environmental impact and energy resources consumption, all of which in the context of Alcamo, Palermo. After the work of design and analyze the house, an internship was carried out, which led to an in-depth study of a topic and/or technology that could be implemented, or that could improve this intervention even more. With these premises, it was decided to articulate the work in the following way: An introductory phase including the relationship between construction and sustainability; The analysis of the municipality and the site given for the design of the house: the municipality of Alcamo, his historical-territorial framework, urban planning and various climatic data were carried out; The definition of the design solution, which led to the definition of the house, studying its exposure and spaces; The in-depth study of all the technological solutions adopted, also through the comparison with the state of the art and the evaluation of alternative solutions, as well as their impact in economic and qualitative terms in the implemented solution.

## Strategie sostenibili

Nel caso del progetto di “Casa Terrea” sono state effettuate delle scelte progettuali che tenessero conto della particolare condizione orografica del territorio a sud est del comune di Alcamo. Sono state ipotizzate strategie per migliorare il comfort abitativo sia in periodo estivo che invernale immaginando una destagionalizzazione della destinazione d’uso residenziale. Per il periodo estivo sono stati utilizzati sistemi tecnologici legati ai vantaggi del tetto giardino e alle schermature solari in modo da migliorare gli effetti della ventilazione naturale. Per quanto riguardano le strategie invernali l’utilizzo combinato di un collettore solare rivolto a sud e posto sul tetto della zona giorno con un impianto di pannelli radianti a pavimento, l’applicazione di un rafforzamento dell’isolamento termico posto a nord sono solo alcuni degli accorgimenti utilizzati.

## Caratterizzazione ambientale

L’area di intervento si trova nel territorio a sud-est del centro abitato di Alcamo, in una zona di espansione dove l’urbanizzazione è rada e composta principalmente da villette isolate. La città di Alcamo non è sottoposta a vincolo paesaggistico se non per una piccola area a nord-est del centro storico, pertanto, si prevede un rapido sviluppo di edilizia residenziale isolata. Il lotto presenta un terreno in forte pendenza con una vista privilegiata sul paesaggio ad est mentre l’ingresso principale avviene da ovest. Il paesaggio è rurale ma poco influenzato da edilizia preesistente. Proprio a partire dall’orografia del terreno si è deciso di organizzare l’edificio funzionalmente e spazialmente su due blocchi, uno superiore ed uno inferiore. Si è quindi tenuto conto dell’esposizione più favorevole in modo da ridurre al minimo l’utilizzo di soluzioni tecnologiche costose e di impianti complessi. In questo senso, il lotto ha già una naturale esposizione sull’asse est-ovest, che favorisce, anche, la vista migliore sulla vallata prospiciente.

Il lotto è stato circondato con delle alberature, tali da garantire privacy e mitigare gli effetti della ventilazione invernale. Lo spazio esterno è stato adibito a varie funzioni che stimolassero la vita all’aperto come: la coltivazione di un orto, una piscina da utilizzare anche come accumulo di acqua fresca per il periodo estivo e altri piccoli spazi da destinare ad attività ricreative collettive all’aria aperta, soleggiati in inverno e ombreggiati in estate. I due blocchi costruiti, sfalsati in altezza sono anche stati distinti da un punto di vista funzionale. I collegamenti verticali sono garantiti da due

scaie, una interna e una esterna che ribadiscono la possibilità di fruire degli spazi della casa sia in maniera introversa, in periodo invernale, che coinvolgendo anche gli spazi esterni in periodo estivo (fig.2). L'ingresso principale all'edificio avviene dal blocco superiore vicino al parcheggio e alla strada di accesso.

La scelta tecnologico-costruttiva è ricaduta su una struttura portante intelaiata in calcestruzzo armato. Questa soluzione risulta essere quella maggiormente utilizzata nel territorio circostante. Pertanto, le sperimentazioni condotte nel caso studio di "Casa Terrea" possono essere anche applicate a edifici che pur avendo la stessa struttura portante non riescono a raggiungere i livelli di sostenibilità richiesti dalla normativa vigente.

Per la copertura dell'edificio si è optato per una soluzione piana con tetto giardino di tipo estensivo, perché offre dei vantaggi rispetto all'isolamento termico invernale, la mitigazione delle temperature estive, l'attenuazione del deflusso delle acque piovane e anche un miglioramento estetico dell'immobile che si integra maggiormente con il paesaggio vegetale circostante.

Per gli spazi esterni la pavimentazione è stata realizzata con un prodotto con altissima capacità drenante formulato con un principio fotocatalitico innovativo, sviluppato e brevettato, per manufatti a base di cemento in modo da ottenere un prodotto in grado di conferire alla pavimentazione performance drenanti, "mangia-smog" e disinfettanti.

Per gli impianti di condizionamento la scelta è ricaduta sui pannelli radianti a pavimento preferendoli ad altri perché sono la soluzione che permette la più alta efficienza energetica per la regolazione della temperatura negli ambienti, assicurando una distribuzione ottimale del calore all'interno degli spazi attraverso sistemi di riscaldamento radiante.

Per le chiusure verticali si è optato per confrontare diversi sistemi di pareti perimetrali verticali che prevedevano: un sistema tradizionale con isolamento a cappotto, un sistema a secco con parete ventilata e uno con facciata microventilata. La scelta è ricaduta – successivamente al calcolo delle stratigrafie e ad un confronto dei parametri estivi ed invernali, influenzati dalla zona climatica di riferimento – sulla parete microventilata perché presentava valori nettamente più vantaggiosi rispetto alle altre due soluzioni.

Per la scelta dei requisiti degli infissi e dei tamponamenti trasparenti si è considerato l'abbattimento dell'effetto serra attraverso l'inserimento delle schermature solari nei prospetti sud, sud-est e sud-ovest. Le soluzioni architettoniche utilizzate hanno avuto l'obiettivo di trovare un compromesso economicamente soddisfacente per il raggiungimento delle prestazioni richieste attraverso l'inserimento di un frangisole orizzontale nel prospetto sud, di un frangisole verticale sul prospetto est e l'applicazione di vetri ad alte prestazioni energetiche. È stato effettuato lo studio dell'inclinazione

delle lamelle delle veneziane e il dimensionamento dei frangisole orizzontali, in base all'incidenza dei raggi solari, immaginando di prevedere una soluzione automatizzata in modo da migliorare il più possibile il livello di prestazione del sistema di schermatura. Per migliorare ulteriormente la condizione di comfort interno, è stata effettuata una simulazione ipotizzando l'impiego, nei prospetti sud, sud-est e sud-ovest, di vetri ad alte prestazioni, secondo le norme EN 673 ed EN 410. Sono stati scelti dei vetri che avessero un elevatissimo livello di trasparenza in modo da assicurare il massimo dell'ottimizzazione della luce naturale. Il livello di trasmissione luminosa ottenuta è pari al 60%, contribuendo al risparmio energetico e alla riduzione dei costi per l'illuminazione artificiale. Per valutare il miglior intervento da applicare alle superfici vetrate, è stato effettuato uno studio della radiazione solare incidente. Questa si è rivelata, a seconda dei casi, come una componente fondamentale per il risparmio energetico, entrando a pieno titolo tra gli strumenti di progettazione. Tramite il software Daylight Visualizer si è effettuato il calcolo illuminotecnico e verificato il fattore medio di luce diurna, l'abbagliamento e l'illuminamento per garantire un livello di luminosità idoneo in tutti gli ambienti (fig.3).

## Valutazioni energetiche

Le strategie passive applicate sono state verificate attraverso le analisi effettuate con il software Open Studio connotando “Casa Terrea” come edificio nZEB; gli output delle simulazioni hanno dimostrato come le scelte progettuali identificate possono far raggiungere un livello di comfort ambientale pari alla classe energetica A4.

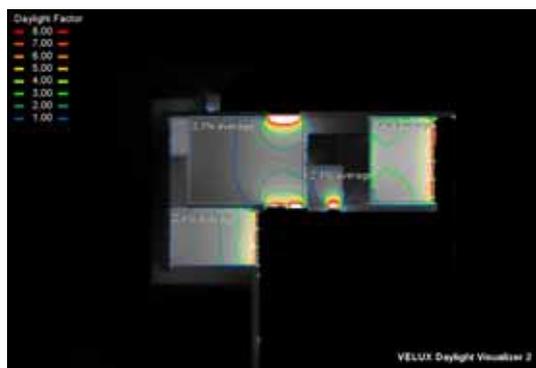


Figura 2 – FLDm calcolato per il piano interrato, realizzato con il software DayLight Visualizer, tratto dalla tesi del Master.

## Riferimenti bibliografici

- ANCE, Direzione Affari Economici e Centro Studi (2018), *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, s.l.
- ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico (2020), *Prestazioni energetiche dei tetti verdi*.
- Bordine G., Pappalettere S. (2019), *Nearly Zero Energy Building. Social Housing*, Altralinea edizioni, Firenze.
- Groppi F., Zuccaro C. (2004), *Impianti solari fotovoltaici a norme CEI*, Editoriale Delfino, Milano.
- ISPRA, Green Building Council (2018), *Sostenibilità applicata alla filiera edilizia e dell'ambiente costruito*, s.l.
- Lafratta P. (2004), *Strumenti innovativi per lo sviluppo sostenibile*, FrancoAngeli, Milano.
- Legambiente (2016), *Recycle. La sfida nel settore delle costruzioni*.
- Lucchi E. (2014), *Riqualificazione energetica dell'involucro edilizio. Diagnostica e interventi*, Flaccovio, Palermo.
- Medved S., Domjan S., Arkar C. (2019), *Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings: Design and Evaluation Methods (Springer Tracts in Civil Engineering)*, Springer, Switzerland.
- Messana F. (2019), *Alcamo, una tappa delle Vie Francigene siciliane*, s.n., Torino.
- Micocci F., Pulcini G. (1991), *Gli intonaci. Materiali, tipologie, tecniche di posa-tura e finitura, degrado e recupero*, Carocci Editore, Roma.
- Mirabella G. (1981), *Alcamo quello che resta*, Sarograf Editore, Alcamo.
- Narducci D. (2007), *Cosa sono le nanotecnologie. Istruzioni per l'uso della prossima rivoluzione scientifica*, Sironi, Milano.
- Paparella R. (2008), *I prodotti fotocatalitici in edilizia*, Cleup, Padova.
- Peretti G. (a cura di) (1997), *Verso l'ecotecnologia in architettura*, BEMA, Milano.
- Pozzato A. (2016), *Etica e nanotecnologie*, Sciascia, Caltanissetta.
- Puppio C. (2017), *La rivoluzione verde del calcestruzzo. L'ecosviluppo delle pavimentazioni*, Engage Editore, Bologna.
- Quaranta C. G. (2016), *La domotica per l'efficienza energetica delle abitazioni*, Maggioli Editore, Rimini.
- Regina V. (1982), *Longarico, Bonifato e Alcamo. Storia bimillenaria di un popolo*, cartograf, Trapani.
- Rey Martinez F. J., Velasco Gomez E. (2020), *Diseño y gestión de edificios de consumo de energía casi nulo: nZEB*, Ediciones Paraninfo, Madrid.
- REHAU - Sistemi di riscaldamento/raffrescamento radiante.
- Trisciuglio D. (2009), *Introduzione alla domotica*, Tecniche Nuove, Milano.
- Vázquez C. J. M. (2020), *La rehabilitación energética en la arquitectura escolar: Hacia el edificio escolar rehabilitado de consumo casi nulo (nZEB)* (Spanish Edition), Editorial Académica Española, Republic of Moldova.
- Vineis D., Casaburi R., Prato F. (2016), *Manuale pratico per la progettazione sostenibile*, Legislazione Tecnica, Roma.

# Caratterizzazione chimico-fisica e meccanica di formulati geopolimeri

di *Roberto Sconduto*

## Obiettivi

Il lavoro di ricerca è stato improntato sulla sperimentazione di un geopolimero da utilizzare come rivestimento impermeabile per supporti in conglomerato cementizio in modo da fornire un materiale di origine naturale che potesse essere utilizzato anche per la progettazione di *Casa Terrea*. La sperimentazione in laboratorio è stata preceduta da un'accurata ricerca in letteratura dei materiali geopolimerici centrata sulla loro natura, composizione, mix design e metodi di impermeabilizzazione, lo studio si è focalizzato sui materiali di partenza di un composto geopolimerico, sulle loro qualità e parametri fondamentali che lo caratterizzano. Si è poi studiata la reattività dei costituenti, partendo da varie formulazioni di prodotti caratterizzandoli in funzione dei rapporti essenziali, al fine di identificare quella che possa avvicinarsi ad un'ideale formulazione del geopolimero, attraverso lo studio delle densità apparenti, densità assolute, porosità e infine delle prestazioni meccaniche quale la resistenza a compressione.

## Metodologia

La scelta di utilizzare materiali geopolimerici è confortata dalla tendenza, negli ultimi anni, di cercare dei materiali sostitutivi al cemento, perché prodotto secondo un processo "energivoro". Attraverso i geopolimeri è possibile invece produrre prodotti a basso impatto ambientale e soprattutto energetico, potendo utilizzare come materie prime scarti di varia natura, fornendo così una "nuova vita" a prodotti considerati, per la maggior parte dei casi, inquinanti. La sperimentazione proposta ha ottenuto un prodotto finale costituito dalla combinazione di precursori e attivatori. Lo studio è stato condotto in sinergia tra l'Università degli Studi di Palermo e un'azienda del territorio siciliano. Utilizzando come materia prima dei metacaolini, prodotti di cottura di argille, anche inadatte alla produzione di materiali ceramici, ottenuti per cottura a bassa temperatura.

I precursori e gli attivatori sono stati analizzati al microscopio elettronico con analisi elementale con microsonda a raggi X in dispersione di energia per quantificare i rapporti molari tra silicio e alluminio nei primi e tra silicio e metallo alcalino nei secondi. Per l'indagine si è usato un microscopio elettronico FEI QUANTA 600 con generatore FEG con microsonda EDS. Il microscopio elettronico è stato usato in modalità basso vuoto (da 0,4 a 0,5 torr di vapore acqueo) in modo da non dover dorare i campioni; inoltre sono state condotte analisi XRD sulle materie prime per la preparazione dei campioni, condotte tramite un diffrattometro Panalytical Emphy-

rean dotato di rilevatore PixCel™, raggi X CuK $\alpha$ , con filtro in Nichel, dimensioni delle slitte di diffrazione e antiscattering scelte in funzione del range angolare indagato, nel caso specifico da 10 a 70° si sono scelte aperture da 1° e 2° rispettivamente, le condizioni operative del tubo a raggi X sono 40 kV e 40 mA. Le indagini condotte in laboratorio hanno mostrato: la prevalenza delle fasi amorfe nelle materie prime dei precursori, condizione fondamentale per l'ottenimento di un geopolimero performante; infatti, i precursori identificati "B" sono di fatto privi di alluminio, mentre quelli "A" presentano un rapporto silicio alluminio non troppo diverso da 1:1, con una leggera prevalenza del silicio; il precursore "C" presenta un rapporto molare Si/Al di circa 2:1. L'analisi dell'attivatore B ha evidenziato la presenza di non trascurabili quantità di ossido di calcio e di magnesio non idrati e di carbonato di calcio. Gli attivatori sono ricchi di fasi amorfe; inoltre, i due "A9" e "A10" presentano un diverso rapporto silicio/potassio 1:1 e 2:1 rispettivamente, analogamente i due attivatori "D11" e "D12" presentano un diverso rapporto silicio/sodio, 1:1 e 1,5:1. A seguito dello studio sulla reattività dei precursori A, mantenendo la stessa quantità molare delle formulazioni precedentemente studiate, è stato aggiunto l'attivatore B. Per le formulazioni è stato adoperato un rapporto tra Si/Al pari a 1,5, valore ideale secondo la letteratura per la realizzazione di un prodotto geopolimerico performante; dunque, sono stati adoperati i seguenti materiali: precursore A + precursore B + attivatore A + attivatore B, usati in polvere; acqua distillata, realizzando tre formulazioni di campioni al variare della percentuale di attivatore B: la prima aggiunta corrisponde circa al 20% in peso della somma delle polveri, definito "quantitativo Base", incrementando ulteriormente 20%, formulazione "+20%", fino al 40%, formulazione "+40%". Per il quantitativo d'acqua sono stati utilizzati dei rapporti minimi e massimi tra totale polveri/acqua (qualora necessario è stata aggiunta dell'acqua per rendere l'impasto lavorabile), considerando per il rapporto minimo pari 0,6, mentre un rapporto massimo pari a 0,85. Gli impasti sono stati poi colati in degli stampi di silicone di forma cubica e parallelepipedica, in seguito lasciati indurire a temperatura e umidità controllata. La sformatura è avvenuta rispettivamente: per i provini cubici dopo cinque giorni mentre per gli altri dopo tre giorni e sono stati successivamente caratterizzarli fisicamente e meccanicamente. Sono stati analizzate prima le proprietà fisiche dei geopolimeri, attraverso lo studio delle densità apparenti medie. Le prove di compressione, eseguite dopo 21 giorni dalla realizzazione dell'impasto, hanno visto l'uso della macchina di prova universale Zwick/Roell con modello Z 005, evidenziando delle prime differenze di resistenze al variare del quantitativo di Attivatore B.

## Conclusioni

I geopolimeri sono sicuramente un materiale innovativo a basso impatto ambientale rispetto ai materiali cementizi. Il processo di attivazione alcalina/geopolimerizzazione non prevede trattamenti termici ad alta temperatura né l'utilizzo di materie prime ricche di carbonati né l'uso di reagenti chimici costosi. Alla luce dei risultati e della campagna sperimentale si è giunti alle seguenti considerazioni: le caratteri-

stiche dei precursori e attivatori a parità di rapporto molare Si/Al, influenzano le proprietà chimico-fisiche e meccaniche dei geopolimeri; l'uso dell'attivatore B nei composti geopolimerici, oltre a modificare le proprietà fisiche, reagisce meglio con alcuni dei precursori (in particolar modo A1 e A19). La formulazione di un geopolimero con l'uso dell'attivatore B risulta corretta e promettente, visti i primi risultati. La ricerca non è ancora conclusa, per il futuro si prevedono ulteriori, estese ed approfondite prove sui geopolimeri con l'uso dell'attivatore di tipo B, il miglioramento della condizione di maturazione dei prodotti e la realizzazione di formulazioni al variare di attivatori di tipo A.

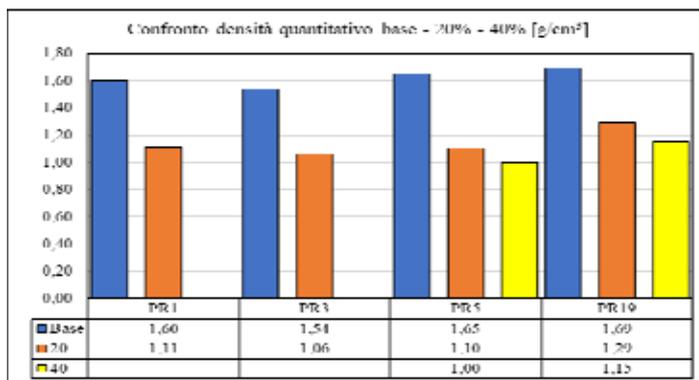


Figura 1 – Calcolo, studio e confronto delle densità apparenti. © R. Sconduto.

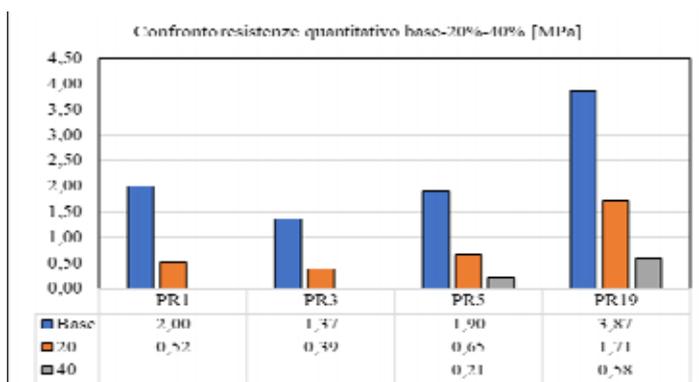


Figura 2 – Calcolo, studio e confronto delle resistenze con macchina di prova universale Zwick/Roell con modello Z 005 al variare del quantitativo di Attivatore B. © R. Sconduto.

# Analisi e valutazione dell'efficienza di vernici termoisolanti

di *Matteo Bevilacqua*

## Obiettivi

L'obiettivo del presente elaborato è analizzare l'efficacia di una finitura termoisolante comparandola a quelle tradizionali al fine di valutare il miglioramento rispetto a queste ultime nei casi in cui fosse applicata su una parete perimetrale verticale sia in assenza che in presenza di uno strato isolante con caratteristiche medie rispetto a quelle dei materiali in commercio.

## Metodologia

In prima istanza è stata eseguita una valutazione preliminare dello stato dell'arte che ha consentito di classificare le vernici termoisolanti commerciali in quattro categorie principali:

- Le *vernici termoisolanti "effetto barriera"* fanno riferimento a soluzioni che riescono a raffreddare passivamente ciò su cui vengono applicate bloccando il trasferimento di calore. Di solito, sono scelte sostanze capaci di formare film con una bassa conduttività termica oppure vengono scelti dei filler sempre a bassa conduttività inseriti nella matrice, in modo tale da abbassare la conduttività generale e migliorare le performance dell'intonaco. Questa tipologia di vernici termoisolanti è generalmente disponibile come materiali grezzi, a basso costo, ottenuti tramite una preparazione relativamente semplice, e possono essere applicati su qualsiasi tipo di superficie. Sono usati generalmente nel campo dell'isolamento termico industriale come condotti e caldaie. Tuttavia, a causa dell'introduzione di molta aria nel composto, solitamente sono presenti dei pori che portano ad un aumento dell'assorbimento d'acqua con un conseguente peggioramento delle caratteristiche di isolamento. Per questo motivo, è necessario aggiungere uno strato impermeabile dopo aver applicato l'intonaco, con un conseguente difficoltà di messa in opera.

- Le *vernici termoisolanti "riflettenti"*, conosciute anche come vernici termoisolanti solari, sono sviluppate con strati di rivestimento a base di alluminio. Il loro primo utilizzo è stato in campo aerospaziale e militare, e sono state ampiamente usate nell'industria petrolifera e petrolchimica, per l'effetto sulla riduzione delle radiazioni solari. Negli ultimi anni, sono state eseguite anche ricerche per applicazioni in campo domestico, lavorando sulla composizione delle resine con un mix di pigmenti e filler. Questo tipo di vernici termoisolanti hanno una più alta riflettività che aumenta la capacità di riflettere il calore; tuttavia, a causa dei limitati spessori usati, questo effetto non è percepibile quando viene utilizzato da solo, quindi, deve essere integrato con un sistema di isolamento esterno, il quale incrementa il costo di costruzione.

- Le vernici termoisolanti “radianti” emettono l’energia radiante assorbita ad una certa lunghezza d’onda. Per rendere questi strati più radianti bisogna aggiungere filler con un picco di bassa emissione, in modo da convertire l’energia solare in calore e ridirigerla nell’atmosfera. Comparati con i primi due tipi di intonaci, questo tipo può attivamente assorbire il calore per isolare lo strato a cui è applicato. Tuttavia, a causa della complicata selezione e del processo di sintering dei materiali utilizzati, il costo è alto, e l’emissività non può essere controllata al meglio, per cui questo tipo di intonaco necessita ancora di ulteriori approfondimenti.
- Le vernici termoisolanti “composite” sono l’ultima tipologia di vernici termoisolanti. Queste creano una sinergia tra i composti prima descritti attivando diversi meccanismi di isolamento termico per prevenire la trasmissione del calore.

Tramite queste considerazioni preliminari è stato possibile valutare la trasmittanza termica di alcuni prodotti in commercio tramite lo studio delle relative schede tecniche e della composizione del rasante e della vernice termica.

Tale analisi è stata supportata dalla norma UNI/TR 11552, che classifica i componenti opachi delle strutture edilizie. Tra i parametri fissi utilizzati, oltre alle pareti che da norma hanno valori stabiliti di trasmittanza e materiali, è stato scelto uno spessore di primer e di intonaco pari a 10 mm cadauno e un cappotto termico con caratteristiche intermedie in commercio.

Per l’intonaco di confronto sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Permeabilità al vapore  $\mu=1$ ;
- Massa volumica 70 [kg/m<sup>3</sup>];
- Calore specifico 1030 [J/kgK];
- Conducibilità termica  $\lambda=0,9$  [W/mK];
- Maggiorazione 0.

L’applicazione è stata ipotizzata sulle pareti esterne di “Casa Terrea” attraverso il software che automaticamente ricava i dati climatici utili allo studio della parete presa in esame. Le pareti scelte per il confronto delle prestazioni del materiale individuato sono state considerate tra quelle che potrebbero essere messe in opera nel territorio siciliano con particolare riferimento a:

- **MLP01:** Muratura in mattoni pieni;
- **MLP03:** Muratura in laterizio semipieno;
- **MPI02:** Parete in pietra;
- **MPI03:** Muratura in blocchi squadrate di calcarenite;
- **MCO01:** Muratura in mattoni e sassi;
- **MCO02:** Muratura a sacco con riempimento debolmente legato;
- **MCO03:** Muratura in blocchi forati di calcestruzzo;
- **MPF01:** Parete in calcestruzzo;
- **MPF02:** Parete in laterizio + pannello prefabbricato.

In totale sono state eseguite circa quaranta prove, di cui si riportano solo quelle più aderenti alle soluzioni costruttive più utilizzate nell’edilizia siciliana. Per ciascuna simulazione sono state considerate quattro diverse soluzioni:

1. come da norma UNI/TR 11552;
2. come da norma con l'aggiunta dei prodotti in esame;
3. come da norma con l'aggiunta di un pacchetto comprendente il cappotto termico;
4. come da norma con l'aggiunta di un pacchetto comprendente il cappotto termico ed i prodotti in esame.

Per le analisi è stato utilizzato il programma Termus-G, il quale consente di determinare il grafico delle pressioni ed effettuare la verifica per la condensa interstiziale; inoltre consente di ricavare la trasmittanza di ogni strato. Le stratigrafie sono state così composte (si precisa che nei primi due casi in cui lo strato isolante è assente):

1. intonaco interno (s. 20 mm);
2. muratura da norma UNI/TR 11552 (s. variabile);
3. intonaco esterno (s. 20 mm).

Nel caso in cui sono stati applicati i due strati termoisolanti la stratigrafia cambia come di seguito:

1. intonaco interno (s. 20 mm);
2. muratura da norma UNI/TR 11552 (s. variabile);
3. rasante (s. 10 mm);
4. intonaco termico (s. 10 mm).

Nei successivi due casi, in cui si ha anche la presenza dello strato isolante, la stratigrafia risulta essere:

1. intonaco interno (s. 20 mm);
2. muratura da norma UNI/TR 11552 (s. variabile);
3. barriera al vapore (s. 1 mm);
4. pannello isolante (s. 30 mm), con una trasmittanza termica pari a 0,033 W/m<sup>2</sup>K;
5. intonaco esterno (s. 20 mm).

Nel caso in cui gli strati finali sono stati sostituiti con quelli in esame la stratigrafia risulta essere invece:

1. intonaco interno (s. 20 mm);
2. muratura da norma UNI/TR 11552 (s. variabile);
3. barriera al vapore (s. 1 mm);
4. pannello isolante (s. 30 mm);
5. rasante (s. 10 mm);
6. intonaco termico (s. 10 mm).

## **Risultati**

In seguito alla valutazione della trasmittanza per ciascuna tipologia si è proceduto a riassumere i dati ottenuti in delle apposite tabelle, di seguito riportate (fig. 1 e 2).

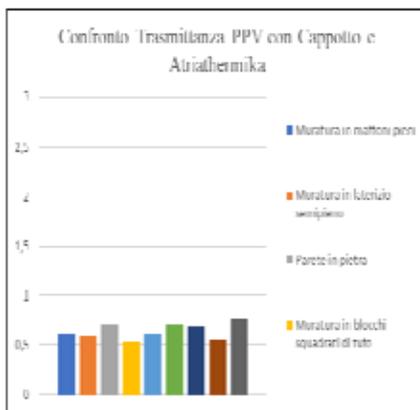
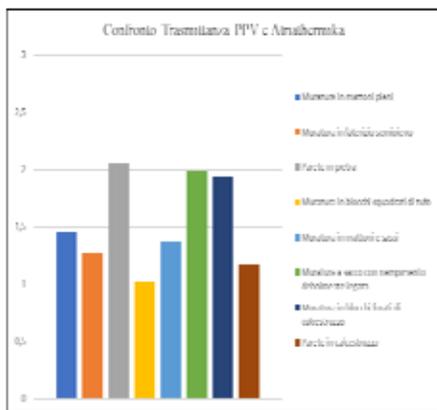


Figura 1 e 2 – Confronto della trasmittanza delle pareti perimetrali verticali, con e senza cappotto, ed applicazione di AtriaThermika, tratto dalla tesi del Master.

Come si può notare, il caso nel quale si ottiene una trasmittanza inferiore è quello della muratura in blocchi squadrati di calcarenite con, rispettivamente:

- la parete senza alcun isolamento esterno (1,023 W/m²K);
- la parete in cui è stato inserito l'isolante (0,523 W/m²K).

Di contro, si è ottenuta una maggiore variazione della trasmittanza nel caso della muratura in mattoni pieni, con una variazione tra la tipologia standard data dall'UNI/TR 11552 e dalla stessa a cui è stato applicato il prodotto termoisolante, pari al 35%.

## Sistemi innovativi in legno per l'efficiamento energetico

di *Alida Schifano*

Il settore delle costruzioni in legno ha dimostrato negli ultimi dieci anni forti potenzialità nel campo della sostenibilità materica, costruttiva ed energetica. I progressi tecnologici raggiunti dal settore industriale hanno esaltato ulteriormente le qualità intrinseche del materiale: ottimo rapporto peso/prestazioni meccaniche, buone capacità di isolamento termico, lavorabilità, flessibilità d'impiego ed elevata sostenibilità ambientale.

### Obiettivi e metodologia

Per tali ragioni è stata indagata la possibilità di applicazione anche nell'ambito della progettazione di *Casa Terrea*. In particolare, sono state perseguite le seguenti strategie:

Applicazione di pannelli in XLAM per garantire un risparmio energetico dato l'alto valore di resistenza termica dei diversi pacchetti. Si è previsto un intervento sulla struttura portante tramite la tecnologia XLAM, ossia impiegando, per pareti ed impalcati, pannelli in legno massiccio multistrato che coniugano le esigenze di benessere degli utenti con la necessità di impiegare tecnologie che garantiscano il minimo impatto ambientale e l'eco-sostenibilità dell'intervento. Realizzati con tre strati di tavole in legno di conifera, gli strati lamellari vengono incollati tra loro trasversalmente con colle senza formaldeide. Montare una struttura in XLAM è estremamente veloce e, poiché tutti i dettagli vengono calcolati e progettati prima di arrivare in cantiere, si riescono a garantire la massima qualità e cura del montaggio nonché le prestazioni finali dell'edificio. Il legno possiede naturalmente delle ottime qualità isolanti ed una bassa conduttività termica, queste caratteristiche favoriscono la coibentazione degli ambienti interni. Le strutture realizzate in pannelli XLAM presentano anche un'alta resistenza al fuoco permettendo un'evacuazione sicura. Gli edifici costruiti in XLAM possono, in alcuni casi, non riportare danni strutturali all'ossatura dell'abitazione. Il sistema costruttivo messo a disposizione da XLAM permette una determinazione precisa degli effettivi tempi e costi certi di realizzazione dell'edificio. La tecnologia impiegata garantisce la durabilità del legno nel corso dei decenni. Basta osservare alcuni celebri esempi di strutture storiche come la più antica casa in legno in Europa, Casa Nideröst in Svizzera, realizzata più di 800 anni.

Cappotto termico in fibra di legno, offre il vantaggio della continuità dell'isolamento, eliminando fenomeni di condensa e muffe e permettendo di migliorare il comfort termico e acustico dei locali interni. Per ottenere buone prestazioni energetiche è opportuno scegliere pannelli isolanti caratterizzati da una bassa conducibilità termica, mentre per resistere all'azione degli agenti atmosferici sono indicati ma-

teriali caratterizzati da idonea permeabilità al vapore e da una scarsa capacità di assorbimento dell'acqua piovana. Questi sistemi hanno la certificazione internazionale ETA. I pannelli per cappotto termico in fibra di legno sono isolanti rigidi con un'elevata resistenza a compressione e idrorepellenti, I materiali impiegati sono completamente naturali e realizzati con materie prime e cicli di vita sostenibili. L'elevata stabilità dimensionale dei prodotti, al variare delle condizioni termogrometriche, aiuta ad eliminare l'espansione e la fessurizzazione che possono ridurre la durata del rivestimento esterno. Minori dilatazioni e fessurizzazioni significano un incremento della durata del cappotto.

Pannelli di rivestimento in legno e plastica riciclata, dotati di uno scudo di qualità superiore, tecnologicamente avanzato, che riveste sui quattro lati il nucleo centrale. Lo scudo e il nucleo vengono co-estrusi in uno stampo ad alta temperatura, evitando in questo modo collanti o sostanze chimiche dannose per l'ambiente. Grazie agli elevati standard tecnologici e all'impatto minimale che offrono, i rivestimenti in legno si inseriscono in svariati contesti senza snaturarli, anzi valorizzandoli. Dagli spazi privati a quelli pubblici, dalle aree verdi al decking in aree soggette a particolari condizioni atmosferiche. I materiali costituenti sono estremamente resistenti e non necessitano di manutenzione senza mai alterarne la cifra progettuale. Il decking arricchisce lo spazio outdoor, creando un dialogo armonioso tra la natura e il design dei materiali che ad essa si ispirano. I rivestimenti verticali possono essere realizzati con i medesimi sistemi utilizzati a pavimento. Le collezioni di legni compositi e di legni naturali si compongono di profili tecnologicamente avanzati, caratterizzati dall'ampia scelta di colori, finiture e geometrie per poter offrire al progettista la soluzione adatta a qualsiasi esigenza architettonica. Il più adatto al progetto di *Casa Terrea* è un composito in legno-plastica incapsulato, dotato di uno scudo di qualità superiore, tecnologicamente avanzato, che riveste sui quattro lati il nucleo centrale. Lo scudo e il nucleo vengono co-estrusi. Il nucleo è costituito da materiali riciclati attentamente selezionati e da fibre riciclate di legno duro e polietilene ad alta densità, che garantiscono maggiore resistenza e durabilità. Lo scudo usa un tecnopolimero avanzato con una formulazione che fornisce alle tavole protezione 'ultra' contro macchie, muffa, viraggio di colore, deterioramento estetico.

## **Conclusioni**

Da un'analisi economica qualità-prezzo sulla possibile applicazione di questo prodotto innovativo è emerso che sarebbe possibile un costo del pannello pari a 45 €/m<sup>2</sup>.

## **Il BIM per l'applicazione dei CAM**

di *Gianluca D'Arpa*

BIM è l'acronimo di Building Information Modeling, ovvero, letteralmente, “modello di un edificio con informazioni di progetto”. Non è un semplice software ma bensì una metodologia che prevede l'applicazione di più software adatti alla progettazione e alla costruzione (BIM Authoring), tali da verificare, controllare e gestire le molteplici fasi di sviluppo di un progetto di architettura. Tutto ciò che informa il settore edile e delle costruzioni viene, proprio per mezzo del BIM, gestito e processato digitalmente.

### **Obiettivi**

La progettazione BIM e i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'edilizia sono alcuni dei punti di riferimento che guidano un approccio sostenibile al settore delle costruzioni. Entrambi permettono di attuare strategie innovative per l'intero settore edile, dalle nuove costruzioni alla gestione del parco edilizio esistente. Ciò in quanto entrambi gli strumenti hanno come obiettivo comune la visione globale di tutto ciò che riguarda un edificio, ovvero il suo intero ciclo di vita. Con i metodi e gli strumenti informatizzati del BIM è possibile gestire, fin dall'inizio, la programmazione, la progettazione, la realizzazione, la gestione, fin anche la dismissione dell'opera. Allo stesso modo, attraverso l'applicazione dei CAM è possibile controllare la scelta delle tecnologie adottate e dei materiali impiegati, vale per tutti la valutazione del contenuto di materia riciclata in fase di realizzazione, ma anche la possibilità di disassemblaggio e riciclo degli stessi materiali a fine vita. Ciò ha orientato la scelta di applicare questi due strumenti di lavoro sia nella fase progettuale dell'edificio proposto che per poterne controllare le prestazioni ottenibili.

### **Metodologia**

L'edificio è stato modellato con programma di BIM Authoring Autodesk Revit in versione Educational per consentire la condivisione delle informazioni esternamente mediante l'uso del formato di interscambio IFC. Particolare importanza è stata posta alla scelta e controllo dei materiali da costruzione utilizzati, per i quali sono state specificate le proprietà termofisiche in modo da poter verificare diverse strategie adatte alle diverse esigenze ambientali.

Conclusa la fase di realizzazione e definizione del modello architettonico in tutte le sue parti questo è stato tradotto in Termolog EpiX (versione di prova) per la verifica dei criteri CAM tramite il formato di interscambio IFC. Al fine di poter condi-

vedere le informazioni necessarie per rendere efficaci il flusso di lavoro BIM è stato fondamentale scegliere i parametri corretti da esportare in IFC, come materiali, proprietà e quantità.

Il progetto BIM importato permette di conservare tutti i dati necessari per procedere con l'analisi termica, in conformità alle norme vigenti, secondo un modello energetico di riferimento. Risulta comunque necessario implementare ulteriormente le informazioni che permettono all'edificio importato dal programma di BIM Authoring di diventare un vero e proprio progetto energetico. La maggior parte di queste informazioni sono già trasferite direttamente tramite il file IFC, altre invece dovranno essere implementate in aggiunta come ad esempio i ponti termici.

Per eseguire le simulazioni energetiche sono state impostate alcune condizioni: è stato scelto un sistema costruttivo di tipo a secco per l'isolamento esterno, i sistemi impiantistici considerati sono quelli per la climatizzazione estiva ed invernale, oltre a quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria. In particolar modo per la produzione di ACS e riscaldamento è stata considerata una caldaia a condensazione modulante da 22 kW, supportata da un impianto solare termico con sistema di accumulo da 300l posto all'esterno dell'edificio, per il raffrescamento estivo sono state considerate due pompe di calore inverter da 12000 BTU (per un totale di 7 kW circa); infine, per i fabbisogni dell'energia elettrica, è stato considerato un impianto fotovoltaico esterno all'edificio da 3,5 kW.

Si è, inoltre, fatto riferimento al Decreto CAM che impone, per i locali regolarmente occupati, di garantire un fattore medio di luce diurna (FLDm) maggiore del 2%, orientando le superfici delle zone giorno a sud-est, sud, sud-ovest in modo da migliorare il comfort degli ambienti e allo stesso tempo di predisporre sistemi di schermatura solare sui componenti finestrati in modo da ridurre i fenomeni di abbagliamento. Nel modello sono stati quindi distinti gli ambienti con occupazione regolare (ovvero quelli dove si trascorrono più di due ore al giorno) da quelli con occupazione saltuaria, per poter verificare il requisito solo negli ambienti dove necessario. Si è ritenuto di escludere quegli ambienti che risultano essere di passaggio e di servizio.

È stata effettuata un'ulteriore verifica del rapporto aeroilluminante (ovvero il rapporto tra la superficie del pavimento e quella delle finestre) che non deve essere inferiore a 1/8. Anche in questo caso sono stati presi in considerazione solo gli ambienti con occupazione regolare.

Infine, è stata effettuata una revisione delle specifiche tecniche dei componenti edilizi che influenzano l'impatto ambientale di tutta l'opera, sia in fase di costruzione che a fine vita. Come già detto, i requisiti CAM richiedono e privilegiano l'utilizzo di materie riciclate, al fine di ridurre i rifiuti da demolizione e costruzione e favorire il recupero degli stessi. I parametri legati ai componenti edilizi devono essere applicati per tutte le nuove costruzioni e per tutti i materiali che sostituiscono quelli esistenti nel caso di ristrutturazioni. E' stata, quindi, definita, per ogni materia costituente le strutture ed importata dal file IFC, la categoria di riferimento, il contenuto di materiale riciclato e riciclabile e l'eventuale utilizzo strutturale, scegliendo, poi, quali materiali sottoporre a validazione.

## **Conclusioni**

Dal percorso svolto si evidenzia come la metodologia BIM ben si interfaccia con le verifiche da effettuare per il soddisfacimento dei Criteri Ambientali Minimi, sia per la qualità ambientale, che per la valutazione della prestazione energetica o ancora per quelle di riciclo e disassemblabilità.

Le soluzioni prese in esame risultano verificate, avvalorando quindi le scelte progettuali e tecnologiche adottate. In ultima analisi è possibile, grazie alla simulazione del modello energetico, ricavare l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) dell'edificio, grazie al quale è possibile quindi conoscere la prestazione energetica globale dell'edificio e la derivante classe energetica. Per le tipologie costruttive proposte e analizzate l'edificio rientra nella classe energetica A4, rispettando gli standard richiesti dagli edifici a energia quasi zero (nZEB).



## *14. Strategie e materiali innovativi: proposte sostenibili*

di *Simona Colajanni, Marco Bellomo*

Nel settore delle costruzioni, in Italia come nel resto del mondo, il governo ha messo in atto una serie di operazioni di incentivazione (superbonus ecobonus e sismabonus<sup>1</sup>) che hanno avuto come conseguenza una ripresa del comparto edilizio e del mercato immobiliare. Anche le Regioni e i singoli Comuni si stanno lentamente allineando alle politiche Europee e nazionali, dimostrano un'attenzione crescente per i problemi connessi con i consumi energetici degli edifici, in particolar modo per l'incidenza economica degli stessi sui bilanci statali e familiari. Le politiche statali ed europee tendono progressivamente a ridurre gli sprechi ed i consumi energetici, incentivando interventi mirati sugli edifici pubblici e privati, alimentando così gli investimenti nel settore delle costruzioni, attivando un importante volano dell'economia italiana. Nell'ambito di questo contesto in rapida evoluzione si continua a fare riferimento al D.M. 26/06/2015<sup>2</sup> dei "Requisiti minimi", normativa che indirizza lo sviluppo energetico fornendo specifiche indicazioni per l'ottenimento di un edificio nZEB di nuova costruzione e di riqualificazioni dell'edilizia esistente. Da ciò ne discende che le scelte tecnologiche e le strategie innovative per programmare un progetto sostenibile possono essere ricondotte ad un "work breakdown structure" dove possono essere individuati 5 capitoli principali: le strutture di copertura, le strutture opache verticali, le strutture tecniche trasparenti, le strutture opache di pavimento, gli impianti tecnologici.

<sup>1</sup> Decreto Legge n.34 del 19 maggio 2020, (art.19) Decreto Rilancio, super ecobonus super sismabonus.

<sup>2</sup> Decreto interministeriale 26 giugno 2015 – Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

I progetti sviluppati durante il percorso del master in Materiali e Tecniche Innovative per l'Edilizia Sostenibile hanno approfondito scelte tecnologiche e sostenibili coniugando metodi tradizionali con nuove metodologie di intervento. In particolare, l'attenzione è stata focalizzata su un edificio di edilizia residenziale nel territorio della Sicilia occidentale. L'occasione ha permesso di sperimentare una progettazione sostenibile in clima mediterraneo in modo da conciliare istanze architettoniche con tecnologie e materiali locali al fine di raggiungere un comfort ambientale interno ed esterno con il minor quantitativo di emissioni nocive. I cinque progetti sviluppati sono stati contestualizzati rispetto al territorio della Sicilia occidentale, in un paesaggio rurale collocato in un'area collinare pedemontana con vista sulla costa trapanese. La peculiarità delle soluzioni proposte risiede proprio nel tentativo di conciliare sistemi tradizionali di costruzione con un'ormai diffusa innovazione tecnologica e sperimentazione materica.

Il progetto sostenibile di edilizia residenziale ad Alcamo, denominato "Casa Terrea", approfondisce quattro specifiche tematiche: l'impermeabilizzazione con i formulati geopolimerici, le prestazioni delle vernici termoisolanti, l'uso dell'Xlam per edilizia residenziale, e l'applicazione dei criteri ambientali minimi in ambiente BIM. Il concept di "Casa Terrea" tiene conto di scelte progettuali sensibili sia per quanto riguarda i materiali che la programmazione tecnologica. Infatti, grazie alla gestione della complessità del BIM e lo studio dei CAM, è stata fatta un'analisi di efficienza energetica e rispondenza ai requisiti minimi. In particolar modo è stato dato uno specifico peso all'analisi delle prestazioni fornite dai sistemi di rivestimento esterno e dall'impiego del legno per la costruzione a secco. Per il primo aspetto è stato fatto uno studio delle finiture di intonaco con vernici termoisolanti in rapporto con le finiture di intonaco tradizionali, sottolineando come le prime producano valori di trasmittanza più bassi delle finiture tradizionali utilizzate nell'area di intervento. Un valore aggiunto al progetto è stato ottenuto grazie all'applicazione di sistemi di costruzione a secco in legno come nel caso dei componenti in xlam che velocizzano i tempi di realizzazione rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali, ottenendo un cantiere veloce ed efficiente oltre che un edificio con buone capacità di isolamento termico. Una scelta progettuale che guarda all'innovazione senza abbandonare la tradizione è quella del progetto di edilizia residenziale a Buseto Palizzolo denominato "Long House", dove sono state approfondite, oltre che le analisi energetiche e dei sistemi innovativi a secco, anche il confronto tra due particolari sistemi di caratterizzazione dell'involucro edilizio: la calce e l'intonaco.

Nel primo caso la strategia innovativa riguarda la possibilità di applicazione della calcecanapa come biocomposto da utilizzare all'interno del pacchetto di involucro dimostrandone l'efficacia rispetto sia alle scelte tradizionali non bio che ai requisiti minimi dei CAM<sup>3</sup>.

Nell'ambito dell'utilizzo di materiali naturali per l'isolamento termico, anche il progetto "Casa Salina" mette in atto le strategie per l'impiego di un pannello in canapa o in sughero, confrontando entrambe le soluzioni di bioedilizia che, con un indice di trasmittanza minore rispetto a una soluzione tradizionale, permettono un riciclo quasi totale durante la successiva fase di dismissione dei componenti edilizi proposti.

Nello stesso progetto viene sviluppata l'analisi del sistema impiantistico idrotermosanitario in modo tale da contribuire all'innalzamento dell'efficienza energetica dell'edificio. In "Casa Salina", infatti, l'utilizzo di impianti innovativi, energeticamente sostenibili, è uno dei sistemi per raggiungere l'obiettivo fondamentale di realizzare un organismo efficiente e quanto più ad energia zero.

Nel progetto di "Casa sul Mare" a Selinunte, il rapporto tra edilizia tradizionale ed innovativa è stato declinato attraverso la progettazione di una copertura ad alte prestazioni energetiche comparando due diverse soluzioni costruttive. L'obiettivo è stato quello di dimostrare l'efficacia di due diversi sistemi tecnologici per l'efficientamento energetico delle coperture: cool roof e green roof. Nel primo caso è stata analizzata la capacità di riflettere l'irradiazione solare, mentre nel secondo caso è stata valutato l'innalzamento dell'inerzia termica del tetto per effetto del pacchetto erboso. In questo progetto è stata anche messa in evidenza l'importanza di una cantierizzazione sostenibile, momento fondamentale della costruzione dell'edificio. Già dalla progettazione di layout si possono prendere decisioni che influenzano l'efficienza energetica di una determinata fase delle lavorazioni, basti pensare alla possibilità di risparmio offerta dal riciclo di materiali provenienti da scavi e demolizioni o l'uso sapiente dell'acqua in fase di cementificazione dei vari componenti edilizi.

La "Casa Cannocchiale" a Val d'Erice presenta un approfondimento sui materiali tradizionali in chiave di *green economy*: è stata infatti condotta un'analisi del mattone in laterizio inteso come elemento costruttivo formato oltre che da materie prime tradizionali anche da una parte di materiale di scarto. Ciò permette di inserire questo prodotto in un virtuoso circuito di *green economy* che vede una innovazione di processo, introducendo nella fase produttiva la possibilità sia di un successivo riciclo che di innovazione

<sup>3</sup> Legge 28 dicembre 2015 n.221, Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali

di prodotto attraverso l'inserimento di determinate quantità di materiale di scarto nella produzione di nuovi materiali con valori che in alcuni casi hanno anche superato i valori previsti dalla normativa italiana, pur conservando le caratteristiche di resistenza meccanica richieste.

Nell'ambito della ricerca tecnologica e innovativa delle strategie per l'edilizia sostenibile vi sono ad oggi una molteplicità di strategie che portano all'ottenimento dei requisiti richiesti dalla normativa.

I progetti sviluppati durante le attività del master hanno scandagliato alcune di queste strategie con particolare attenzione all'ottenimento di un efficientamento derivato da azioni sull'involucro, sugli impianti ma anche dall'analisi chimica dei materiali impiegati.

I processi ed i materiali innovativi che il settore dell'edilizia sta mettendo in campo possono effettivamente incidere sulla possibilità di poter trasformare le sorti dell'inquinamento del pianeta dando, quindi, una risposta concreta a quella che ad oggi sembra un'irrefrenabile domanda, grazie anche e soprattutto agli sviluppi tecnologici contemporanei che possono effettivamente raggiungere i sempre maggiori livelli di confort richiesti per gli edifici.

## *Gli autori*

*Flavia Barbera*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Marco Bellomo*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura e dottorando di ricerca in Architettura, Università degli Studi di Palermo.

*Roberto Bertini*, direttore del Consorzio Universitario UNISOM.

*Matteo Bevilacqua*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Maria Bica*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Gaetano Camarda*, laureato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, corsista del Master METIES e dottorando di ricerca in Ingegneria delle Strutture, Università degli Studi di Palermo.

*Rosario Cavaleri*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Simona Colajanni*, professore associato di Architettura Tecnica, Università degli Studi di Palermo.

*Giovanni Collovà*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Giulia Chiappisi*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Gianluca D'Arpa*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Paolo De Marco*, docente a contratto di Composizione architettonica e urbana, Università degli Studi di Palermo.

*Antonio De Vecchi*, professore ordinario in quiescenza di Architettura Tecnica, Università degli Studi di Palermo.

*Alessandra Foderà*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Luisa Lombardo*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura, corsista del Master METIES e dottoranda di ricerca in Architettura, Università degli Studi di Palermo.

*Viviana Maria Li Causi*, laureata in Ingegneria dei Sistemi Edilizi e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Antonino Margagliotta*, professore associato di Composizione architettonica e urbana, Università degli Studi di Palermo.

*Salvatore Marinaro*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Francesca Maria Noto*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Achille Porcasi*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Serena Privitera*, laureata in Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Fabio Romano*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Alida Schifano*, laureata in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Roberto Sconduto*, laureato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Barbara Seminara*, laureata in Ingegneria dei Sistemi Edilizi e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Alessandro Spatafora*, laureato in Ingegneria Edile-Architettura Architettura e corsista del Master METIES, Università degli Studi di Palermo.

*Antonino Valenza*, professore ordinario di Scienza e Tecnologia dei materiali, Università degli Studi di Palermo.

Il cambiamento climatico e la necessità di ridurre il consumo energetico degli edifici sono argomenti chiave del dibattito politico, scientifico, economico e culturale. Un dibattito al quale si è voluto dare il proprio contributo sin dall'anno accademico 2010-2011 con la prima edizione del Master in Materiali e Tecniche Innovative per l'Edilizia Sostenibile (MeTIES) dell'Università degli Studi di Palermo insieme al Consorzio Universitario per l'Ateneo della Sicilia Occidentale e del Bacino del Mediterraneo (UNISOM), perseguendo il preciso obiettivo di formare una generazione di professionisti che sappiano padroneggiare le nuove tecnologie per ripensare il modo di "costruire".

Tutti gli studenti che hanno seguito il master, nelle diverse edizioni, hanno avuto modo di mettere a frutto le competenze acquisite durante il corso in un ambito lavorativo. Si è voluto contribuire al dibattito sulle possibili strade da perseguire per lo sviluppo sostenibile attraverso la formazione di "operatori" che abbiano la capacità di individuare, sviluppare e proporre soluzioni possibili e concrete per l'efficientamento energetico degli edifici. Il libro contiene alcune risposte operative alle necessità di un settore che sarà sempre di più al centro delle scelte e-

conomiche e politiche dei prossimi decenni.

*Simona Colajanni*, professore associato di Architettura tecnica presso l'Università degli Studi di Palermo, in servizio presso il Dipartimento di Architettura, si occupa di progettazione sostenibile per il sistema tecnologico e di biomateriali e componenti per il design. PhD in Ingegneria edile: tecniche di progettazione, produzione e recupero edilizio, ha svolto la funzione di coordinatore vicario nell'ambito del Master di II livello in Materiali e Tecniche Innovative per l'Edilizia Sostenibile promosso dall'Università degli Studi di Palermo.

*Antonino Valenza*, direttore del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Palermo, è professore ordinario di Chimica e tecnologia dei materiali. Si occupa di tecnologie e materiali innovativi per l'edilizia pubblicando numerosi articoli sull'impiego di fibre di origine naturale per componenti innovativi per l'edilizia sostenibile. Ha svolto il ruolo di coordinatore del Master di II livello in Materiali e Tecniche Innovative per l'Edilizia Sostenibile promosso dall'Università degli Studi di Palermo.



**FrancoAngeli**

La passione per le conoscenze