

Energetic development of buildings: toward the “passivhaus” model in Mediterranean area

Cristina Carletti¹, Fabio Sciarpi¹, Teresa Cervino²

Abstract

In order to follow an energy conscious and sustainable development, future energy saving policies will be mainly adopted for buildings even in Mediterranean areas. As a matter of fact buildings are great energy users, therefore is of fundamental importance to develop buildings construction strategies to reduce CO₂ emissions, save energy and guarantee good indoor comfort levels. Low energy buildings, which are naturally developing towards passivhaus models both in northern Europe and Italy, are here presented and critically evaluated. Italian passivhaus are presented in their basic features and performances (the envelope, the ventilation and heating systems). Finally some guidelines are suggested in order to consciously adopt the passivhaus model in Mediterranean areas.

Key words

Energy saving strategies; passive houses; component performances.



¹ Ricercatore in Fisica Tecnica Ambientale, Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia, Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini, Università di Firenze, Via San Niccolò 89/a, 50125 Firenze, Italia. Email: cristina.carletti@taed.unifi.it; fabio.sciarpi@taed.unifi.it

² Dottoranda di Ricerca, Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini, Università di Firenze, Via San Niccolò 89/a, 50125 Firenze, Italia. Email: teresa.cervino@taed.unifi.it

Considerazioni introduttive

L'emergenza dovuta alla dipendenza del nostro paese dalle fonti non rinnovabili di energia con il costante aumento del costo del combustibile, assieme ad una maggiore consapevolezza ambientale, ha messo in evidenza la nostra fragilità in materia di approvvigionamento energetico ed ha imposto un drastico ripensamento delle strategie progettuali nel campo dell'edilizia.

Le indagini condotte in questi anni da numerosi analisti ed esperti del settore, e le ipotesi circa la fine delle scorte naturali di combustibili fossili (in prevalenza carbone e petrolio), portano inevitabilmente all'unico imperativo possibile: limitare i consumi energetici, promuovere l'uso di energia solare e di altre fonti d'energia rinnovabili (biomasse, eolico, fotovoltaico, ecc.) a basso impatto ambientale.

Inoltre, si deve rilevare come il nostro clima si stia lentamente ed inesorabilmente destabilizzando; la causa è da attribuire non soltanto alle variazioni dell'attività del sole, alle eruzioni vulcaniche ed ai vasti incendi nelle regioni tropicali, ma anche e soprattutto, alla deforestazione incontrollata ed all'uso di combustibili fossili da parte dell'uomo, che hanno condotto ad un aumento della concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera causando l'ormai noto "effetto serra". L'effetto serra è un fenomeno climatico che consiste nel riscaldamento degli strati inferiori dell'atmosfera per effetto della schermatura che offrono alcuni gas in essa contenuti. L'effetto serra non è un fenomeno nocivo per la vita sul nostro pianeta, ma lo può diventare se le attività umane lo faranno aumentare in modo abnorme rispetto alle condizioni naturali.

Da queste allarmanti notizie è emersa la necessità di ridurre l'emissione di gas serra per la protezione del clima e dell'ambiente, imperativo che è subentrato al temuto esaurimento delle risorse naturali, che ora appare meno incombente.

In questo contesto, le attuali conoscenze circa lo stato di salute del nostro pianeta e la consapevolezza della limitatezza delle risorse energetiche non rinnovabili, impongono una rifondazione delle strategie progettuali basate sulla filosofia di *sviluppo sostenibile*.

Risulta fondamentale dunque riconsiderare la progettazione edilizia sulla base di nuovi target energetici e di qualità ambientale coniugati con il rispetto dell'ambiente.

L'evoluzione energetica del settore edilizio

In termini quantitativi il settore edilizio è uno dei più grandi consumatori di risorse: territorio, materie prime, energia, acqua, ecc. I flussi materiali ed energetici messi in moto dall'edilizia sono molto rilevanti. L'estrazione di materie prime, la produzione ed il trasporto di materiali da costruzione contribuiscono all'inquinamento dell'aria e delle acque, provocano rumore, creano rifiuti e modificano pesantemente il paesaggio.

E' evidente quindi che una progettazione edilizia energeticamente consapevole (progettazione integrata del sistema edificio-impianto, riduzione delle dispersioni termiche, progettazione energeticamente consapevole, certificazione energetica degli edifici, ecc.) può portare a significative riduzioni delle emissioni in questione oltre a garantire elevati livelli di comfort ambientale.

Ponendo particolare attenzione all'interazione fra il sistema edificio-impianto e l'ambiente, devono essere attentamente valutate le prestazioni strutturali e termiche dei materiali utilizzati al fine di massimizzare i benefici derivanti dagli scambi energetici che il sistema termodinamico attua con l'ambiente esterno. L'architettura energeticamente consapevole sfrutta infatti le brezze estive per ventilare ed al contempo raffrescare gli ambienti interni,

può adottare ampie superfici vetrate orientate verso sud, come sistemi solari a guadagno diretto, che sfruttino al meglio la luce naturale e l'energia del sole in inverno e si chiudano durante la notte per evitare fughe di calore ed in estate per evitare eccessivi surriscaldamenti.

E' sufficiente un veloce sguardo alle strategie architettoniche popolari applicate nel passato per rendersi conto che i principi cosiddetti bioclimatici non sono affatto nuovi. L'edilizia vernacolare era infatti caratterizzata da un forte legame con il sito che si manifestava, oltre che con il ricorso a forme culturalmente riconoscibili, con l'uso di materie prime locali e con l'adozione di strategie e tecnologie finalizzate al necessario controllo delle variabili climatico - ambientali.

Fin dal passato la difesa dal caldo o dal freddo, o la necessità di raccogliere l'acqua erano, come ora, bisogni essenziali. Ma tutto ciò che attualmente viene assicurato da impianti tecnologici energivori era affidato alle prestazioni "naturali" dell'edificio caratterizzato da una struttura fisica ecoefficiente, da forme e orientamenti appropriati e da un corretto uso dei materiali disponibili in loco.

La rivoluzione industriale e l'avvento dell'architettura moderna hanno portato a dimenticare la sapienza costruttiva del passato. I principi di progettazione bioclimatica, che hanno caratterizzato le antiche tecniche costruttive, cominciano ad essere trascurati. L'involucro edilizio rinuncia progressivamente a tale funzione, diventando "facciata libera"; la funzione statica è assolta dalla struttura intelaiata in c.a. o in acciaio, chiusa da tamponamenti leggeri, sempre più trasparenti (aumento delle superfici finestrate), che perdono gran parte della funzione di regolazione dei flussi termici, affidata, quindi, pressoché totalmente all'impianto. Si verifica, progressivamente, una vera e propria "sostituzione di conoscenze e tradizioni costruttive", che in qualche caso coincide con una "perdita di sapere tecnico". Oggi però le problematiche energetiche ci obbligano ad una riflessione più approfondita sul ruolo dell'architettura.

Nel settore delle costruzioni il compito di contenere il consumo delle risorse non rinnovabili e l'inquinamento ambientale è stato assegnato alla ricerca, alla sperimentazione ed alla applicazione della tecnica ecologica e dell'"energy conscious" design; allo studio, cioè, di un impiego razionale dei mezzi oggi disponibili o approntabili in vista della sostenibilità degli interventi e dell'adeguamento dell'esistente.

Per quanto riguarda il riflesso di questi orientamenti sui sistemi costruttivi, in particolare i sistemi di involucro, si deve rilevare come, negli ultimi anni, essi siano stati interessati da una notevole evoluzione, sia per la comparsa di nuovi componenti e sistemi, sia per una maggiore attenzione al problema della riduzione dei consumi energetici e a quello del benessere degli ambienti confinati.

Esistono le premesse, dunque, per rendere più responsabile il progetto edilizio e studiare nuovi modelli di involucro in grado di incentivare e sviluppare, a seconda del sito specifico, passivamente o attivamente, una mediazione con l'ambiente esterno che dipenda anche da una forte sinergia tra linguaggio architettonico e tecnologia impiantistica.

A tale riguardo, negli ultimi anni in molti paesi europei, tra cui anche l'Italia, sono stati emanati documenti normativi con lo scopo di ridurre i consumi energetici negli edifici e incentivare una progettazione di tipo integrato. In alcuni paesi sono state adottate normative estremamente restrittive accompagnate da certificazioni che attestano l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto.

Fra questi c'è, ad esempio, la Svezia, dove già dalla prima metà degli anni Ottanta vengono realizzate case a basso consumo energetico e dove dal 1991, i target energetici delle case a basso consumo sono diventati obbligatori per tutti gli edifici di nuova costruzione.

In Germania, dove i primi esperimenti sugli edifici a basso consumo energetico sono stati promossi dal Ministero dell'Ambiente nel 1986, la certificazione EnEV 2002 ha imposto per tutti i nuovi edifici gli standard prestazionali della casa a basso consumo energetico, per la quale il consumo previsto deve essere inferiore a 70 kWh/ m² annuo.

Fra i paesi più evoluti per quanto attiene la certificazione energetica degli edifici vi è la Danimarca dove già nel 1981 per accedere ai programmi di incentivi occorreva presentare una scheda sull'efficienza energetica dell'edificio.

In Austria già nel 1995 tutte le province hanno perfezionato la normativa sul risparmio energetico negli edifici di nuova costruzione; in linea con questo orientamento si è mosso anche il governo federale mettendo a disposizione contributi per stimolare sia la costruzione di nuovi edifici a basso consumo energetico che la ristrutturazione di edifici con criteri finalizzati all'implementazione dell'efficienza energetica.

In Svizzera misure più restrittive in materia di risparmio energetico sono imposte dall'applicazione del marchio Minergie che definisce il valore limite del fabbisogno energetico per edifici di nuova costruzione e per ristrutturazioni di edifici costruiti prima del 1990.

In Italia il corpo normativo inerente il risparmio energetico e la salvaguardia dell'ambiente inizia a prendere forma già dagli anni '60 con la Legge 615/66, cui seguirà la legge 373/76, operante fino al 1991, anno d'emanazione della Legge n.10, di maggiore respiro ed ambizioni, che rivede e aggiorna tutta la normativa, esistente fino ad allora, in materia di uso razionale dell'energia. Per gli obiettivi che si pone tale legge è destinata a svolgere un ruolo fondamentale, oltre che nel campo energetico, anche in tema di salvaguardia dell'ambiente e del benessere degli individui, incentivando inoltre il ricorso a fonti di energia rinnovabili e a sistemi impiantistici alternativi rispetto a quelli tradizionalmente utilizzati. La suddetta legge infatti porta notevoli innovazioni alla filosofia su cui si basa il risparmio energetico: limitare, oltre alla potenza degli impianti anche i consumi, tenendo conto degli apporti gratuiti interni e solari, dei recuperi di energia e delle caratteristiche di inerzia dell'involucro (con la verifica del FEN, e del Cd), incrementando nel contempo l'efficienza delle trasformazioni energetiche (verifica del rendimento globale medio stagionale degli impianti). Tuttavia la legge 10/91 ha fallito alcuni dei suoi obiettivi principali, sia per la mancata emanazione di fondamentali decreti attuativi, al momento risulta solo il 412/93, sia per la sostanziale mancanza di controlli effettivi.

Per quanto attiene le iniziative a favore del risparmio energetico, nel nostro paese particolarmente all'avanguardia nel campo degli edifici ad alta efficienza energetica è il Trentino Alto Adige. In particolare nella Provincia Autonoma di Bolzano già nel gennaio 2002 è stato istituito il certificato Casa Clima che consiste in una certificazione dell'efficienza energetica dell'edificio valutata secondo un metodo di calcolo standardizzato. In base al consumo di energia vengono definiti diversi indici cui corrispondono diverse classificazioni che vanno da CasaClima A (≤ 30 kWh/m²anno) a CasaClima G (>160 kWh/m²anno). Gli edifici di nuova costruzione devono almeno soddisfare i requisiti di una "CasaClima C" con un consumo di energia inferiore a 70 kWh/m²anno, mentre, nel caso in cui l'edificio, oltre ad avere un fabbisogno termico per riscaldamento inferiore a 50 kWh/m²a, venga costruito utilizzando materiali ecologici e fonti energetiche rinnovabili per il riscaldamento, può venire conferito il riconoscimento "CasaClima ^{più}".

Anche la Provincia Autonoma di Trento ha una normativa avanzata sul risparmio energetico, promuovendo interventi finalizzati alla realizzazione di "edifici a basso consumo energetico e a basso impatto ambientale" (L.P. n° 14/1980). Per accedere ai

finanziamenti previsti, un edificio a basso consumo energetico deve rispondere obbligatoriamente a determinati requisiti, valutati mediante un preciso metodo per il calcolo dell'indice energetico. Sono inoltre promosse una serie di raccomandazioni progettuali quali, ad esempio, l'installazione di generatori di calore ad alto rendimento e a bassa emissione di inquinanti, l'installazione di collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria, l'uso di biomassa, il riuso dell'acqua piovana, l'uso di materiali ecocompatibili, l'installazione di pannelli fotovoltaici, ecc.

Da non dimenticare, inoltre, che l'Italia è al primo posto tra i paesi coinvolti nel progetto europeo *SHE* (Sustainable Housing in Europe) per la realizzazione di 714 alloggi "verdi" in quattro paesi. Si tratta del progetto pilota europeo del V Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo, che ha preso il via nel marzo 2003 con il coordinamento di Federabitazione Europe. Questo progetto, attraverso attività di ricerca e informazione e costruzione, punta a diffondere l'edilizia sostenibile coinvolgendo tutti i soggetti interessati, in particolare gli utenti finali proprio tramite il sistema cooperativo.

Tra i comuni che hanno già deliberato una forma d'incentivo in favore di costruzioni ecocompatibili, la percentuale più alta (28%) prevede uno sconto sugli oneri di urbanizzazione, altri incentivi riguardano la possibilità di aumentare le cubature degli edifici, il vincolo all'edificabilità di alcune aree all'edilizia sostenibile, uno sconto sull'ICI, finanziamenti con bandi di concorso, snellimento di procedure burocratiche per ottenere le concessioni edilizie (www.she.coop). Infine, il nuovo panorama europeo aperto dalla direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici, impone una riflessione sui temi precedentemente affrontati. La Direttiva, che stabilisce l'obbligo di certificazione energetica degli edifici, fornisce anche agli Stati membri alcune importanti indicazioni per migliorare l'efficienza, sia per quanto riguarda il riscaldamento che per il raffrescamento, oggi causa di crescenti consumi energetici nelle aree mediterranee:

- nelle nuove costruzioni o ristrutturazioni è necessario raggiungere un livello minimo di efficienza;
- gli Stati membri sono invitati ad adottare sistemi incentivanti per favorire il miglioramento del rendimento energetico;
- va favorito l'uso di impianti centralizzati a controllo singolo, che responsabilizzano gli utenti sul consumo razionale e sul risparmio.

Anche in Italia, dunque, si avrà entro il gennaio 2006 l'obbligo di rivolgere maggiore attenzione al consumo energetico degli edifici. Pur esistendo già da tempo provvedimenti legislativi e normative tecniche riguardanti l'argomento, esso è sempre stato ampiamente trascurato da quasi tutti gli operatori del settore, primi tra tutti i progettisti ed i costruttori.

Molto presto dovranno essere dunque adottati modelli costruttivi nuovi, verranno prescritti livelli di isolamento termico maggiori per tutti gli edifici, in particolar modo per quelli pubblici, e sarà richiesta una maggiore efficienza degli impianti di controllo del microclima. Tutto questo avrà un benefico influsso non solo sul benessere e sul portafoglio degli utenti (che si troveranno con minori consumi, e quindi minori spese, a parità di comfort), ma anche sull'ambiente, che vedrà ridursi di molto le emissioni inquinanti dovute alla climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti.

L'evoluzione dei modelli costruttivi

I target energetici che verranno imposti alle costruzioni ed alle ristrutturazioni edilizie dalle nuove normative saranno raggiungibili praticamente con qualsiasi tipologia architettonica, sia in abitazioni monofamiliari che in edifici condominiali, sia a carattere residenziale che

terziario o pubblico, e non sarà legato all'uso di determinati materiali (legno, laterizio, ecc.), quanto all'adozione di opportune strategie progettuali evolute. Il progettista sarà libero nella scelta compositiva e costruttiva: l'unico vincolo da rispettare è il fabbisogno termico dell'edificio, che dovrà essere conforme ad un particolare standard. Processi di programmazione edilizia di questo genere sono già da tempo in atto in Europa con risultati estremamente incoraggianti e stimolanti (vedasi a titolo di esempio il Quartiere Vauban a Friburgo).



Fig. 1 – Edifici del Quartiere Vauban a Friburgo a basso consumo energetico

Un indicatore dell'efficienza energetica degli edifici che dovrà essere considerato è il fabbisogno energetico annuo riferito all'unità di superficie riscaldata dell'edificio ($\text{kWh/m}^2\text{a}$), riferito sia al solo riscaldamento che al fabbisogno globale di energia (raffrescamento, acqua calda, illuminazione, etc.). Nelle regioni climatiche caratterizzate da estati calde sarebbe infatti opportuno includere anche il fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo che spesso è di natura elettrica; includendo inoltre il consumo energetico per l'illuminazione e per gli apparecchi elettrici, si otterrebbe un indicatore energetico complessivo.

In base ai consumi energetici espressi per il solo riscaldamento invernale gli edifici si possono classificare come riportato nella tabella 1.

Classificazione degli edifici	Fabbisogno energetico
Edifici costruiti prima dell'emanazione di Leggi e normative sul risparmio energetico	$\geq 250 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Edifici costruiti in conformità alle prestazioni richieste dalla Legge n. 10/91	circa $150 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Edifici a basso consumo energetico	$\leq 70 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Passivhaus	$< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Tabella 1 – Confronti fra i consumi energetici di edifici (per solo riscaldamento)

In generale, i principali requisiti prestazionali di un edificio ad alta efficienza energetica sono i seguenti:

- l'edificio deve essere termicamente ben coibentato per non disperdere il calore all'esterno;
- il ricambio d'aria è realizzato con un sistema di ventilazione meccanica (sistema VMC anche con recupero di calore, oppure ibrido);
- i componenti finestrati esposti a sud sono sistemi a guadagno diretto con elevato fattore "g³";
- l'acqua calda sanitaria è prodotta da collettori solari;
- pannelli fotovoltaici producono una parte dell'energia elettrica.

L'ostacolo principale che finora ha incontrato il mercato degli edifici a basso consumo energetico è costituito dal costo di costruzione maggiorato rispetto ad un edificio tradizionale. Per superare la barriera degli alti costi architetti e costruttori hanno cominciato ad applicare sistematicamente sistemi costruttivi razionalizzati utilizzando anche elementi prefabbricati, coinvolgendo le imprese nel processo della progettazione allo scopo di ridurre il periodo di costruzione, ottenendo così una considerevole riduzione dei costi di costruzione. Anche la realizzazione di edifici ad alta efficienza energetica a scopi sperimentali è servita da stimolo per lo sviluppo di nuovi prodotti e di nuove tecnologie, per la razionalizzazione dei processi di produzione ed ha quindi portato ad una riduzione dei costi.

Il target energetico della passivhaus: requisiti, prestazioni e tecnologie costruttive

La passivhaus tedesca (in italiano è tradotto come "casa passiva"), è un edificio in cui i requisiti relativi al comfort interno ed al microclima sono raggiunti e controllati limitando l'ausilio di sistemi di climatizzazione attivi convenzionali. Il termine "passiva" deriva dal fatto che la casa è in grado di riscaldarsi pressoché da sola.

Nella prima passivhaus, un complesso di case a schiera a tre piani, realizzata nell'autunno del 1990 a Darmstadt - Kranichstein, i consumi di energia sono risultati inferiori del 90% di quelli di una casa tradizionale.

Dopo questa prima esperienza la realizzazione di passivhaus si è intensificata (attualmente nella sola Germania ne esistono alcune migliaia), e nel 1996 a Darmstadt è stato fondato il Passivhausinstitut (PHI), un istituto indipendente di ricerca e sperimentazione che si occupa dell'analisi e dello sviluppo di strategie energeticamente efficienti. Il PHI si è dedicato in particolare allo studio delle passivhaus, dell'analisi dei componenti edilizi ed impiantistici, nonché della certificazione e della valutazione delle prestazioni degli stessi. Attualmente non esiste un documento ufficiale riconosciuto come norma in cui vengano definiti gli standard delle passivhaus; inoltre ogni anno, a seguito di sperimentazioni e monitoraggi continui in campo, il PHI formula ulteriori specifiche prestazionali agli standard fissati in precedenza nell'ottica di un miglioramento continuo delle prestazioni energetiche ed ambientali dell'edificio.

Attualmente i requisiti prestazionali per una passivhaus sono i seguenti:

- fabbisogno di energia utile per riscaldamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;
- assenza di ponti termici;
- elevata tenuta all'aria: $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$;

³ coefficiente di trasmissione solare

- percentuale di giorni con temperatura interna dell'aria $t_i > 25^{\circ}\text{C}$ inferiore al 10%.

Affinché un edificio possa definirsi “*passivo*”, quindi, esso deve contemporaneamente soddisfare un pacchetto di requisiti che si traducono, per il sistema edificio-impianto, in elevati livelli prestazionali sia dal punto di vista energetico che della sostenibilità ambientale. A tal fine, componenti opachi e finestrati devono presentare un ottimo isolamento termico ed il sistema di Ventilazione Meccanica Controllata deve avere elevata efficienza. Dal punto di vista della sostenibilità ambientale la *passivhaus* si pone un duplice obiettivo: avere il minore impatto possibile sull’ambiente (per quanto attiene sia le emissioni di gas serra che lo sfruttamento delle risorse energetiche) ed implementare la qualità ambientale interna globale (comfort termoigrometrico, acustico ed illuminotecnico e Indoor Air Quality).

L'interesse per il modello costruttivo ed energetico della *passivhaus* è stato anche dimostrato nell’ambito del progetto Europeo CEPHEUS (Cost Efficient Passive House as European Standard), un progetto dimostrativo iniziato nel 1998 e finalizzato alla sperimentazione e valutazione in cinque paesi europei (Germania, Svezia, Svizzera, Austria e Francia) di questo modello e che ha portato alla costruzione di 14 edifici passivi per un totale di 221 unità residenziali. Le finalità del progetto europeo consistevano essenzialmente nel valutare la praticabilità del modello di edificio passivo mantenendo gli extra - costi bassi per differenti tipologie edilizie, con differenti strategie di progettazione nei differenti paesi europei, e nell’operare un’analisi del mercato immobiliare finalizzata all’individuazione della risposta conseguente all’introduzione di questa tipologia edilizia. Il target energetico del progetto CEPHEUS è stato quello di mantenere il fabbisogno energetico globale (riscaldamento domestico, produzione di acqua calda per usi sanitari, illuminazione ed altri usi domestici) dell’edificio passivo al disotto del limite di 42 kWh/m² anno. I risultati del progetto sono stati presentati nell’ambito dell’esposizione di Hannover del 2000.



Fig. 2 – Esempi di edifici realizzati nell’ambito del Progetto CEPHEUS

Le caratteristiche delle *passivhaus* in Italia

Le caratteristiche più importanti che una *passivhaus* deve possedere sono essenzialmente due: un involucro esterno altamente isolato, realizzato senza ponti termici e a tenuta all'aria, e un impianto di ventilazione efficiente in grado di assicurare un adeguato ricambio d'aria agli ambienti ed un buon comfort interno.

Il modello energetico - costruttivo precedentemente descritto, ideato per le condizioni climatiche e le abitudini dell'Europa centrale, è stato in parte adottato con alcune modifiche anche in alcune regioni alpine d'Italia dove le temperature invernali si avvicinano molto a quelle dell'Europa centrale.

Particolarmente all'avanguardia nel campo degli edifici a basso consumo energetico risulta il Trentino Alto Adige, dove la prima *passivhaus* è stata costruita nel 2000. A differenza del Nord Europa, dove l'attenzione principale è rivolta alla riduzione dei consumi e dei costi di costruzione, negli edifici del Trentino Alto Adige si pone attenzione non solo all'aspetto energetico e bioclimatico, ma anche a quello ecologico, prediligendo, quando possibile, materiali ecocompatibili. Gli edifici del Trentino Alto Adige sono caratterizzati da una tipologia compatta al fine di limitare la superficie di scambio termico tra interno ed esterno.

Per quanto concerne la realizzazione dell'involucro delle *passivhaus* italiane, secondo la cultura costruttiva dominante nel contesto in cui si realizza l'intervento, si possono privilegiare soluzioni a forte isolamento termico e ridotta massa (esempio di edificio realizzato in Provincia di Bergamo), più vicini agli esempi realizzati in contesti centro e nord europei dove prevale l'impiego di chiusure multistrato leggere, oppure soluzioni a forte massa ed inerzia termica (alcuni edifici della Provincia di Bolzano più vicini alle realtà costruttive mediterranee).

Le principali tipologie costruttive riscontrate in Italia abbinano strutture portanti differenti (telaio in c.a., telaio in acciaio, muratura portante) a tamponamenti realizzati spesso in pannelli in c.a., muratura a blocchi combinati con isolamento termico a cappotto, oppure rivestimenti con tecnologia stratificata a secco, arrivando a valori della trasmittanza estremamente bassi, ottenuti con forti spessori degli isolanti termici.

Infatti, per ridurre il fabbisogno energetico per riscaldamento dell'edificio a $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ i componenti opachi dell'involucro devono avere un valore di trasmittanza inferiori a $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; tali livelli prestazionali possono essere raggiunti utilizzando materiali isolanti con una bassa conducibilità termica ($\lambda \leq 0,045 \text{ W/mK}$) posti in opera con spessori elevati. L'isolamento termico deve inoltre essere applicato senza soluzione di continuità ai componenti opachi dell'involucro, e preferibilmente con sistema a cappotto per evitare i ponti termici e la possibile formazione di condensa interstiziale.



Fig. 3 – Esempi di *passivhaus* italiane

Come visto, maggiori spessori delle pareti termoisolante producono una maggiore resistenza termica dell'involucro, ma comportano anche una riduzione della superficie utile calpestabile; per rispondere a tale problema molte Amministrazioni hanno emanato normative che nel calcolo delle superfici non considerano la parte di muratura esterna eccedente i 30 cm di spessore, e nel calcolo dell'altezza non computano la porzione dei solai interpiano eccedenti i 40 cm di spessore, fino ad un extraspessore massimo di 15 cm. Per ovviare al problema delle perdite di calore per ventilazione un edificio passivo necessita di un'elevata tenuta all'aria (soprattutto all'attacco fra il componente finestrato e la muratura) controllata attraverso il Blower Door Test, che, eseguito secondo la normativa EN 13829, permette di misurare il ricambio d'aria per infiltrazione con un differenziale pressorio fra interno ed esterno di 50 Pa; valore espresso a mezzo del numero massimo di ricambi orari pari a 0,6 ricambi/ora.



Fig. 4 – Esempi di strutture di passivhaus a differente capacità massica

L'aspetto architettonico di questi edifici è spesso caratterizzato da ampie superfici vetrate sul lato sud e da aperture di dimensione ridotta sul lato nord; ragion per cui l'orientamento di questi edifici è prevalentemente secondo l'asse Est-Ovest al fine di coprire la maggior parte del fabbisogno energetico con gli apporti solari.

Per quanto riguarda i componenti finestrati, questi devono garantire una buona tenuta all'aria e un rapporto equilibrato fra gli apporti solari diurni e le perdite notturne; negli edifici italiani tuttavia è stato dimostrato come non sia necessario che tali superfici captino il massimo degli apporti solari; essendo ridotte al massimo le dispersioni il bilancio energetico termico risulta comunque positivo. Per ottenere questo obiettivo si usano comunque componenti finestrati con una trasmittanza totale (telaio, vetro, ponte termico della finestra) molto bassa, inferiore od uguale a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, che risulta essere un valore molto contenuto se confrontato con quello di rispetto normali finestre (circa $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) e quello di infissi con vetrocamera e telaio a taglio termico con interposto un gas al posto dell'aria (circa $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$).

La percentuale di superficie vetrata in una passivhaus deve essere comunque determinata in base al bilancio energetico fra perdite di energia termica e apporti solari: nei paesi dell'Europa centrale, dove la radiazione solare non raggiunge i livelli tipici delle regioni mediterranee, la superficie vetrata sul lato sud di un edificio non dovrebbe superare circa il 30% di quella complessiva della facciata.

Le tipologie di vetri più utilizzate sono quelle costituite da tre lastre di vetro termico con interposto un gas nobile (argon o krypton o xenon): il valore di trasmittanza di questi componenti è in media $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ad un ottimo vetro viene associato un telaio di adeguata qualità, con valori medi di trasmittanza compresi fra $0,7$ e $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; questi telai speciali possono essere realizzati in vari materiali e tecnologie: telai in legno, metallo o materiale sintetico schiumati internamente, telai in legno in cui viene inserito materiale termoisolante; telai prodotti con poliuretano riciclato, profilati d'acciaio, d'alluminio e di vetroresina schiumati internamente con poliuretano, profilati estrusi in PVC con camere d'aria sul lato interno e su quello esterno.

Un problema legato alle superfici vetrate è il surriscaldamento estivo, che in edifici passivi potrebbe essere accentuato data l'elevata capacità termica di alcune soluzioni edilizie. Particolarmente importante è quindi la presenza di sistemi di ombreggiamento opportunamente conformati e diversificati in funzione dell'orientamento dell'apertura.

La passivhaus, per le bassissime dispersioni termiche che la contraddistinguono, non necessita di un sistema di riscaldamento convenzionale, ma possiede sempre un sistema VMC abbinato talvolta con sistemi integrativi ad acqua (ad es. pannelli radianti a pavimento, radiatori, ventilconvettori) prodotta da generatori di varia natura (caldaie a pellet, pompe di calore, pannelli solari, teleriscaldamento, ecc.).

In particolare per gli edifici italiani, il benessere respiratorio olfattivo, è garantito da un ricambio d'aria continuo ed ottimizzato ottenuto a mezzo di un sistema di VMC, che oltre a garantire il ricambio d'aria necessario ai fini igienici, assicura un idoneo microclima interno. In questo sistema, l'aria esterna viene prelevata per mezzo di prese d'aria opportunamente posizionate, filtrata (con filtri di classe adeguata all'inquinamento dell'aria esterna), trattata (pre e/o post riscaldamento) immessa negli ambienti principali (salotto, sala da pranzo, camere, studio) ed espulsa dai servizi (cucina, bagno); fessure tra la porta e il pavimento (circa un centimetro) garantiscono la portata d'aria di progetto anche quando le porte sono chiuse.

Al sistema VMC sono abbinati vari dispositivi tecnologici: scambiatori che recuperano calore dall'aria esausta, pompe di calore ($P = 400 - 1200 \text{ W}$; $\text{COP}=2,5-3,5$) e collettori solari (utilizzati anche per produrre acqua calda sanitaria), scambiatori di calore interrati.

Questi ultimi sfruttano il fatto che ad una determinata profondità (già tra $1,20$ e $2,00 \text{ m}$) la temperatura del terreno rimane pressoché costante per tutto l'anno: questo fenomeno viene sfruttato sia in inverno per il preriscaldamento che in estate per il preraffrescamento dell'aria di immissione. L'efficacia dello scambiatore dipende dalla superficie di scambio, dalla profondità e dalla lunghezza dello stesso.

In generale, comunque, lo scambiatore interrato è realizzato in tubi in polipropilene a sezione circolare (diametro $15-30 \text{ cm}$) con superficie corrugata per aumentare lo scambio termico. Presenta uno sviluppo in lunghezza pari a circa $25-40 \text{ m}$, con una pendenza del 2% circa per lo scarico dell'eventuale condensa nel sifone ispezionabile ed una superficie interna liscia e bianca (per consentire l'ispezione con videocamera).

Un tipico sistema impiantistico prevede il recupero del calore dell'aria esausta prima che questa venga espulsa all'esterno tramite recuperatori di calore caratterizzati da un elevato rendimento ($75-90\%$).

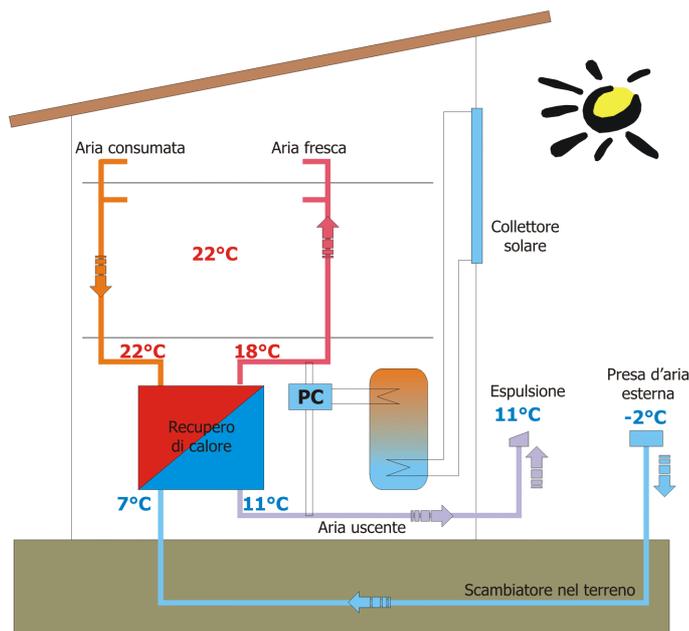


Fig. 5 - Schema di funzionamento di un impianto di ventilazione con recupero calore e scambiatore interrato tipico delle passivhaus italiane (Carletti C. et al, 2004)

Proprio per gli edifici passivi sono stati recentemente sviluppati degli apparecchi chiamati “aggregati compatti”, delle dimensioni di un frigorifero con congelatore, che inglobano il ventilatore, gli scambiatori, il sistema di regolazione, una piccola pompa di calore e anche un serbatoio per l’acqua calda sanitaria che può essere collegato ad un collettore solare.

In un edificio passivo è particolarmente importante che il serbatoio e tutte le tubazioni che trasportano acqua calda siano installati all’interno dell’involucro termico dell’edificio e siano ben isolati per evitare perdite di calore.

In un edificio concepito per il risparmio energetico, sarebbe opportuno applicare anche i principi di sostenibilità ambientale ad altre risorse, prima fra tutte la risorsa acqua.

Risulta dunque fondamentale ridurre i consumi idrici, soprattutto nei paesi mediterranei dove, da tempo, in estate si verificano lunghi periodi di siccità e di conseguenza gravi problemi di approvvigionamento idrico. Il risparmio idrico si ottiene già con pochi accorgimenti, per esempi, installando sciacquoni a doppio tasto, dotando i rubinetti e i termomiscelatori di bocche che riducono il getto d’acqua (frangigetti), recuperando l’acqua piovana per gli scarichi dei wc e l’irrigazione, fino ad arrivare ad usare tecniche di fitodepurazione per gli impianti trattamento dei reflui, così riutilizzabili (dopo il terzo stadio) anche per le lavatrici. Questi accorgimenti consentono di risparmiare quasi la metà dell’acqua normalmente usata in una casa.

Per controllare i consumi di energia elettrica in un’abitazione possono essere adottate alcune strategie:

- usare elettrodomestici a basso consumo energetico;
- usare lampade compatte a fluorescenza;
- allacciare direttamente lavatrice e lavastoviglie al circuito di acqua calda sanitaria collegato alla centrale di teleriscaldamento o al collettore solare (se presenti).

L’energia elettrica necessaria ad una passivhaus per l’impianto di ventilazione e per i consueti usi domestici, compresa l’illuminazione, può essere prodotta anche tramite impianti di cogenerazione, parchi eolici oppure impianti fotovoltaici che date le ridotte

richieste potrebbero diventare competitivi avendo la possibilità di accedere ad incentivi economici.

Potenzialità future di edifici passivi e sostenibili in area mediterranea

Dall'analisi sia energetica che costruttiva degli edifici realizzati in ambito europeo sulla base del target della passivhaus e dunque finalizzati al raggiungimento di precisi standard energetici riferiti al riscaldamento invernale (progetto europeo CEPHEUS, standard italiano CasaClima, linee guida del PHI di Darmstadt) sono emerse una serie di considerazioni riferite sia all'edificio che alle scelte impiantistiche ad esso correlate e finalizzate al raggiungimento di elevati livelli di comfort ambientale, di seguito riportate.

Si evidenzia la tendenza ad usare sistemi termicamente iperisolati con estrema riduzione dei ponti termici, volti alla conservazione del calore prodotto e/o accumulato all'interno dell'edificio, riducendo così anche del 90% l'energia necessaria per il riscaldamento in fase invernale. L'iperisolamento dell'involucro appare come un accorgimento indispensabile a garantire bassi livelli di consumo, e pare svincolare l'edificio stesso dal contesto climatico. Il fabbisogno energetico per il riscaldamento sembra sostanzialmente indipendente dal fattore di forma degli edifici, essendo questi caratterizzati da forti isolamenti termici che rendono l'involucro opaco praticamente adiabatico, e dalla percentuale di aperture rivolte a sud. In generale si è anche notata la pressoché assenza di dispositivi bioclimatici di captazione passiva dell'energia solare, quali serre e muri Trombe, che sono invece sostituiti da più semplici sistemi di guadagno solare diretto quali superfici finestrate, nemmeno eccessivamente ampie, orientate verso sud dotate comunque di aggetti fissi o schermi mobili per la protezione dal surriscaldamento estivo e che non limitino la captazione solare invernale.

Un sistema così concepito permette l'utilizzo di sistemi di riscaldamento non convenzionali principalmente del tipo ad aria, con prevalente uso di sistemi VMC per fornire il limitato calore aggiuntivo necessario a mantenere livelli di temperatura di comfort ($t_a = 20^\circ\text{C}$); tale tendenza è principalmente legata dalla indiretta obbligatorietà di sistemi per il ricambio forzato dell'aria per garantire il numero minimo di ricambi d'aria stabiliti dalla legge, e dal fatto che le limitate quantità di energia in gioco consentono di utilizzare l'aria come fluido vettore, nonostante la sua ridotta capacità termica rispetto all'acqua. All'interno della vasta gamma di dispositivi utilizzati per il trattamento dell'aria gli scambiatori interrati sono risultati maggiormente efficienti nel preriscaldamento invernale piuttosto che nel raffrescamento estivo. Si è inoltre sempre rilevato un uso esteso di fonti di energia rinnovabili sia per il riscaldamento aggiuntivo (integrativo) che per la produzione di acqua sanitaria, che, infine per la produzione di energia elettrica. Al fine di limitare comunque i consumi elettrici, spesso sono stati utilizzate apparecchiature elettriche a basso consumo energetico (lampade, elettrodomestici, etc.).

L'analisi condotta ha dimostrato inoltre che la riduzione dei consumi energetici passa necessariamente attraverso una progettazione integrata del sistema edificio impianti che tenga conto di tutti i parametri che influenzano l'organismo edilizio (dal contesto climatico, alle tecnologie costruttive, agli impianti, ecc.), riuscendo a tenere bassi gli extra costi (che vengono ammortizzati in pochi anni grazie ai risparmi energetici conseguibili) e garantendo una qualità ambientale ed un livello di soddisfazione degli utenti elevato.

I modelli costruttivi che adottano precise strategie di risparmio energetico sono ovviamente legati al contesto climatico continentale in cui sono nati, caratterizzato da inverni lunghi e freddi ed estati miti, tipici dei paesi nel nord e centro Europa. Venendo ad un contesto

temperato più prettamente mediterraneo, caratterizzato da inverni freddi ed estati calde, e dove spesso il raffrescamento rappresenta la criticità principale, questo modello dovrà necessariamente subire una evoluzione sia del sistema impiantistico che del sistema tecnologico verso modelli più adatti al contesto climatico in questione, ponendo particolare attenzione al surriscaldamento estivo.

Il clima mite dei paesi mediterranei se presenta indubbiamente un notevole vantaggio per la realizzazione di edifici ad alta efficienza energetica, porrà sicuramente come prioritario il problema del raffrescamento estivo; infatti, in un clima temperato l'obiettivo prioritario sarà quello di limitare il più possibile in regime estivo l'ingresso di energia termica negli edifici (azioni passive - involucro) e poi di individuare strategie per ridurre i valori della temperatura a quelli di comfort (azioni attive – sistema impiantistico), il tutto ricorrendo a soluzioni tecniche a comportamento dinamico, modificando quindi il comportamento dell'edificio da captante e conservativo in inverno a protettivo e dissipativo in estate, analizzando le prestazioni del sistema edificio-impianto sia in regime estivo che invernale. Sulla base di tali considerazioni le seguenti strategie sembrano da percorrere anche considerando la tipologia di utenza dei climi mediterranei, abituata ad un contatto diretto e ad una maggiore relazione con l'esterno:

- utilizzo di sistemi di schermatura solare efficaci in funzione dell'orientamento in modo tale da controllare e graduare la radiazione solare entrante negli edifici in base alle effettive necessità;
- ricorso alla ventilazione notturna forzata, che permette di asportare il calore accumulato all'interno degli edifici durante il giorno e di raffrescare le masse termiche interne, strategia maggiormente efficace per escursioni termiche fra giorno e notte maggiori; in alternativa ventilazione naturale incrociata, per effetto camino, ecc.;
- utilizzo di sistemi di raffrescamento radiante anche a pompa di calore integrati con sistemi fotovoltaici;
- attenzione progettuale verso il sistema aeraulico (posizione della presa d'aria esterna, sistemi di filtrazione, gestione e accesso alle sezioni dell'impianto) finalizzata alla realizzazione di apparati efficienti ma di facile utilizzo per l'utente "medio";
- implementazione di metodi di calcolo adeguati al modello energetico in oggetto al fine di facilitare le operazioni decisionali del progettista e guidare gli investimenti verso componenti efficienti.

In conclusione è possibile affermare che, in un futuro prossimo in cui l'efficienza dell'edificio ed il suo basso impatto ambientale saranno premiati invece che nascosti o peggio ignorati, gli edifici passivi saranno un buon investimento sia economico che ambientale, perché permetteranno di ridurre l'emissione di sostanze inquinanti in atmosfera fino all'80%, agendo così in maniera efficace sull'effetto serra.

Tali strategie progettuali garantiranno al contempo un buon comfort interno agli ambienti sia dal punto di termico, acustico, visivo, e respiratorio olfattivo, ponendo l'edificio in linea con le più evolute normative europee ed internazionali.

Bibliografia

- Carletti C., "Dalle case a basso consumo energetico alle case passive", in Costruire sostenibile l'europa, Alinea Editrice – Bologna Fiere, Firenze, 2002

- Carletti C., Cellai G., Sciarpi F., “Certificazione energetica ed incentivi ai fini del risparmio energetico negli edifici”, Volume Abitare il futuro - Innovazione, Tecnologia, Architettura, BE-MA editrice, Bologna 2003
- Carletti, C., Sciarpi, F., “Dalle case a basso consumo energetico alle case passive”, 58° Congresso annuale ATI, Padova, settembre 2003
- Carletti, C., Sciarpi, F., “Una casa “passiva” che vuol bene all’ambiente”, *ME - Materiali Edili*, n°54, 2003
- Carletti C., Gantioler G., Nardi F., Raffellini G., Sciarpi F., “Problematiche e sviluppi degli edifici passivi in area mediterranea”, atti del Convegno Expocomfort, Milano, marzo 2004
- Carletti C., Raffellini G., Sciarpi F., “Dagli edifici a basso consumo energetico agli edifici passivi: problematiche e sviluppi in area mediterranea”, atti del 4° Congresso Nazionale CIRIAF “Sviluppo sostenibile, tutela dell’ambiente e della salute umana”, Perugia, aprile 2004
- Feist, W., “Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser“, ed. Verlag das Beispiel, Darmstadt 2002
- Krapmeier Drossler, “Cepheus, living comfort without heating”, Springer Wien New York 2001
- Nardi F., “Dalle case a basso consumo energetico alle case passive: stato dell’arte e analisi di alcuni edifici in Trentino Alto Adige“, (tesi di laurea-Università di Firenze – Facoltà di Architettura) relatore: prof. ssa Carletti C., correlatori interni: prof. Raffellini G., prof. Sciarpi F., correlatore esterno: Gantioler G.