

Problematiche e sviluppi degli edifici passivi in area mediterranea

CRISTINA CARLETTI¹, GÜNTER GANTJOLER³, FRANCESCA NARDI⁴, GIORGIO RAFFELLINI², FABIO SCIURPI¹

¹ Ricercatore, ² Professore Ordinario, Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia, Dipartimento TAeD, Università degli Studi di Firenze

³ Esperto sul risparmio energetico, ⁴ Dott.ssa in Architettura, Z-Consulting

Riassunto

Se si intende perseguire una politica di sviluppo energeticamente consapevole che rappresenta oggi un obiettivo strategico per la salvaguardia delle risorse ambientali, le future politiche energetiche dovranno assumere un'importanza prioritaria nel nostro paese così come in ambito europeo. Il settore delle costruzioni residenziali è un grande utilizzatore di energia e dunque sembra fondamentale agire sul contenimento sia dei consumi che delle emissioni di anidride carbonica. Ad oggi si stanno sperimentando sia in Europa che in Italia modelli costruttivi in grado di garantire un significativo risparmio energetico ed un'importante limitazione dello sfruttamento delle risorse non rinnovabili. Tali modelli, conosciuti come "casa a basso consumo energetico" e "casa passiva", devono tuttavia essere testati ai fini di determinarne le prestazioni energetiche anche in ambito mediterraneo, ove il problema maggiore risulta essere non tanto quello del super isolamento termico in regime invernale, quanto quello della protezione dall'irraggiamento solare, visto che i costi per il condizionamento estivo stanno superando quelli invernali mettendo in crisi il nostro sistema energetico. Scopo del lavoro è quello di analizzare le prestazioni del sistema edificio – impianto caratteristico delle case passive già realizzate in Europa ed in Italia, evidenziandone sia i limiti in area mediterranea che le possibili implementazioni del sistema.

1. Introduzione

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. Nonostante questa ritrovata coscienza ambientalista, l'impatto delle attività umane sull'ambiente naturale è a dir poco sconvolgente; in questo scenario affatto confortante un ruolo importante è rivestito proprio dal settore delle costruzioni e, in particolare, dalle prestazioni energetiche degli edifici, grandi produttori di sostanze inquinanti dagli impianti di riscaldamento e privi ancora di un labelling in attesa di una futura "Certificazione Energetica" (che verrà introdotta entro il 2006 nell'area dell'Unione Europea). Gli attuali modelli costruttivi in grado di garantire un significativo risparmio energetico ed un'importante riduzione dello sfruttamento delle risorse non rinnovabili sono in continua evoluzione; attualmente il modello di casa a basso consumo energetico si sta evolvendo verso quello di *casa passiva* (termine che deriva dalla "Passivhaus" tedesca), in cui i requisiti relativi al microclima sono raggiunti e controllati senza l'ausilio di sistemi di climatizzazione convenzionali.

2. Normativa in materia di edifici a basso consumo energetico nei principali paesi europei

I documenti normativi che sono stati emanati negli ultimi anni in Europa e che hanno come scopo la riduzione dei consumi energetici negli edifici, si differenziano sia nei target energetici che nelle modalità di calcolo del fabbisogno energetico. Nel tentativo di unificare questa situazione, l'Unione Europea ha emanato nel 1998 una legge-quadro, la EN 832, che dal 2001 è entrata in vigore in tutta Europa, salvo in quei paesi che hanno adottato normative più restrittive. Nell'U.E. infatti esistono paesi in cui le normative in materia di contenimento dei consumi energetici sono accompagnate da certificazioni che attestino l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto. Fra questi c'è la Svezia, dove già dalla 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 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/m²a, circa il 30% in meno rispetto alla

precedente legge del 1995; inoltre, la EnEV 2002 ha unificato le normative di tutti i singoli Länder in cui è divisa la nazione.

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; dal 1985 la certificazione è obbligatoria per legge per edifici mono e bifamiliari; attualmente la certificazione è obbligatoria per tutti gli edifici residenziali, esistenti e di nuova costruzione. Nel 2000 la Danimarca ha inoltre redatto un piano operativo finalizzato alla riduzione del 20% delle emissioni di CO₂ entro il 2005 e alla riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici a 45 kWh/m²a.

In Austria già nel 1995 tutte le nove 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. Inoltre è stato avviato un programma volontario di certificazione energetica chiamato "EnergieAusweis" con lo scopo di promuovere la realizzazione di edifici a basso consumo energetico: sono previsti incentivi finanziari per chi si impegna a costruire edifici con un fabbisogno energetico per riscaldamento inferiore a quello stabilito dalla legge.

In Svizzera la normativa vigente in materia di risparmio energetico è la SIA 38/1 del 2001. Misure più restrittive sono però 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: rispettivamente pari a 42 kWh/m²a e 80 kWh/m²a.

In Italia particolarmente all'avanguardia nel campo degli edifici a basso consumo energetico risulta il Trentino Alto Adige. In particolare nella Provincia Autonoma di Bolzano già dal Gennaio 2002 è stato istituito il certificato CasaClima 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 etichette, per esempio:

- consumo di energia inferiore a 70 kWh/m²a ⇒ "CasaClima C"
- consumo di energia inferiore a 50 kWh/m²a ⇒ "CasaClima B"

- consumo di energia inferiore a 30 kWh/m²a ⇒ “CasaClima A”.

Gli edifici di nuova costruzione devono almeno soddisfare i requisiti di una “CasaClima C”, 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:

- $Cd \leq 70\% Cd_{lim}$ (calcolato secondo la UNI 7357);
- trasmittanza media delle pareti opache $U \leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza media dei serramenti $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- acqua calda sanitaria non prodotta con energia elettrica;
- generatore di calore del tipo a bassa emissione di ossidi di azoto e ad alto rendimento;
- gli edifici costituiti da due o più unità immobiliari sono obbligati a utilizzare un unico impianto centralizzato, mentre gli edifici dotati di sistema di ventilazione forzata devono prevedere un sistema di recupero di calore dell’aria esausta;
- l’edificio deve rispettare un indice di consumo energetico per riscaldamento dato in funzione della volumetria dell’edificio e dei Gradi-Giorno della località.

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 della biomassa sia come combustibile che come materiale per la costruzione, il riuso dell’acqua piovana, l’installazione di pannelli fotovoltaici. La misura del contributo è legata al numero di kWh di energia risparmiata.

3. Gli edifici passivi: caratteristiche e prestazioni dei componenti

Affinché un edificio possa definirsi “passivo”, 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 (VMC) deve abbinare elevata efficienza ed efficacia. Dal punto di vista della sostenibilità ambientale la casa passiva 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 rinnovabili) ed implementare la qualità ambientale interna globale (comfort termoigrometrico, acustico ed illuminotecnico e Indoor Air Quality). La consapevolezza energetica dell'edificio si integra fortemente con un ulteriore obiettivo che mira all'implementazione dello sfruttamento degli apporti energetici gratuiti, attraverso lo studio dei componenti finestrati e l'uso di appropriati prodotti edilizi che agiscono da sistemi solari passivi a guadagno diretto.

La 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.

Nel primo edificio passivo, un complesso di case a schiera a tre piani, realizzato 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 edifici passivi si è intensificata (attualmente nella sola Germania esistono più di 3.000 edifici passivi), e nel 1996 è stato fondato il Passivhausinstitut (PHI) di Darmstadt, un istituto indipendente di ricerca e sperimentazione che si occupa dell'analisi e dello sviluppo di strategie energeticamente efficienti. Il PHI in particolare si occupa di costruzioni di tipo passivo, 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 case passive: i requisiti definiti dal PHI in base a continue ricerche per il momento sono solo indicazioni testate e certificate dall'Istituto. Ogni anno, a seguito anche 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.

Inizialmente i requisiti prestazionali per un edificio passivo prevedevano:

- fabbisogno di energia utile per riscaldamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;
- assenza di ponti termici (definito con temperature interne superficiali sotto 17°C);
- alta tenuta all'aria: $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- fabbisogno di energia primaria totale $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Successivamente, con la realizzazione di edifici passivi anche a latitudini più basse, è stato introdotto uno standard che tenesse conto del problema del surriscaldamento estivo:

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

Dunque, le caratteristiche più importanti che un edificio passivo deve avere sono principalmente due: un involucro esterno altamente isolato (fig. 1), 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.



Figura 1 - Coibentazione della casa passiva Blasbichler a Verdings (BZ) (foto G. Gantioler)

Per ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio a $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ i componenti opachi dell'involucro devono avere un valore di trasmittanza $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, questo livello prestazionale può essere raggiunto 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 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. Nella realizzazione di un edificio passivo occorre inoltre prestare

particolare attenzione ai ponti termici che si creano nei collegamenti tra elementi costruttivi diversi (pareti e tetto, balconi, terrazze e gronde, ecc.).

Come visto, maggiori spessori delle pareti assicurano 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. In fase di collaudo la tenuta all'aria viene 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.

Per quanto riguarda i componenti trasparenti, questi devono garantire una buona tenuta all'aria e un rapporto equilibrato fra gli apporti solari diurni e le perdite notturne; non è necessario che captino il massimo degli apporti solari, perché nell'edificio essendo ridotte al massimo le dispersioni, il bilancio termico risulta comunque positivo. Per ottenere questo obiettivo negli edifici passivi si usano componenti finestrati con una trasmittanza totale (telaio, vetro, ponte termico lineare) molto bassa ($U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ rispetto a $U > 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le normali finestre a doppio vetro) che però facciano passare più del 50% della luce incidente ($g \approx 50\%$). Infine, la percentuale di superficie vetrata in un edificio passivo viene determinata in base a un bilancio energetico fra perdite di energia termica e guadagni 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.

Un problema legato alle superfici vetrate è il surriscaldamento estivo, che negli edifici passivi risulta accentuato data l'alta capacità termica dell'involucro. Particolarmente importante è quindi la presenza di sistemi di ombreggiamento opportunamente conformati e diversificati in funzione dell'orientamento dell'apertura. Le tipologie di vetri più utilizzate sono quelle costituite da tre lastre di vetro termico molto trasparente ($g \approx 50\%$) con interposto un gas nobile (argon o krypton o xenon): il valore U di questi vetri è in media $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (si

raggiungono i $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ con sistemi a doppia vetrocamera). 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.

Al fine di garantire un benessere respiratorio olfattivo ottimale agli occupanti, un edificio passivo beneficia di un ricambio d'aria continuo ed ottimizzato 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 un edificio passivo dotato di impianto VMC il tasso di ricambio dell'aria richiesto è $0,3 \text{ h}^{-1}$, che sommato alle perdite d'aria, comunque consentite in un edificio passivo, permette di rispettare il parametro $0,5 \text{ h}^{-1}$ richiesto per legge.

Al riscaldamento dell'aria contribuiscono anche i carichi termici interni, quali gli occupanti e le apparecchiature presenti (lampade, elettrodomestici, ecc.). L'aria esterna viene prelevata per mezzo di prese d'aria (fig. 2) opportunamente posizionate, filtrata (filtri di classe adeguata all'inquinamento dell'aria esterna), immessa negli ambienti principali (salotto, sala da pranzo, camere, studio) ed infine espulsa dai servizi (cucina, bagno); fessure tra la porta e il pavimento (circa un centimetro) permettono un flusso d'aria continuo anche quando le porte sono chiuse.



Figura 2 - Esempi di prese d'aria esterne con filtro (foto F. Nardi)

Al sistema VMC sono abbinati vari dispositivi tecnologici: scambiatori che recuperano calore dall'aria esausta, pompe di calore, collettori solari, scambiatori di calore interrati che sfruttano la temperatura del terreno che si mantiene pressoché costante. Un tipico sistema impiantistico di un edificio passivo prevede il recupero del calore dell'aria esausta prima che questa venga espulsa all'esterno tramite recuperatori di calore caratterizzati da un rendimento almeno del 75-92% (figg. 3-4). Normalmente il calore recuperato non è ancora sufficiente per raggiungere la temperatura ambiente desiderata: per questo motivo a molti impianti di ventilazione è integrata una piccola pompa di calore aria/aria che viene utilizzata anche per scaldare l'acqua sanitaria. La pompa di calore va integrata nel sistema in modo che l'evaporatore si trovi nel canale dell'aria esausta e il condensatore in quello dell'aria in ingresso.

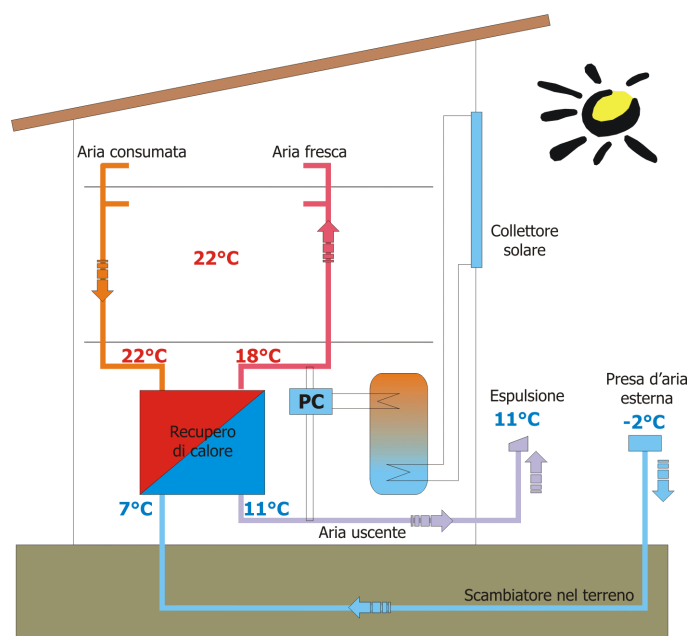


Figura 3 - Schema di funzionamento di un impianto di ventilazione con recupero calore e scambiatore interrato (disegno G. Gantioler)

Le piccole pompe di calore usate negli impianti di ventilazione di edifici passivi hanno una potenza di 300 – 500 Watt, portando la potenza complessiva del sistema a 500 – 800 Watt. 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. I motori funzionano a corrente continua (24 V) e hanno una potenza inferiore a 40 Watt. I ventilatori consentono una portata d'aria compresa tra 80 e 210 m³/h e hanno una potenza specifica compresa fra 0,3 e 0,45 Watt ogni metro cubo di aria trasportata. I comuni ventilatori hanno invece una potenza di 100 W, troppo alta per gli standard di un edificio passivo. Spesso negli edifici passivi si usano anche particolari scambiatori di calore interrati che sfruttano il fatto che ad una determinata profondità (già tra 120 – 200 cm) la temperatura del terreno rimane quasi costante per tutto l'anno: questo fenomeno viene sfruttato sia in inverno per il riscaldamento che in estate per il raffrescamento degli ambienti.

L'efficacia dello scambiatore dipende dalla superficie, dalla profondità e dalla lunghezza dello stesso e viene calcolato e dimensionato rispettivamente per ogni progetto.

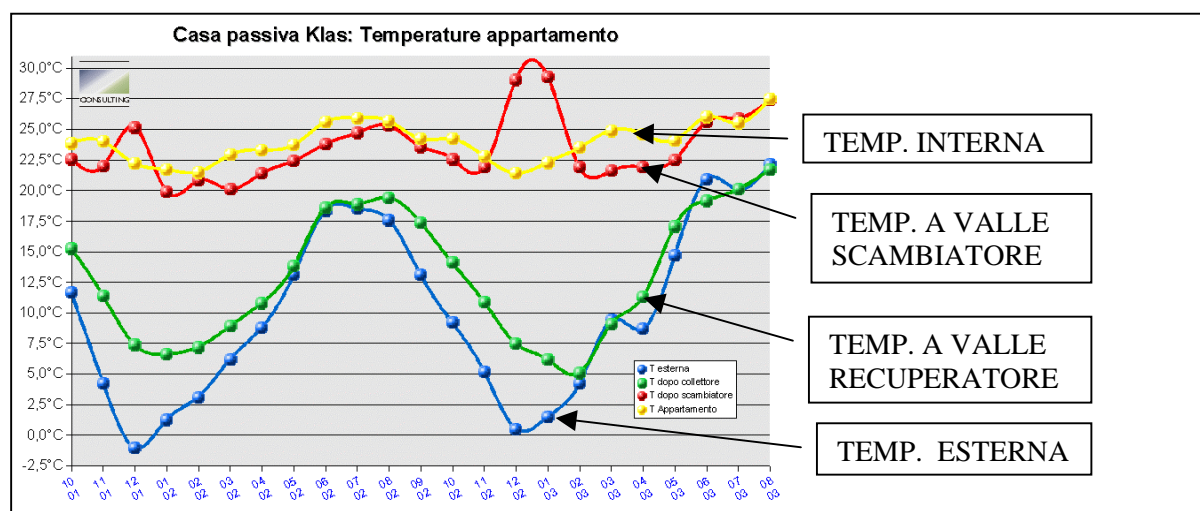


Figura 4 - Monitoraggio biennale di un impianto di ventilazione con recupero calore e scambiatore interrato (elaborazione G. Gantioler)

In un edificio passivo la produzione di acqua calda, che occupa il primo posto tra i consumi energetici, viene effettuata con collettori solari ad acqua ed integrata dalla fonte di energia primaria di riscaldamento. 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.

Un edificio passivo senza riscaldamento convenzionale consuma prevalentemente energia elettrica per azionare l'impianto di ventilazione e per i consueti usi domestici; i maggiori

consumi comunque derivano dall'illuminazione e dagli elettrodomestici e possono essere dimezzati utilizzando elettrodomestici e lampade a basso consumo energetico. L'energia elettrica necessaria ad un edificio passivo può essere prodotta anche tramite un impianto fotovoltaico, che date le ridotte richieste e le possibilità di accedere ad incentivi può diventare competitivo, o con impianti di cogenerazione, eolici, ecc.

La manutenzione del sistema aeraulico di un edificio passivo è piuttosto semplice, e consiste essenzialmente in un programma manutentivo che comprenda: sostituzione dei filtri dell'impianto di ventilazione ogni 3 mesi; pulitura periodica del sifone dello scambiatore interrato; videoispezione dei canali con telecamera ogni 5 anni; controlli periodici all'impianto solare; eventuale sostituzione di parti della pompa di calore ogni dieci anni.

Ai fini della valutazione del fabbisogno energetico di un edificio passivo viene utilizzato un metodo di calcolo semplificato rispetto alle procedure previste dalla EN 832 (perché gli edifici passivi non possiedono un impianto di riscaldamento tradizionale), e al contempo più preciso, il Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) del Dr. Feist del PHI di Darmstadt.

Nello sviluppo delle tecniche di costruzione degli edifici passivi ha avuto una parte fondamentale il monitoraggio eseguito sugli stessi dal PHI al termine della costruzione per verificarne le prestazioni. I continui controlli hanno messo in evidenza i punti critici dell'edificio; questi, affrontati e risolti di volta in volta, hanno portato ad un consolidamento di appropriate tecniche costruttive, che risultano comunque in continua evoluzione.

In questa direzione, ispirata alla filosofia progettuale del PHI, si sta muovendo la Z-Consulting, che in collaborazione con il Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia dell'Università degli Studi di Firenze stanno organizzando un monitoraggio delle prestazioni ambientali (comfort termoigrometrico e qualità dell'aria) in alcuni edifici passivi e non, per poter fare successivamente un corretto confronto fra le prestazioni di entrambi.

L'interesse per gli edifici passivi è dimostrato anche dal recente progetto Europeo CEPHEUS (Cost Efficient Passive House as European Standard), iniziato nel 1998, che è un progetto dimostrativo finalizzato alla sperimentazione e valutazione in cinque paesi europei (Germania, Svezia, Svizzera, Austria e Francia) del modello della casa passiva. Le prestazioni dei 14 edifici realizzati sono state attentamente valutate mediante l'analisi dei parametri inerenti il comfort termico, la qualità dell'aria indoor, l'efficienza dei sistemi di riscaldamento, la salvaguardia dell'ambiente, i caratteri morfologici, il rapporto costi-benefici,

i costi di costruzione dell'edificio. Tali valutazioni hanno dimostrato la fattibilità tecnica ed economica delle case passive per un elevato numero di tipologie edilizie e di collocazioni geografiche.

4. Edifici passivi in Trentino Alto Adige: analisi comparativa delle prestazioni del sistema edificio - impianto

Il Trentino Alto Adige sta mostrando un forte interesse per gli edifici passivi; il primo edificio passivo costruito è l'edificio Klas a Malles (BZ), realizzato nel 2000 dall'impresa di costruzioni che ha la propria sede nell'edificio stesso. A differenza del Nord Europa, dove l'attenzione principale è rivolta alla riduzione dei consumi e dei costi di costruzione, negli edifici passivi del Trentino Alto Adige si pone attenzione non solo all'aspetto energetico e bioclimatico, ma anche a quello ecologico, prediligendo, quando possibile, materiali ecocompatibili. Tale scelta comporta, per il raggiungimento dei target energetici prefissati, un aumento degli spessori dei materiali isolanti e conseguentemente maggiori costi.

Gli edifici passivi ed a basso consumo energetico del Trentino Alto Adige sono caratterizzati da una tipologia abbastanza compatta al fine di limitare la superficie di scambio termico tra interno ed esterno.

Per quello che riguarda gli edifici analizzati nel presente lavoro è stato possibile rilevare alcune varianti, soprattutto nei confronti della struttura e delle tipologie di tamponamenti (fig. 5), ed alcune caratteristiche comuni inerenti l'impianto di ventilazione. Le tipologie costruttive riscontrate abbinano strutture portanti differenti (telaio in c.a., muratura portante) a tamponamenti fortemente isolati realizzati in vari materiali (pannelli in c.a., elementi prefabbricati in legno, laterizio forato). Per la finitura esterna vengono generalmente usati intonaci al silicato, mentre per quelle interne intonaci di argilla, o di calce aerea oppure pannelli in cartongesso.

Nella maggior parte dei casi, tutti i componenti trasparenti utilizzati fanno uso di telai in legno coibentato e vetri altamente isolati a tre lastre con interposto gas krypton.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento tutti gli edifici analizzati fanno uso di un sistema di VMC abbinato ad uno scambiatore di calore interrato e ad un recuperatore di calore dell'aria esausta.

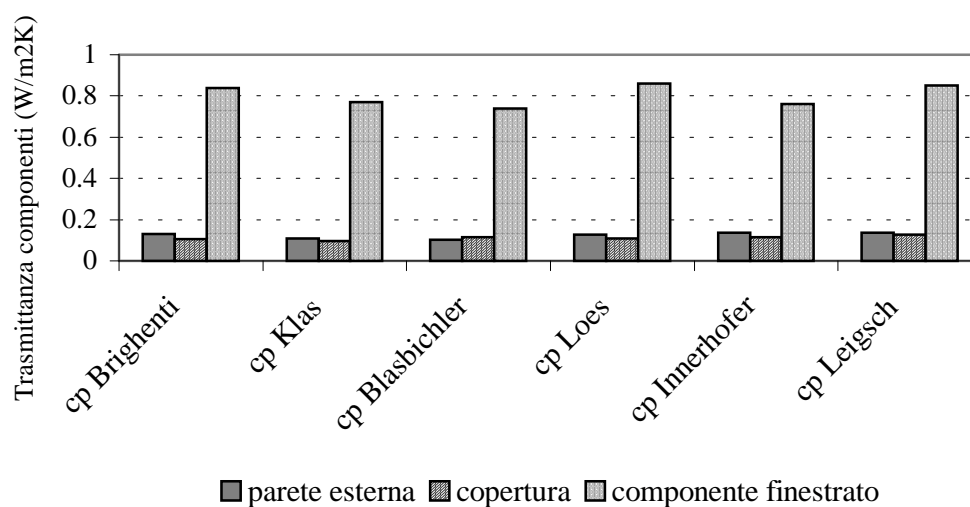


Figura 5 - Valori di trasmittanza dei principali componenti degli edifici analizzati

Lo scambiatore interrato è solitamente costituito da tubi in polipropilene, aventi una superficie corrugata all'esterno e liscia e bianca (per consentire l'ispezione con videocamera) all'interno, posti ad una profondità media di 1,5 m sotto il livello del terreno. Per motivi igienici l'aria viene filtrata prima di passare attraverso lo scambiatore e per evitare problemi di ristagno della condensa i canali presentano una leggera pendenza (minimo 1,5-2%) per il suo convogliamento e successivo smaltimento a mezzo di un sifone ispezionabile.

Mediamente il diametro dei canali a sezione circolare varia da 15 a 30 cm, mentre la lunghezza si aggira intorno ai 30-40 metri. Lo scambiatore di calore interrato per gli edifici presi in esame consente di ottenere temperature in uscita di circa 6-8°C. L'aria dallo scambiatore interrato, previa ulteriore filtrazione, entra nel recuperatore di calore per essere postriscaldata dall'aria esausta. Gli scambiatori usati sono del tipo a flusso inverso ad alto rendimento che garantiscono un recupero del calore fino al 92%. Il ventilatore che fa parte del sistema aeraulico può essere fonte di rumore quindi solitamente viene posto in locali tecnici, al di fuori degli ambienti di soggiorno, o in cantine.

Al sistema sopradescritto sono abbinate prevalentemente pompe di calore, od in alternativa caldaia a gpl (edificio di Tubre); recuperatori di calore individuali per ogni appartamento, collegati al teleriscaldamento cittadino per il riscaldamento integrativo e la produzione di acqua calda sanitaria (condominio di Bressanone); impianto a pellet per la

produzione combinata di acqua calda sanitaria e riscaldamento integrativo (edificio di Vipiteno).

Le pompe di calore utilizzate hanno mediamente una potenza che va da 400 a 1.200 W, un COP pari a 2,7 ed un costo di circa 1.500 €. Un sistema di climatizzazione come quello descritto, che garantisce un ricambio d'aria di $0,3 \pm 0,5 \text{ h}^{-1}$, installato in un edificio di media volumetria di circa 700 m^3 , ha un costo compreso fra 5.000 e 9.500 €.

Nei sistemi di climatizzazione degli edifici presi in esame l'immissione dell'aria avviene negli ambienti principali attraverso terminali di varia forma posti in alto sulle pareti o a soffitto e la ripresa dagli ambienti di servizio previa filtrazione per proteggere il recuperatore di calore.

La produzione di acqua calda viene affidata, nella quasi totalità dei casi, a collettori solari, che possono essere anche integrati in facciata come ad esempio negli edifici di Tubre, Lana e Malles; quest'ultimo inoltre è dotato di un locale tecnico in cui è alloggiato un serbatoio-buffer per conservare una riserva di acqua calda.

L'energia elettrica che aziona l'impianto di ventilazione è quella fornita dalla rete pubblica, che in Trentino Alto Adige è per la maggior parte di natura idroelettrica. In media il consumo totale di energia primaria per un edificio passivo in Trentino Alto Adige è sempre inferiore al valore di $80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

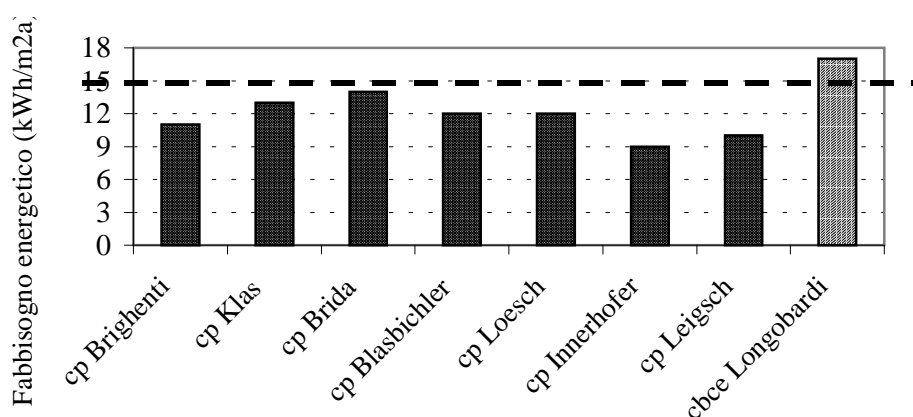


Fig. 6 - Confronto fra il fabbisogno energetico calcolato per gli edifici analizzati

Nella figura 6 è riportato un confronto fra i fabbisogni energetici calcolati per gli edifici passivi analizzati, oltre che per l'edificio a basso consumo energetico Longobardi che si discosta di poco dallo standard dettato dal PHI pari a 15 kWh/m²a.

A fianco degli edifici passivi presentati, è sembrato opportuno presentare anche un edificio non residenziale, in particolare una scuola materna realizzata a Mezzago (Lecco) i cui consumi energetici si attestano su valori di 56 kWh/m²a, inferiori allo standard di un edificio a basso consumo energetico (70 kWh/m²a). Alla struttura dell'edificio, completamente in legno, sono abbinati elementi prefabbricati in legno isolati con fibra di legno (s = 12 –14 cm) aventi una trasmittanza che varia da 0,552 (pareti) a 0,283 W/m²K (copertura) e infissi a vetrocamera con trasmittanza pari a 1,7 W/m²K. Una caldaia a metano (a servizio di una struttura esistente) provvede sia al riscaldamento che alla produzione di acqua calda sanitaria. Particolarmente interessanti sono le soluzioni architettoniche finalizzate al controllo dell'irraggiamento solare delle ampie vetrate a sud.

Per ognuno degli edifici analizzati, segue una scheda che riporta:

- dati climatici: altezza slm, irraggiamento solare globale su superficie orizzontale, temperatura esterna minima di progetto, Gradi Giorno (GG), Indice energetico dell'edificio (fabbisogno annuale di energia utile per riscaldamento dell'edificio diviso per la superficie netta riscaldata);
- caratteristiche costruttive componenti e valori di trasmittanza;
- descrizione del sistema di climatizzazione e produzione acqua calda sanitaria.

Conclusioni

La casa passiva costituisce un buon investimento economico per il futuro perché per riscaldarla è sufficiente il 10% dell'energia necessaria a riscaldare un edificio tradizionale con un'emissione di sostanze nocive ridotta dell'80% e con costi di riscaldamento irrisori rispetto a quelli di un edificio tradizionale. L'idea di base dell'edificio passivo è molto semplice, ma solo una gestione molto attenta ed integrata del sistema edificio-impianto garantisce livelli di comfort superiori alla media. I problemi che sono ancora da risolvere riguardano soprattutto le

condizioni interne di comfort, ed in particolare la riduzione della percentuale di umidità relativa all'interno degli ambienti e il surriscaldamento estivo degli edifici .

Scheda n. 1 – Casa passiva Brighenti



EDIFICIO UNIFAMILIARE A DUE PIANI
PROPRIETARIO: BRIGHENTI
LOCALITÀ: TUBRE (BZ)

Dati climatici:

Altezza slm = 1240 m
Irraggiamento solare globale = 1200 kWh/m²a
Temperatura esterna minima = -20°C
GG: 4.447

Indice energetico = 11 kWh/m²a

Struttura portante: in c.a. **Pareti esterne:** due pannelli in c.a. da 12 cm + calce espansa 30 cm. **Pareti trasparenti:** collettori solari inseriti in telai in legno rivestiti esternamente in lamiera; isolati verso l'interno con cellulosa in fiocchi da 16 cm e lana di vetro da 3 cm. **Solaio su terreno:** magrone 5 cm, getto in c.a. 25 cm, guaina impermeabilizzante, fiocchi di cellulosa 30 cm, pannelli OSB 2,2 cm, lastra anticalpestio 0,5 cm, pavimento legno. **Tetto:** piano; lastra in c.a. 20 cm, cellulosa in fiocchi 40 cm, pannelli OSB 2,2 cm, tessuto di protezione, foglio impermeabilizzante, tessuto di protezione, strato di ghiaia 5 cm. **Finestre:** vetri termici tripli + Krypton; g = 42%
Trasmittanza (W/m²K): Parete esterna: 0,13; Solaio su terreno: 0,12; Copertura: 0,107; Componenti finestrate: totale 0,84
Riscaldamento e VMC: impianto di ventilazione con scambiatore di calore interrato e recuperatore di calore, collegato ad una caldaia a gpl posta sul tetto dell'edificio. **Acqua calda:** fornita dal sistema solare integrato nella struttura della facciata sud.

Valori di umidità relativa accettabili possono essere ottenuti mantenendo il valore della temperatura interna intorno a 20°C, riducendo la velocità dell'aria dell'impianto di ventilazione, per esempio agendo sulle dimensioni e sul corretto posizionamento delle bocchette, oppure utilizzando materiali igroscopici per la realizzazione della struttura dell'edificio. Naturalmente l'utilizzo di un umidificatore interno risolverebbe definitivamente il problema, ma la ricerca è orientata su strategie non energivore.

Un problema degli edifici passivi è il surriscaldamento in regime estivo, soprattutto in vista di una applicazione di questa tecnologia in area mediterranea; tale problema può essere minimizzato prevedendo un'opportuna schermatura delle superfici vetrate al fine di ridurre gli apporti solari estivi. Per ridurre gli apporti di calore interni è invece importante l'utilizzo di apparecchi elettrici a basso consumo energetico. Inoltre si potrebbe agire sulla massa della

struttura aumentandone l'inerzia termica o utilizzando materiali ad elevate prestazioni (come ad esempio alcuni prodotti alla paraffina che utilizzati negli intonaci riducono di circa 1,5°C la temperatura interna in regime estivo rispetto all'utilizzo di un intonaco normale). Si può poi intervenire sulla temperatura dell'aria in entrata utilizzando uno scambiatore di calore interrato opportunamente dimensionato oppure con l'impiego di pompe di calore a ciclo inverso, dispositivi questi che però implicano un consumo di energia.

Scheda n. 2 – Casa passiva Gapp

	<p>EDIFICIO A SCHIERA SU DUE PIANI PROPRIETARIO: GAPP LOCALITÀ: MALLES (BZ)</p> <p>Dati climatici Altezza slm = 1050 m; Irraggiamento solare globale = 1200 kWh/m²a Temperatura esterna minima = -18°C; GG: 4.131</p> <p>Indice energetico = 13 kWh/m²a</p>
<p>Struttura portante in c.a. Pareti esterne: laterizio alleggerito in pasta 20 cm + sughero 35 cm. Pareti interne: laterizio tradizionale 12 cm con intonaco di calce. Tetto: a capanna, struttura in legno, cellulosa in fiocchi 40 cm, guaina aperta alla diffusione del vapore e manto di copertura in tegole. Finestre: vetri termici tripli + Krypton Trasmittanza (W/m²K): Parete esterna: 0,109; Copertura: 0,097; Componenti finestrate: totale 0,77 (vetro 0,6) Riscaldamento: impianto di ventilazione con scambiatore di calore interrato e recuperatore di calore aria-aria, a flusso inverso, collegato ad una pompa di calore da 600 W. Acqua calda: fornita dal sistema solare integrato nella struttura della facciata sud e collegato ad un serbatoio-buffer che consente lunghi periodi di autonomia anche in assenza di sole.</p>	

Il problema più grande nella riduzione dei consumi energetici degli edifici riguarda la ristrutturazione degli edifici esistenti dato che rappresentano la maggior parte degli interventi nel settore edilizio. In futuro quindi lo sviluppo delle metodologie applicate ad un edificio passivo dovrà essere orientato in questa direzione. Nelle ristrutturazioni difficilmente si potranno raggiungere i parametri della casa passiva, ma interventi decisi permetteranno una riduzione fino ad un terzo delle energie per il riscaldamento e dell'inquinamento.

In Italia l'introduzione dei concetti che stanno alla base degli edifici passivi e conseguentemente la metodologia di progettazione e costruzione comporterà prima la necessità di una istruzione di tutti gli operatori del processo edilizio (dai progettisti ai muratori, ecc.) fino ai committenti e agli abitanti.

Scheda n. 3 - Condominio passivo Brida



CONDOMINIO PLURIFAMILIARE A 4
PIANI
(9 APPARTAMENTI + 1 UFFICIO)
PROPRIETARIO: BRIDA
LOCALITÀ: BRESSANONE (BZ)

Dati climatici

Altezza slm = 1240 m;
Irraggiamento solare globale = 1289 kWh/m²a
Temperatura esterna minima = -16°C;
GG: 3.507

Indice Energetico = 14 kWh/m²a

Struttura: portante con pareti in un impasto di arenaria calcarea di 18 cm, cappotto in polistirolo espanso con grafite 28 cm. **Tetto:** piano costituito da struttura in cemento armato isolato con 40 cm di polistirolo espanso con grafite, tessuto di protezione, foglio impermeabilizzante, tessuto di protezione e strato di ghiaia da 5 cm. **Finestre:** vetri termici tripli + Krypton; g = 52%
Trasmittanza (W/m²K): Componenti finestrate: totale 0,72
Riscaldamento: impianto di ventilazione centralizzato con scambiatore di calore interrato unico e recuperatori di calore individuali per ogni appartamento, collegati al teleriscaldamento cittadino.
Acqua calda: prodotta col teleriscaldamento cittadino.

Infine, la mancanza di materiali idonei e di sistemi di produzione del calore adeguati è un'altra realtà con cui bisogna fare i conti. In questo momento per realizzare un edificio passivo in Italia bisogna rivolgersi sicuramente al mercato estero per trovare dispositivi adeguati alle prestazioni richieste.

Di pari passo con lo sviluppo di una cultura appropriata per l'introduzione delle metodologie costruttive degli edifici passivi sarebbe opportuna anche l'introduzione di metodi di calcolo adeguati, nonché un'evoluzione della normativa sul risparmio energetico e sulla certificazione che attesti la qualità degli edifici, cosa che stimolerebbe sicuramente il mercato a spingere nella direzione degli edifici passivi.

Scheda n. 4 – Casa passiva Blasbichler



EDIFICIO BIFAMILIARE A DUE PIANI
LOCALITÀ: VERDINGS - CHIUSA (BZ)
PROPRIETARIO BLASBICHLER

Altezza slm = 523m
Irraggiamento solare globale = 1250
kWh/m²a
Temperatura esterna minima = -16°C
GG: 3449

Indice energetico = 12 kWh/m²a

Pareti esterne: laterizio 25cm, calce espansa 28cm. **Solaio su interrato:** struttura in laterizio 22 cm, fiocchi di cellulosa 35 cm, pannelli OSB 2,2 cm, lastra anticalpestio in fibra di legno 0,5 cm, pavimento in legno. **Tetto:** struttura in c.a. 22 cm, canapa 40 cm, pannelli OSB 2,2 cm, intercapedine ventilazione tetto 8 cm, manto copertura in lamiera. **Finestre:** vetri termici tripli + Krypton; g = 53%.
Trasmittanza (W/m²K): Parete esterna: 0,104; Solaio su interrato: 0,127; Copertura: 0,116;
Componenti finestrate: totale 0,74

Riscaldamento: impianto di ventilazione con scambiatore di calore interrato e recuperatore di calore, collegato ad una pompa di calore. **Acqua calda:** fornita da un impianto solare disposto sul lato Sud

Scheda n. 5 - Casa passiva Innerhofer



EDIFICIO UNIFAMILIARE A DUE PIANI
LOCALITÀ: MELTINA (BZ)
PROPRIETARIO INNERHOFER

Dati climatici

Altezza slm = 1140m
Irraggiamento solare globale = 1250
kWh/m²a
Temperatura esterna minima = -19°C
GG: 4186

Indice energetico = 9 kWh/m²a

Struttura: laterizio alleggerito in pasta da 50 cm. **Pareti trasparenti:** collettori solari inseriti in telai in legno rivestiti esternamente in lamiera; isolati verso l'interno con cellulosa in fiocchi da 16 cm e lana di vetro da 3 cm. **Tetto:** struttura in legno, pannello di cartongesso 1,5 cm, barriera al vapore, tavolato di legno 2,4 cm, fibra di legno 40 cm con densità 80 kg/m³, tavolato in legno 2,4 cm, distanziatori per ventilazione tetto, manto di copertura in lamiera. **Finestre:** vetri termici tripli + Krypton; g = 53%

Trasmittanza (W/m²K): Parete: 0,138; Copertura: 0,116; Componenti finestrate: totale 0,76

Riscaldamento: impianto di ventilazione con scambiatore di calore interrato e recuperatore di calore, collegato ad una pompa di calore. **Acqua calda:** fornita da impianto solare integrato nella facciata sud

Scheda n. 6 – Casa passiva Leigsch

	<p>EDIFICIO A TRE PIANI (AMBIENTE ESPOSITIVO + UFFICI) PROPRIETARIO LEIGSCH LOCALITÀ: VIPITENO (BZ)</p> <p>Dati climatici Altezza slm = 948 m Irraggiamento solare globale = 1194 kWh/m²a Temperatura esterna minima = -18°C GG: 3959</p> <p>Indice energetico = 10 kWh/m²a</p>
<p>Struttura: laterizio alleggerito in pasta da 50 cm. Tetto: solaio in c.a. 20 cm, fibra di legno 30 cm, distanziatori per ventilazione tetto, tavolato in legno 2,4 cm, manto di copertura in lamiera. Finestre: vetri termici tripli + Krypton Trasmittanza (W/m²K): Parete: 0,138; Copertura: 0,128; Componenti finestrati: totale 0,85 Riscaldamento: impianto di ventilazione con scambiatore di calore interrato e recuperatore di calore, collegato ad un impianto a pellet esistente. Acqua calda: fornita dallo stesso impianto a pellet</p>	

Bibliografia

- 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.
- Feist, W., “Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, ed. Verlag das Beispiel, Darmstadt 2002
- Krapmeier Drossler, “Cepheus, living comfort without heating”, Springer Wien New York 2001
- Carletti, C., “Dalle case a basso consumo energetico alle case passive”, in Costruire sostenibile l’Europa, Alinea Editrice – Bologna Fiere, Firenze, 2002
- Baratta, A., Carletti, C. “Dossier Case passive”, *Costruire*, Milano, n. 224/2002
- Gantioler G., Collana Z-Consulting FachINFO VII: “calcolo bilancio energetico / PHPP”
- Gantioler G., Collana Z-Consulting FachINFO XI: “case passive”