



1

La funzione principale dell'involucro edilizio, da un punto vista puramente energetico, è di contenere i flussi di calore scambiati durante la stagione invernale tra l'interno e gli ambienti esterni confinanti. In regime invernale, il saldo del bilancio energetico di un edificio rappresenta la differenza tra i flussi energetici in uscita e la quantità di calore che l'involucro è in grado di captare, definendo la quantità di energia termica necessaria al mantenimento del comfort negli ambienti. La dissipazione del calore generato dall'impianto termico è dovuta alla trasmissione termica degli elementi edilizi e alle perdite causate dalla ventilazione dei locali, mentre gli apporti termici sono riconducibili alla radiazione solare che investe l'edificio e ai contributi gratuiti dovuti alla presenza delle persone, degli elementi illuminanti e delle apparecchiature elettriche all'interno dell'immobile.

L'obiettivo principale di una costruzione a basso impatto energetico, con un indice termico annuo inferiore a 50 kWh/mq, consiste nella riduzione del fabbisogno di energia termica necessario a garantire una condizione costante di 20°C durante il periodo di riscaldamento. La progettazione di un edificio con tali caratteristiche sarà quindi finalizzata a massimizzare gli apporti solari passivi delle superfici trasparenti, oltre a ridurre quanto più possibile la quantità di energia dispersa dalle strutture dell'involucro.

I guadagni solari di cui può beneficiare una costruzione possono essere ottimizzati mediante una corretta esposizione dell'edificio sull'asse elioterico e disponendo ragionevolmente le superfici

vetrate. Un parametro di grande utilità nella valutazione della scelta tipologica di una vetrata è rappresentato dal fattore solare (g). Quest'ultimo esprime la percentuale di energia solare che attraversa il vetro in relazione alla quantità totale di radiazione incidente. Nei vetri singoli il fattore (g) equivale a circa il 92%, nei vetri doppi dotati di rivestimento basso-emissivo è di circa il 62% mentre scende fino al 48-52% nelle vetrate a triplo vetro dotate di coating con depositi metallici. È utile quindi tenere in considerazione che le vetrate a triplo vetro con le camere riempite di gas nobile (Argon, Krypton) presentano valori di trasmittanza termica decisamente ridotti, a fronte però di una scarsa attitudine a favorire i guadagni solari.

Le perdite di calore per ventilazione incidono in modo rilevante soprattutto in presenza di un involucro con ottime caratteristiche termiche. Tali dispersioni sono in gran parte generate dalla necessità di rinnovare l'aria viziata dei locali ma anche dalle infiltrazioni e discontinuità interstiziali causate da una cattiva messa in opera degli elementi edilizi. Tipicamente le giunzioni dei serramenti alla struttura muraria rappresentano i punti deboli in cui il calore interno può disperdersi. La scelta di serramenti a elevata tenuta all'aria (classe 4), il loro posizionamento sul

1. Giunzione alla muratura di un serramento a triplo vetro in una costruzione in legno isolata con materiali naturali. Foto di Alessandro Palazzo presso Klimahouse 2010.

2. Corretta stratigrafia di una copertura ventilata in legno per garantire una buona diffusione al vapore. Documentazione Agenzia CasaClima.

INVOLUCRO IN REGIME INVERNALE

38 di Alessandro Palazzo*

The cladding in winter

The main function of the building cladding, from the purely energy-related point of view, is to limit the flows of heat exchanged in winter between the inside and the neighbouring outside environment. In winter, the energy balance of a building is the difference between the outward-going energy flows and the quantity of heat that the cladding is able to collect, defining the quantity of thermal energy needed to keep the rooms comfortable. Dissipation of the heat generated by the heating system is due to the transmission of heat on the part of the building components and to losses caused by ventilation of the rooms. The contribution of heat, on the other hand, concerns the sun striking the building and the free contributions due to the presence of people, of lighting fixtures and of electrical equipment inside the building.

The main aim of a building with a low energy impact, with a yearly thermal index of less than 50 kWh/sq.m., consists of lowering the need for thermal energy needed to guarantee a constant temperature of 20°C during the heating period. The design of a similar building will therefore be aimed at maximising the passive contribution of sunlight due to transparent surfaces, in addition to reducing the amount of energy lost through the structures of the cladding to a minimum.

The solar gains that a building can benefit from can be optimised by correct exposure of the building in relation to

the heliothermal axis and arranging the glazed surface in an appropriate manner. One very useful parameter for evaluating the choice of the type of glazing is the solar factor (g). This expresses the percentage of solar energy that passes through the glass in relation to the total quantity of incident radiation. In single glazing, the (g) factor is about 92%, in double glazing with low-emission coating it is about 62% while for triple glazing with coatings consisting of metal deposits it can drop to 48 to 52%. It is therefore useful to keep in mind that triple glazing in which the air gaps are filled with noble gases (argon, krypton) have decidedly low heat transmittance values, but at the same time do not facilitate solar gains.

Losses of heat due to ventilation have a significant impact, above all in the presence of a cladding with excellent thermal characteristics. Such dispersion is originated to a great extent by the need to change stale air inside the rooms but also by infiltrations and interstitial discontinuities caused by poor erection of the building components. Typically, the joints of fixtures to the masonry are the weak points where the heat of the interior can undergo dispersion. The choice of very airtight fixtures (class 4), positioning them on the same plane as the heat insulation by fixing them to the sub-frame on all four sides and the use of self-expanding tape, together with uniform plastering of the inside surfaces can guarantee almost hermetical sealing of the cladding. In wooden roofs, airtightness is guaranteed by the application of taped sealing cloths that, installed in a hot environment, usually also slow down the passage of water vapour. The most

*Consulente esperto CasaClima, certificatore energetico, docente Politecnico di Milano

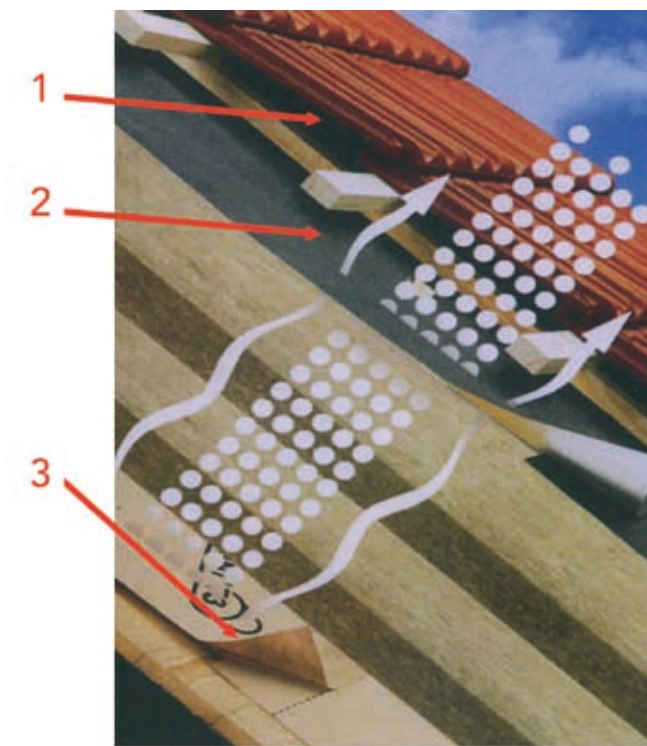
1. Joint with the masonry of a triple-glazed fixture in a wooden building insulated with natural materials. Photo by Alessandro Palazzo care of Klimahouse 2010.

2. Correct layering of a ventilated wooden roof to ensure good vapour diffusion. Documentation: Agenzia CasaClima.

frequently adopted choice for class 4 buildings, in order to limit dispersion due to ventilation, consists of a plant-engineering solution. Mechanical controlled ventilation systems guarantee an ideal contribution of fresh air without having to open the windows, thus recovering up to 90 to 95 % of the warmth contained in the expelled stale air.

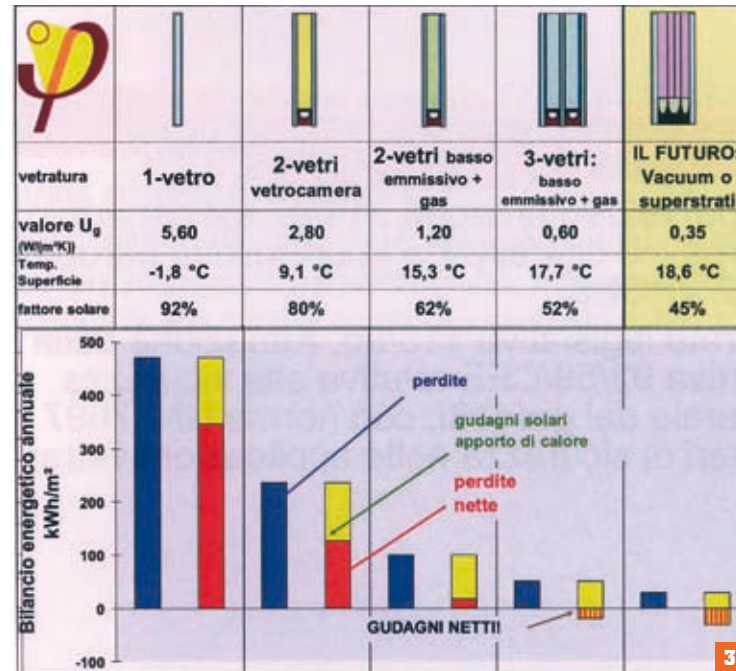
The losses caused by the heat transmission of the elements enclosing the heated volume of the building are the prevailing factor in the energy balance function. The dispersion due to transmission of the opaque components are calculated as the product of the surfaces of the cladding by their heat transmittances. To these losses must be added those generated by any thermal bridges not eliminated during construction. In order to limit losses by transmission, therefore, the design of a low-consumption building should reduce the surfaces through which dispersion occurs by creating a possibly compact shape. This approach has two positive aspects: increased comfort inside the rooms due to less exposure to the outside temperature and lowering of the cost for insulating the surfaces.

Heat transmittance U (expressed in W/m²K) defines the quantity of thermal energy flowing through the building components in a stationary situation. Good heat insulation of the outside walls,



1. Camera d'aria 4-6 cm
2. Guaina sottotegola ideale
SD>0,2 WDD>1000
3. Freno a vapore ideale
SD=3 WDD=8

2



piano dell'isolamento termico mediante fissaggio a controtelaio su quattro lati e l'utilizzo di nastri autoespandenti, insieme a una uniforme intonacatura delle superfici interne, possono garantire un involucro pressoché ermetico. Nelle coperture in legno la tenuta all'aria viene garantita mediante l'applicazione di teli sigillanti nastrati che, posti nell'ambito caldo, solitamente fungono anche da freno al passaggio di vapore acqueo. La scelta più utilizzata nelle costruzioni in classe A, per contenere le dispersioni per ventilazione, è rappresentata da una soluzione di tipo impiantistico. I sistemi di ventilazione meccanica controllata garantiscono un ideale apporto di aria rinnovata, senza la necessità di dover aprire le finestre, recuperando fino al 90-95% del calore contenuto nell'aria viziata espulsa. Le perdite causate dalla trasmissione termica degli elementi che avvolgono il volume riscaldato dell'edificio rappresentano il fattore preponderante nella funzione del bilancio energetico. Le dispersioni per trasmissione delle componenti opache sono calcolate come prodotto tra le superfici dell'involucro e le relative trasmittanze termiche. A tali perdite si aggiungono quelle generate dai ponti termici eventualmente non risolti in fase di realizzazione. Per contenere le perdite per trasmissione, quindi, la progettazione di un edificio a basso consumo dovrebbe ridurre le superfici disperdenti realizzando una forma possibilmente compatta. Questo approccio presenta due aspetti positivi: l'aumento del comfort interno ai locali, dovuto a una minore esposizione alle temperature esterne, e l'abbattimento dei costi relativi alle superfici da coibentare. La trasmittanza termica U (espressa in W/m²K) definisce la quantità di energia termica che fluisce, in regime stazionario, attraverso i componenti edilizi. Un buon isolamento termico delle pareti esterne, del tetto, dei solai, dei punti di contatto

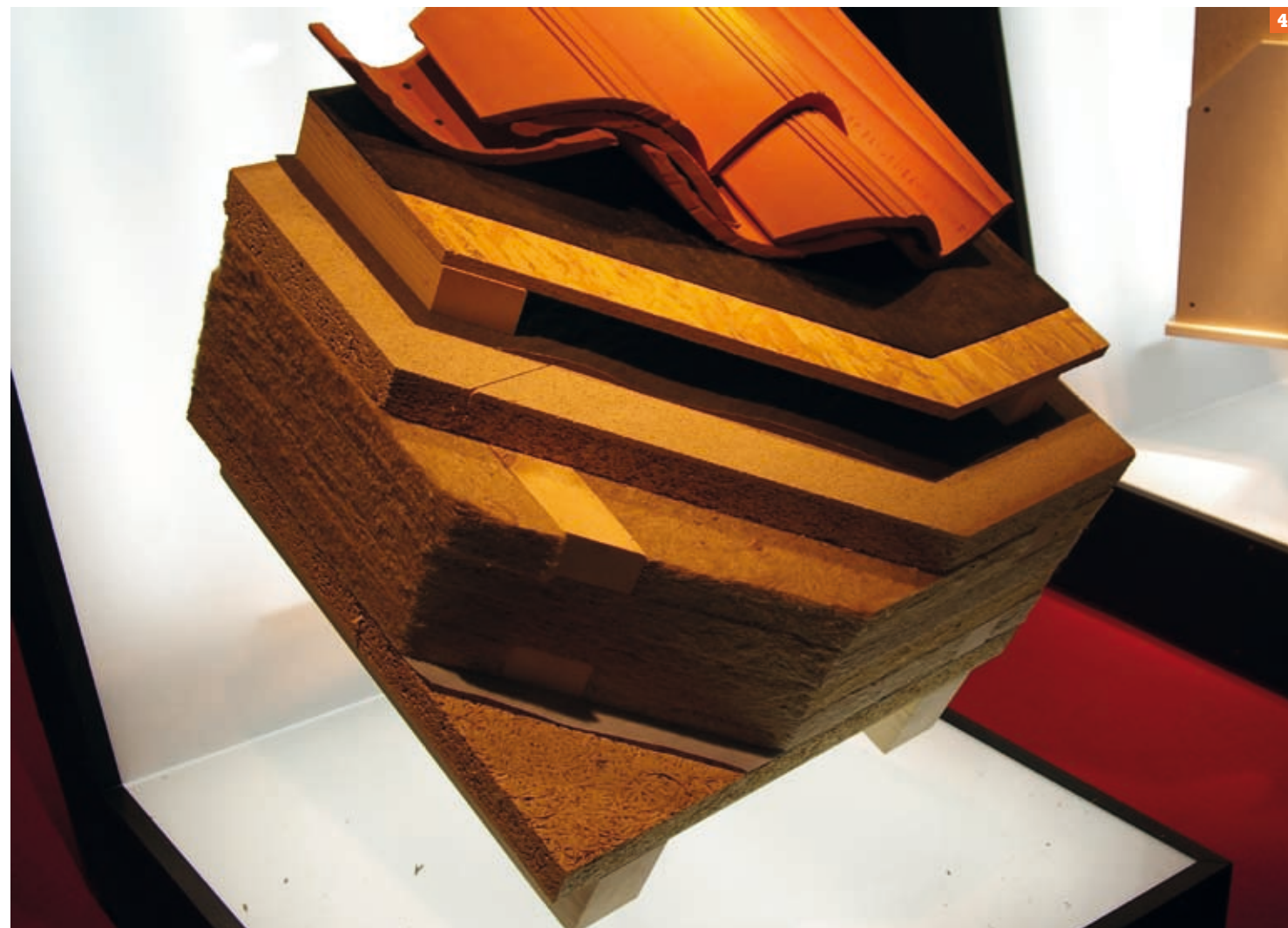
3. Comparazione delle principali caratteristiche e prestazioni di diverse tipologie di vetrate (Documentazione Passivhaus Institut)

4. Isolamento in materiali naturali (fibra di legno) di una copertura a falda in legno (Foto di Alessandro Palazzo presso Klimahouse 2010)

5. Involucro costituito da una teoria di pannelli in legno massiccio di abete rosso con collegamenti in tasselli di legno, isolamento in pannelli di fibra di legno, rivestimento esterno in tavole di larice, finitura interna con intonaco



Frames



4

of the roof, of the floor slabs, of the points of contact with the ground and of the windows expresses a low transmittance, that is to say a good ability to retain heat. In calculating transmittance, the thickness and the heat conductivity of the single materials defining the structure of a building are taken into consideration. Correct layering, from the inside outwards, should entail lowering of the conductivity of the materials, that is to say of their ability to transmit heat. Insulating materials, which by definition have a conductivity (λ) of less than 0.10 W/mK, are used to lower considerably the heat transmission of the structures. In order to be used in the building industry, in addition to a low λ , these materials must also have good durability, resistance to sudden changes in temperature and permeability to water vapour and, preferably, they should also be water-repellent, rot-proof and incombustible. It should be noted that it is cost-effective to use thick insulating materials since they have a low impact on the overall cost of the insulating activity: the fixed costs for scaffolding, setting up the jobsite, laying and finishing remain unchanged, and therefore the resulting energy saving will pay back the costs in only a few years of use. Heat-insulating cladding of the masonry has the function of protecting the interior from climatic variations and thanks to this system the temperature inside the buildings can be lowered to two or three degrees lower than that normally maintained in conventional buildings, without giving up excellent dwelling comfort. In buildings that are not correctly insulated, the warm and moist air inside the building, generated by the household activities, can lead to condensation on the cold walls, and even more so if there are thermal bridges, leading in the worst cases to the proliferation of mould. Rather, in order to avoid the creation

of interstitial condensation, it is necessary to carry out a careful investigation of the heat and moisture conditions in order to make sure that the materials used have a decreasing capacity to withstand the spreading of water vapour (μ) from the inside towards the outside of the building. In buildings with continuous external insulation in the form of cladding eliminating thermal bridges, thanks to a uniform distribution of the temperature in the structural elements, the moisture of the air cannot drop below the dew point. Special attention must be paid to defining the layering of the materials forming the roof. This is because it is important to ensure effective transpiration of the roof, also by using open-diffusion linings and counterbattens for ventilation. The working design of a building that has efficient cladding requires greater care than in buildings with no insulation to eliminate any critical points of the construction. Thermal bridges can be defined as parts of the building cladding where the heat resistance – uniform everywhere else – changes significantly, causing increased transmission-related dispersion by up to even 30%. Thermal bridges may be construction-related, caused by placing materials with very different thermal characteristics close to one another, or by changes in the thickness of the construction, or they may be shape-related,

3. Comparison of the main features and performance of different types of glazing (Documentation: Passivhaus Institut)

4. Insulation made of natural material (woodfibre) in a pitched wooden roof (Photo by Alessandro Palazzo care of Klimahouse 2010)

5.

con il terreno e delle finestre esprime un basso valore di trasmittanza, ovvero una buona capacità di trattenere il calore. Nel calcolo della trasmittanza si tiene in considerazione lo spessore e la conducibilità termica dei singoli materiali che ne definiscono la struttura. Una corretta stratigrafia, dall'interno verso l'esterno, dovrebbe prevedere una diminuzione della conducibilità dei materiali, ossia la loro attitudine a trasmettere il calore. I materiali isolanti, che per definizione presentano una conducibilità (λ) inferiore a 0,10 W/mK, vengono utilizzati per ridurre notevolmente la trasmittanza termica delle strutture. Tali materiali, per essere utilizzati in edilizia, oltre ad avere un basso valore di λ , devono presentare buone caratteristiche di durabilità, di resistenza agli sbalzi termici, di permeabilità al vapore acqueo ed è preferibile siano idrorepellenti, imputrescibili e incombustibili. È opportuno osservare che risulta conveniente investire sullo spessore del materiale isolante in quanto incide poco sul costo complessivo di un intervento di coibentazione: i costi fissi relativi ai ponteggi, all'approntamento di cantiere, alla posa e alle opere di finitura rimangono invariati, pertanto il risparmio energetico che ne deriva si ripaga in pochi anni di utilizzo.

L'isolamento termico a cappotto delle murature svolge la funzione di proteggere gli spazi interni dalle variazioni climatiche e grazie a ciò la temperatura interna degli edifici può essere ridotta fino a due-tre gradi rispetto a quella normalmente mantenuta negli edifici tradizionali, senza rinunciare a un ottimo comfort abitativo. Nelle costruzioni non correttamente coibentate l'aria calda e umida interna, generata dalle normali attività abitative, può provocare fenomeni di condensa superficiale sulle pareti fredde, e ancora di più in presenza di ponti termici, portando nei casi peggiori alla proliferazione delle

muffe. Invece, per evitare la formazione di condensa interstiziale, è necessario eseguire un'attenta verifica termoigrometrica per accertarsi che i materiali utilizzati presentino fattori di resistenza alla diffusione del vapore acqueo (valore μ) decrescenti dall'interno verso l'esterno. Nelle costruzioni dotate di isolamento esterno continuo a cappotto con risoluzione dei ponti termici, grazie a una distribuzione uniforme della temperatura negli elementi strutturali, l'umidità dell'aria non può precipitare al di sotto del punto di rugiada. Particolare attenzione va posta nei confronti della definizione della stratigrafia dei materiali che costituiscono la copertura. È importante infatti garantire, anche tramite l'utilizzo di teli a diffusione aperta e di controlistelli per la ventilazione, un'efficace traspirazione del tetto favorendo la migrazione del vapore acqueo.

La progettazione esecutiva di un edificio che presenta un involucro efficiente deve essere più attenta, rispetto a edifici privi di coibentazione, alla risoluzione dei punti critici della costruzione. I ponti termici si possono definire come parti dell'involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo provocando un aumento delle dispersioni per trasmissione anche fino al 30%. I ponti termici possono essere di tipo costruttivo, causati dall'accostamento di materiali con caratteristiche termiche notevolmente differenti o dalla variazione nello spessore della costruzione, oppure di tipo geometrico, come ad esempio gli angoli, i balconi e le mensole che si prolungano dall'interno verso l'esterno dell'edificio. Attraverso un ponte termico fuoriesce quindi più calore rispetto alle superfici confinanti creando le condizioni ideali per la formazione di condensa e quindi del degrado dei materiali. Per eliminare, o minimizzare, la presenza dei ponti termici è necessario che l'isolamento termico

sia continuo, ponendo attenzione alla coibentazione delle parti strutturali, ai giunti dell'edificio con la copertura, con i solai, all'attacco con il terreno o con i vani non riscaldati, alla fase di posa dei serramenti e soprattutto alla presenza dei balconi. La piastra del balcone può essere termicamente tagliata rispetto alla soletta interna tramite speciali disgiuntori o in alternativa può essere interamente foderata con un materiale isolante di adeguato spessore.

Per quanto riguarda le componenti trasparenti dell'involucro edilizio la trasmittanza termica complessiva (U_w) tiene in considerazione nel calcolo, oltre alle dimensioni geometriche del serramento, la trasmittanza del vetro (U_g), quella del telaio (U_f) e quella lineare del distanziatore (Ψ_g). La trasmittanza termica del telaio è una diretta conseguenza del materiale utilizzato. Il legname tenero è preferibile sia da un punto di vista termico sia per l'impatto ambientale derivato. Le perdite energetiche delle vetrate sono riconducibili alla trasmissione di calore per conduzione e per irraggiamento, attraverso il vetro, e alla convezione all'interno dell'intercapedine. Il coating, o pellicola a bassa emissività, riduce le perdite per re-irraggiamento con un miglioramento prestazionale fino al 60%. Il giunto termico delle intercapedini delle vetrocamere è un elemento importante della vetrata in quanto ostacola l'ingresso dell'umidità e contemporaneamente evita la fuoriuscita del gas. Il cosiddetto giunto caldo consiste in un profilo distanziatore in PVC con una minore conducibilità termica (λ 0,23 W/mK) rispetto a quelli tradizionali in alluminio (λ 200 W/mK) o in acciaio inox (λ 15 W/mK). Il giunto caldo permette un innalzamento della temperatura superficiale del bordo del vetro con una conseguente riduzione del rischio di condensa ed è in grado di migliorare il valore U_w del serramento fino al 10%.



6. Disgiuntore termico ideale per la correzione dei ponti termici dovuti alla presenza di balconi (Foto di Alessandro Palazzo presso Klimahouse 2010)

7. Corretta giunzione di un serramento con una parete esterna coibentata a cappotto, mediante l'applicazione di reti di armatura (Foto di Alessandro Palazzo presso Klimahouse 2010)

for instance corners, balconies and brackets that extend from the inside of the building outwards. This means that with a thermal bridge more heat leaves the building than through the neighbouring surfaces, thus creating the ideal conditions for forming condensation and therefore the deterioration of the materials. To eliminate or at least minimise the presence of thermal bridges, it is necessary for the heat insulation to be continuous, paying attention to insulation of the structural components, to the joints between the building and the roof and floor slabs, to contact with the ground and to any unheated rooms, to the installation of doors and windows and



6. Thermal separation ideal for correcting the thermal bridges due to the presence of balconies (Photo by Alessandro Palazzo care of Klimahouse 2010)

7. Correct joint between a fixture and an outside wall with outer cladding by applying reinforcing netting (Photo by Alessandro Palazzo care of Klimahouse 2010)

above all to the presence of balconies. The floor slab of the balcony can be insulated from the floor slab of the building in terms of heat by means of special separators or, as an alternative, it can be completely lined with a suitably thick insulating material.

As far as concerns the transparent components of the building cladding, in addition to the geometrical dimensions of the fixture, calculation of the overall heat transmittance (U_w) also takes into account the transmittance of the glazing (U_g), that of the frame (U_f) and the linear transmittance of the spacer (Ψ_g). The heat transmittance of the frame is a direct consequence of the material used. Softwood is preferable both from the thermal point of view and in relation to the resulting environmental impact. The energy losses of the glazing are due to transmission of heat by conduction and by radiation, through the glass, and to convection inside the air gap. The coating, or low-emission film, lowers losses due to re-radiation, improving performance by up to 60%. The thermal joint of the air gaps in multiple glazing is an important aspect of the glazing since it prevents the ingress of moisture and, at the same time, prevents leakage of the gas. So-called hot joints consist of a PVC spacing section with a lower conductivity (λ 0.23 W/mK) than conventional aluminium spacers (λ 200 W/mK) or stainless steel (λ 15 W/mK). This hot joint makes it possible to raise the surface temperature of the edge of the glass, with a consequent lowering of the risk of condensation, and is capable of improving the U_w value of the fixture by up to 10%.

Materiale isolante	Conducibilità termica		Densità
	W/mK		Kg/m ³
Argilla espansa	0,08 - 0,09		260 - 500
Calciosilicato	0,06		240
Fibra di legno	0,04 - 0,06		130 - 280
Fiocchi di cellulosa	0,04 - 0,045		30 - 100
Lana di roccia	0,035 - 0,04		30 - 150
Lana di vetro	0,035 - 0,04		25 - 150
Legno mineralizzato	0,1		450
Pannelli sottovuoto (VIP)	0,004 - 0,008		> 30
Perlite espansa	0,04 - 0,07		80 - 180
Polistirolo espanso (EPS)	0,033 - 0,045		11.232,0
Polistirolo estruso (XPS)	0,035 - 0,045		35 - 40
Poliuretano (PUR)	0,025 - 0,03		> 30
Schiuma minerale	0,045		115
Sughero	0,04 - 0,05		130
Vetro cellulare	0,04 - 0,05		100 - 170