



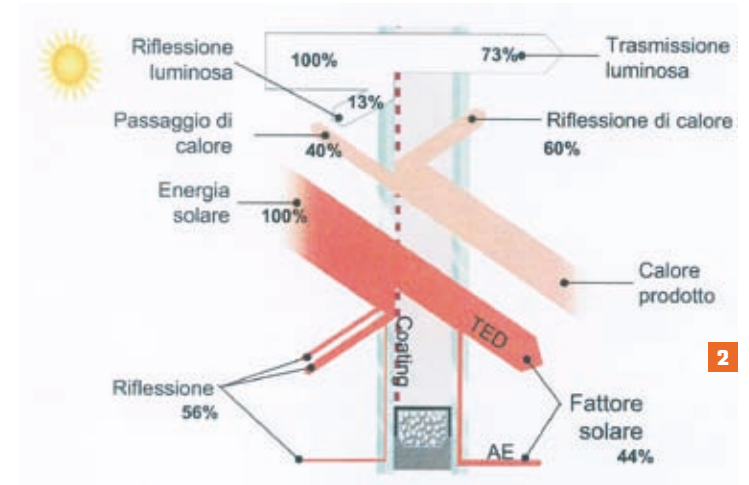
raffrescamento e deumidificazione, necessario a mantenere il benessere all'interno degli ambienti. Per ridurre l'incidenza del surriscaldamento estivo sulle componenti dell'involucro edilizio risulta appropriato adottare una serie di misure, da adeguare a seconda delle condizioni climatiche in cui si opera.

- Convienne innanzitutto limitare le superfici trasparenti e comunque prevedere degli idonei sistemi di schermatura per quelle direttamente esposte alla radiazione solare.
- Sfruttare efficacemente la ventilazione notturna, anche disponendo l'edificio in favore dei venti predominanti.
- Progettare elementi edilizi dotati di un buon isolamento, prevedendo eventuali camere di ventilazione capaci di sottrarre calore per convezione alle murature e alla copertura.
- Innescare il raffrescamento naturale degli spazi abitativi elevando l'inerzia termica della struttura edilizia, ovvero la sua capacità di accumulo termico, che permette di ritardare la risposta interna alle sollecitazioni climatiche.
- Utilizzare colori chiari per le superfici direttamente colpite dal sole, così da diffondere uniformemente la radiazione solare.

La sensazione di benessere termo-igrometrico percepito dalle persone all'interno degli edifici, durante le stagioni calde, è influenzata da diversi fattori. In primo luogo dalla temperatura operante, che esprime la media tra la temperatura ambientale (che non dovrebbe superare i 26 °C), e quella radiante di pareti e impalcati. Il comfort è inoltre determinato dalla

velocità dell'aria, che aumenta lo scambio termico per convezione e accelera quello latente attraverso l'epidermide, dall'umidità assoluta, che dovrebbe risultare inferiore a 12 g/kg per evitare una spiacevole sensazione di afa, dalla percentuale di umidità relativa, che dovrebbe corrispondere al 50-60% per consentire la naturale sudorazione come fondamentale processo corporeo di dissipazione evaporativa del calore, dal tipo di abbigliamento adottato e dall'attività svolta.

Il contributo di un elemento edilizio al bilancio termico estivo è dovuto sia alla trasmittanza termica, che regola il flusso di calore in entrata, sia alla sua capacità di accumulo termico, che permette di trattenerne, per poi rilasciare, il calore generato dall'irraggiamento solare incidente. La trasmissione del calore, come è noto, è influenzata dallo spessore dei materiali che compongono una struttura, dalla loro conducibilità termica, dalla superficie dell'elemento e dal differenziale di temperatura tra i due ambienti di separazione. L'accumulo di calore è dovuto alle oscillazioni giornaliere della temperatura esterna e della radiazione solare incidente. La modellazione per il calcolo della dispersione termica di un involucro edilizio viene generalmente condotta considerando un regime termico stazionario, ipotizzando cioè che la differenza tra la temperatura interna ed esterna sia costante nell'arco della giornata. Se questa condizione risulta accettabile nell'analisi delle prestazioni energetiche invernali, durante la stagione estiva le variazioni sinusoidali della



1. Edificio scolastico dotato di sistema di schermatura solare a frangisole con pala fissa orizzontale, in lamiera metallica pressopiegata
2. Caratteristiche energetiche di un vetro isolante dotato di coating selettivo. Rispetto a un vetro basso emissivo il fattore solare passa da circa il 62% a circa il 44%. Cresce infatti la percentuale di energia solare riflessa.
3. Visualizzazione dell'irraggiamento solare incidente su vetrate e superfici e della conseguente proiezione delle ombre su un edificio, ottenuta mediante il software Ecotect Analysis (Autodesk)

INVOLUCRO IN REGIME ESTIVO

40 di Alessandro Palazzo*

Cladding in the summer version

It is essential for the cladding of a low-consumption building to be able to limit the energy needs for cooling and dehumidifying required in order to maintain well-being inside it in summer, in addition to ensuring high energy efficiency in winter (see Frames no. 146). To lower the incidence of overheating in summer on the components of the cladding of a building, a series of steps should be taken, adapting them to the existing climatic conditions.

- First of all it is advisable to limit the transparent surfaces, and in any case to provide suitable screening systems for those exposed directly to the sunlight.
- Night-time ventilation should be exploited effectively, also by positioning the building in such a way as to take advantage of the prevailing winds.
- Building elements with good insulation should be planned, possibly providing ventilation chambers capable of removing heat by convection from the walls and roof.
- Natural cooling of the living areas can be triggered by raising the thermal inertia of the building structure, that is to say its ability to accumulate warmth, enabling the internal response to climatic stresses to be delayed.
- Pale colours should be used for the surfaces struck directly by the sunlight so as to spread the radiation uniformly. The sensation of comfort in terms of temperature and moisture perceived by the people inside buildings in the warm season

is influenced by several factors. In the first place it is affected by the operative temperature, expressing the mean between room temperature (which should not exceed 26 °C), and the radiant temperature of the walls and floor slabs. Comfort is also determined by the velocity of the air (which increases the exchange of heat caused by convection and accelerates latent heat exchanges through the skin), by absolute humidity (which in order to avoid an unpleasant feeling of sultriness should be less than 12 g/kg), by the percentage of relative humidity (which should be in the region of 50-60% so as to enable natural transpiration as a fundamental bodily process of dissipation of heat by evaporation), by the type of clothing worn and by the activity being carried on.

The contribution of a building component to the summer thermal balance is due partly to its heat transmittance, which controls the incoming flow of heat, and partly to its ability to accumulate heat, enabling it to retain the heat generated by incident sunlight and then to release it. It is well known that the transmission of heat is influenced by the thickness of the materials forming a structure, by their ability to conduct heat, by the surface of the component in question and by the temperature differential between the two areas separated by them. The accumulation of heat is due to the daily oscillations of the outside temperature and of the incident sunlight.

Modelling for calculating the heat dispersion of a building cladding is usually carried out considering a constant situation, in which the difference between the inside and outside temperatures is steady throughout the day. While this condition is acceptable

when analysing energy performance in winter, in summer the sinusoidal changes in the outside temperature acquire significant importance and therefore assessments of a dynamic nature become necessary. In an analysis in variable conditions, some magnitudes that are neglected in a stationary situation are important and useful for assessing the thermal behaviour of opaque components in summer.

Superficial mass M_s (kg/m²)

This parameter considers the thermal inertia of an opaque component. Surface mass is determined by the sum of the products between density (kg/m³) and thickness (m) of the materials making up the layers of the component in question.

Specific heat c (J/kgK)

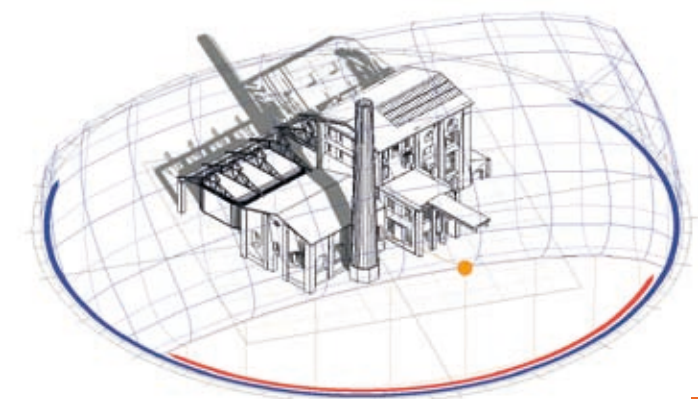
This is the capacity of a material to accumulate thermal energy. For an equal volume and an equal temperature, a material with a higher mass and specific heat will accumulate more warmth.

Thermal capacity C (J/K)

This expresses the ability of a body to store heat. Both the opaque components forming the cladding of the building and the internal horizontal and vertical structures contribute for the first 6 to 7 cm to the process of accumulation and release of heat. Since thermal capacity originates from the product of specific heat and mass, the energy accumulated increases in proportion to the mass of the component, in view of the limited difference in specific heat between the building materials. In order to obtain a cladding that

- 1.
- 2.
- 3.

behaves like a good "heat tank", therefore, it is important for the layers to contain high-mass components in the proximity of the environment being enclosed, avoiding wherever possible the use of internal insulating systems consisting of low-density materials.



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

temperatura esterna, assumono un'importanza significativa e divengono pertanto necessarie le valutazioni di tipo dinamico. Nell'analisi in condizioni variabili rivestono importanza alcune grandezze, trascurate nel regime termico stazionario, utili a valutare il comportamento termico estivo degli elementi opachi.

La massa superficiale M_s (kg/m^2)

Si tratta di un parametro che valuta l'inerzia termica di un componente opaco. La massa superficiale è determinata dalla somma dei prodotti tra la densità (kg/m^3) e lo spessore (m) dei materiali che costituiscono la stratigrafia dell'elemento in questione.

Il calore specifico c (J/kgK)

Rappresenta la capacità di un materiale di accumulare energia termica. A parità di volume e di temperatura un materiale con valori superiori di massa e calore specifico accumula più calore.

La capacità termica C (J/K)

Esprime la capacità di un corpo di immagazzinare calore. Al processo di accumulo e di rilascio del calore contribuiscono, per i primi 6-7 cm, sia i componenti opachi che costituiscono l'involucro dell'edificio sia le strutture interne, orizzontali e

4. Edificio per uffici in legno, certificato CasaClima Apiù. Le ampie vetrate rivolte a Sud incrementano i guadagni solari contribuendo a diminuire il fabbisogno energetico invernale. I profondi aggetti della copertura e delle balconate offrono un'efficace schermatura evitando il surriscaldamento dei locali. Progetto Plankensteiner & Steiger architetti (Documentazione Agenzia CasaClima).

verticali. Siccome la capacità termica deriva dal prodotto tra il calore specifico e la massa, l'energia accumulata è tanto elevata quanto maggiore è la massa del componente, data la limitata differenza di calore specifico tra i materiali edilizi. Risulta quindi importante, per ottenere un involucro che si comporti come un buon "serbatoio termico", che le stratigrafie prevedano componenti massive in prossimità degli ambienti confinati evitando quindi, ove possibile, l'utilizzo di sistemi di isolamento interno realizzati con materiali a bassa densità.

La trasmittanza termica periodica Y_{ie} (W/m^2K)

Rappresenta, in condizioni al contorno variabili, il flusso di calore in entrata negli ambienti interni. Indicando il contenimento delle oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare incidente su un componente opaco, la trasmittanza termica periodica risulta l'indice più idoneo nella scelta delle caratteristiche di un elemento, offrendo al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.

Il fattore di attenuazione f_a (adim.)

Esprime il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica periodica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie. Indica quindi l'attenuazione dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna, rispetto a quella ambientale esterna, durante una sollecitazione armonica di 24 ore. Il suo valore è sempre compreso tra 0 (attenuazione massima, quindi "inerzia infinita") e 1 (attenuazione minima, quindi "inerzia nulla") ed è inversamente proporzionale al ritardo (o sfasamento) con cui la massa degli elementi rilascia



Frames

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
> 12	< 0,15	ottime	I
10 - 12	0,15 - 0,30	buone	II
8 - 10	0,30 - 0,40	medie	III
6 - 8	0,40 - 0,60	sufficienti	IV
< 6	> 0,60	mediocri	V

Classificazione nazionale della qualità prestazionale estiva dell'involucro edilizio attraverso i parametri di sfasamento e del fattore di attenuazione, valida per tutte le destinazioni d'uso e tutte le zone climatiche. Nei casi in cui le coppie dei parametri non rientrino coerentemente negli intervalli prevale il valore dello sfasamento

	ESTATE	INVERNO
Temperatura dell'aria	26 °C	20 °C
Umidità relativa	50 - 60 %	40 - 50 %
Velocità dell'aria	0,1 - 0,2 m/s	0,05 - 0,1 m/s
Temperatura operante	20 - 22 °C	16 - 18 °C

Condizioni igrotermiche per garantire un benessere ottimale all'interno degli ambienti abitativi

Periodic heat transmittance Y_{ie} (W/m^2K)

In variable boundary conditions, this refers to the flow of heat entering the rooms. Indicating the containment of temperature oscillations in the rooms in relation to the incident sunlight on an opaque component, period heat transmittance is the most suitable indicator for choosing the characteristics of a component, offering the designer a choice between working either on the insulation or on the mass.

Attenuation factor f_a (adimensional)

This expresses the relationship between the modulus of periodic heat transmittance and heat transmittance in stationary conditions. It therefore indicates the attenuation of the amplitude of the variations in the internal superficial temperature with regard to the outside ambient temperature during a harmonic stress over a period of 24 hours. Its value is always between 0 (maximum attenuation, therefore "infinite inertia") and 1 (minimum attenuation, therefore "nil inertia") and is inversely proportional to the delay with which the mass of components releases inside the building the warmth accumulated. To obtain a low attenuation factor, the opaque component should have a low stationary heat transmittance and a high periodic heat transmittance.

Delay ϕ (h)

This indicates the time, in hours, needed for the thermal wave to flow from the outside surface of a building component to its internal face. High delay values therefore ensure good protection against summer heat. The ideal delay should guarantee that the maximum temperature is reached when the outside temperature has dropped to values enabling natural night-time ventilation to be exploited.

Thus, a building component with good thermal inertia properties is characterised by a low attenuation factor and by a substantial delay.

The technical directive issued by the CasaClima Agency takes some of the factors referred to above into consideration, as indexes for assessing the summer behaviour of a building. The process for certifying a building in the province of Bolzano must show that, for the opaque components exposed to the sun, there is a minimum delay of 10 hours and that the periodic heat transmittance does not exceed value $0.10 W/m^2K$. In order to limit energy requirements for air-conditioning in summer and to keep the temperature in the rooms down, President of the Republic's decree 59/09 requires that, in places where the mean monthly radiance on a horizontal surface is equal to or greater than $290 W/m^2$ in the sunniest month, it is necessary to check that the value of the surface mass is greater than $230 kg/m^2$ for the vertical walls exposed to direct sunlight or, as an alternative, that the periodic heat transmittance is lower than $0.12 W/m^2K$, and, for horizontal and tilted opaque structures, that the period heat transmittance is lower than $0.20 W/m^2K$. The same decree also requires the designer to assess the efficiency of the screening systems for glazed surfaces, so as to lower the contribution of heat due to sunlight. This is because in summer transparent windows facing south, east and – even more



possedere una ridotta trasmittanza termica stazionaria e un elevato valore di trasmittanza termica periodica.

Lo sfasamento ϕ (h)

Indica l'intervallo di tempo, espresso in ore, necessario all'onda termica per fluire dalla superficie esterna di un elemento edilizio alla suo lato interno. Alti valori di sfasamento garantiscono quindi una buona protezione dal calore estivo. Un ideale sfasamento dovrebbe garantire il raggiungimento della temperatura massima quando la temperatura esterna risulta diminuita a valori tali da consentire lo sfruttamento della ventilazione naturale notturna. Quindi un elemento edilizio, con buone proprietà di inerzia termica, è caratterizzato da un ridotto fattore di attenuazione e da un consistente sfasamento temporale.

La direttiva tecnica emanata dall'Agenzia CasaClima tiene in considerazione alcuni dei fattori sopra richiamati, come indici di valutazione del comportamento estivo di un edificio. Il processo di certificazione di un edificio in provincia di Bolzano deve infatti dimostrare, per gli elementi opachi esposti a irraggiamento solare, uno sfasamento minimo di 10 ore e il non superamento del valore pari a $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ della trasmittanza termica periodica.

Al fine di limitare il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva e per contenere la temperatura interna degli ambienti, il DPR 59/09 prescrive per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 , la verifica che il valore della massa superficiale sia superiore a 230 kg/m^2 per le pareti verticali

all'interno dell'edificio il calore accumulato. Per ottenere un basso fattore di attenuazione l'elemento opaco dovrebbe

5

esposte all'azione solare, o in alternativa, che il valore della trasmittanza termica periodica sia inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ e, per le strutture opache orizzontali e inclinate, che la trasmittanza termica periodica sia inferiore a $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lo stesso decreto impone inoltre al progettista di valutare l'efficacia dei sistemi schermanti per le superfici vetrate, così da ridurre l'apporto di calore per irradiazione solare. Infatti nel periodo estivo le chiusure trasparenti orientate a sud, a est e ancor più quelle a ovest, concorrono all'incremento del carico termico in misura molto maggiore rispetto alle superfici opache.

A tal proposito è utile sottolineare che non sono considerati schermanti i sistemi, fissi o mobili, applicati all'interno dei locali. Le soluzioni schermanti poste invece all'esterno degli ambienti risultano efficaci in quanto respingono la radiazione solare prima che questa raggiunga la superficie vetrata, innescando un micro effetto serra tra schermo solare e vetro. Si tratta di veneziane, persiane, antoni, tapparelle, tende, lamelle e frangisole, fissi o orientabili. Sistemi schermanti molto efficaci risultano essere anche i portici, le logge e in genere tutti quegli elementi edilizi in aggetto orizzontale che abbiano una profondità tale da mantenere in ombra le chiusure vetrate. Aggetti orizzontali ben concepiti e verificati facendo uso di software di simulazione dell'andamento solare, sono in grado di ridurre fino al 70% il fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo. I dispositivi di ombreggiamento orizzontale, disposti in aggetto, risultano maggiormente idonei per oscurare le superfici orientate a sud, mentre quelli verticali si dimostrano più efficaci per limitare la radiazione solare sui fronti con orientamento est e ovest. Spesso questi dispositivi forniscono la possibilità di movimentazione degli

elementi così da modulare l'ingresso della luce, evitando zone permanentemente ombreggiate e impedendo la riduzione della visibilità interna.

Rientrano tra i sistemi schermanti anche gli elementi non appartenenti all'involucro bensì al contesto in cui l'edificio si trova, come le costruzioni limitrofe e la vegetazione del tipo caducifoglie, ideale per non limitare il passaggio di radiazione solare durante il periodo invernale.

Non sono considerati inoltre schermanti a tutti gli effetti i sistemi deputati al controllo della radiazione solare che prevedono l'applicazione di pellicole polimeriche autoadesive, benché siano in grado di assorbire o riflettere una parte della radiazione solare.

Agendo sulle caratteristiche dei vetri per limitare i carichi termici solari, nelle nostre condizioni climatiche, risulta abbastanza efficace l'utilizzo di soluzioni rappresentate da vetri basso-emissivi dotati di coating esterno di tipo selettivo. Anche operare una scelta mirata nei confronti del fattore solare (g), che rappresenta la percentuale di energia solare trasmessa attraverso il vetro in rapporto alla totalità dell'energia incidente, può dare buoni risultati durante la stagione estiva, a condizione di valutare però attentamente la conseguente riduzione invernale dei benefici apporti solari passivi.

5. Sistema di schermatura solare a frangisole con pala fissa verticale in legno

6. Rappresentazione del ritardo di fase e dell'attenuazione dell'onda termica in ingresso in un ambiente interno, durante la stagione estiva. Un elemento edilizio, per proteggersi dal surriscaldamento solare dovrebbe garantire un fattore di attenuazione ridotto e un elevato sfasamento di tempo.

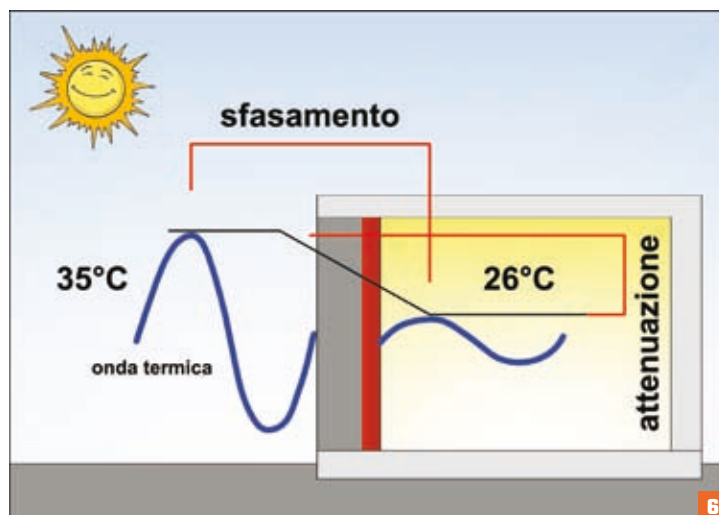
so - west - contribute towards increasing the thermal load far more than opaque surfaces. In this respect, it should be stressed that fixed or mobile systems applied inside the building are not considered screens. Screening systems installed outside, on the other hand, are found to be efficient since they keep out the sun before it reaches the glazed surface, triggering off a micro green house effect between the sun screen and the glass. The systems may consist of Venetian blinds, jalousie shutters, board shutters, roller blinds, curtains or fixed or adjustable sun screens. Other very effective screening systems are porticoes, loggias and, generally speaking, all types of building structures that jut out horizontally for a depth sufficient to keep glazed windows in the shade. Properly designed horizontally

5.
6.

protruding structures checked using software for simulating the path of the sun are able to reduce the energy requirements for cooling in summer by up to 70%. Horizontal shading devices placed so as to protrude from the building are more suitable for shading south-facing surfaces while vertical types are found to be more effective for limiting direct sunlight on east and west-facing walls. These devices are often designed so that the components can be adjusted to modulate the entry of light, thus avoiding permanently shaded areas and preventing a reduction of the visibility indoors.

Screening systems also include components that are not part of the cladding but of the context in which the building is placed, such as neighbouring buildings and deciduous trees, which are ideal since they do not prevent the penetration of sunlight in winter. Systems for controlling sunlight by applying self-adhesive polymer films are not, on the other hand, considered screens to all effects and purposes, although they are capable of absorbing or reflecting part of the sunlight.

Solutions consisting of low-emission glazing with external coatings of a selective type are fairly effective in our climate for adapting the characteristics of glazing so as to limit solar thermal loads. Targeted choices in relation to the solar factor (g), which is the percentage of solar energy transmitted through the glass in relation to the total incident energy, can also give good results in summer, provided the consequent reduction, in winter, of the benefits of the passive solar contribution is carefully evaluated.



6

Materiali da costruzione	Densità	Conducibilità termica	Calore specifico
	Kg/m ³	W/mK	kJ/kgK
Calcestruzzo	1.800	1,60	1,10
Calcestruzzo armato	2.400	2,30	1,10
Calcestruzzo cellulare autoclavato	400 - 800	0,11 - 0,24	1,05
Lastre di cartongesso	900	0,21	1,05
Laterizio pieno	1.700	0,70	0,95
Laterizio porizzato	800	0,25	1,00
Pannelli di legno mineralizzato	450	0,09	1,00
Pannelli di sughero	80 - 130	0,04 - 0,05	1,70
Pannelli in fibra di legno	130 - 280	0,04 - 0,06	2,10
Pannelli in fibra di vetro	25 - 150	0,035 - 0,04	1,00
Pannelli in lana di roccia	30 - 150	0,035 - 0,04	1,00
Pannelli in polistirene espanso	15 - 30	0,033 - 0,045	1,45
Pannelli in polistirene estruso	35 - 45	0,035 - 0,045	1,45
Pannelli in poliuretano	30	0,025 - 0,03	1,20
Solaio in latero-cemento	1.200 - 1.600	0,80	0,95

Principali caratteristiche per la valutazione del comportamento estivo di alcuni materiali utilizzati nel settore edile