



1

IL CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE

36 di Alessandro Palazzo*

Checking the energy performance of cladding

The energy required to heat a building (Q_h) is given by the difference between the heat losses through the cladding of the building ($Q_t + Q_v$) and the overall heat gain generated by the people living in the building, together with the electrical equipment installed there (Q_e) - which produce a quantity of heat that can be hypothesised in advance on the basis of the intended use of the building - and also by the contribution due to by sunlight (Q_s) striking the glazed surfaces of the building, above all if design was focused on this fundamental aspect. The formula of the energy balance defines the energy (kWh/year) that will have to be provided by the heating system in order to guarantee a steady temperature of 20° C inside the rooms in winter:

$$Q_h = Q_t + Q_v - \eta (Q_e + Q_s)$$

In quantitative terms, the losses generated by the transmission of heat (Q_t) through the opaque and transparent structures enclosing a volume kept at a controlled temperature above all with reference to buildings not equipped with efficient heat-insulating systems, account for the most significant item of the energy balance. Controlling this parameter when erecting newly designed low-consumption building or re-qualifying an existing one for energy efficiency, is therefore essential for limiting consumption. The method for calculating losses by transmission must take the effect of any thermal bridges that

have not been dealt by applying parameters for correcting the heat transmittance of the various building components involved into consideration. In some cases, the effect of thermal bridges can account even for 30% of the overall dispersion due to heat transmission. In the case of a building undergoing energy certification, failure to consider the parameters necessary for correcting the quantity of heat flow caused by any existing thermal bridges can generate a difference in class. This will benefit the builder of the work and damage the purchaser/customer, who does not have the means for doubting the correctness of the certificate.

When diagnosing a building, thermographic measurements can be of great help for investigating whether a building with a high energy efficiency (whether new or re-qualified) was first designed and then built solving the critical points where most of the heat losses through the building structures occur. At the same time they offer a reliable non-destructive tool for

1. A thermal infrared camera can be used to store in real time the surface-heat map of objects viewed through the lens, in order to detect any construction flaws (photo: FLIR Systems)
2. A thermographic image of a floor with under-floor radiating panels for heating. A thermographic campaign is a valid non-destructive system for discovering possible abnormalities in the system (photo: FLIR Systems)
3. Thermographic image of a building. It is possible to see very clearly the heat-dispersion effects of thermal bridges due to the load-bearing structure and to the presence of the boxes containing the roller blinds, not insulated (photo: FLIR Systems)

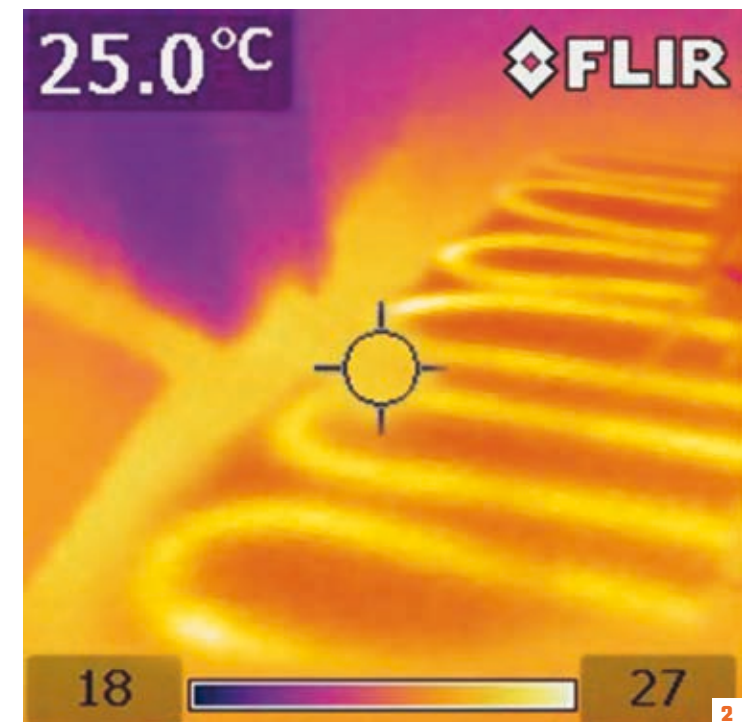
*Consulente esperto CasaClima, certificatore energetico, docente Politecnico di Milano

Il fabbisogno di energia per il riscaldamento di un edificio (Q_h) è determinato dalla differenza tra le perdite di calore attraverso l'involucro edilizio ($Q_t + Q_v$) e i guadagni termici complessivi generati dalle persone che vi abitano, insieme alle attrezzature elettriche installate (Q_e) - che producono una quantità di calore ipotizzabile a priori a seconda della destinazione d'uso del fabbricato - e anche, e soprattutto qualora la progettazione sia concentrata su questo fondamentale aspetto, dagli apporti dovuti all'irradiazione solare (Q_s) che investe le superfici vetrate dell'edificio. La formula del bilancio energetico definisce l'energia (kWh/anno) che dovrà essere fornita dall'impianto termico per garantire durante la stagione invernale una temperatura costante di 20°C all'interno dei locali:

$$Q_h = Q_t + Q_v - \eta (Q_e + Q_s)$$

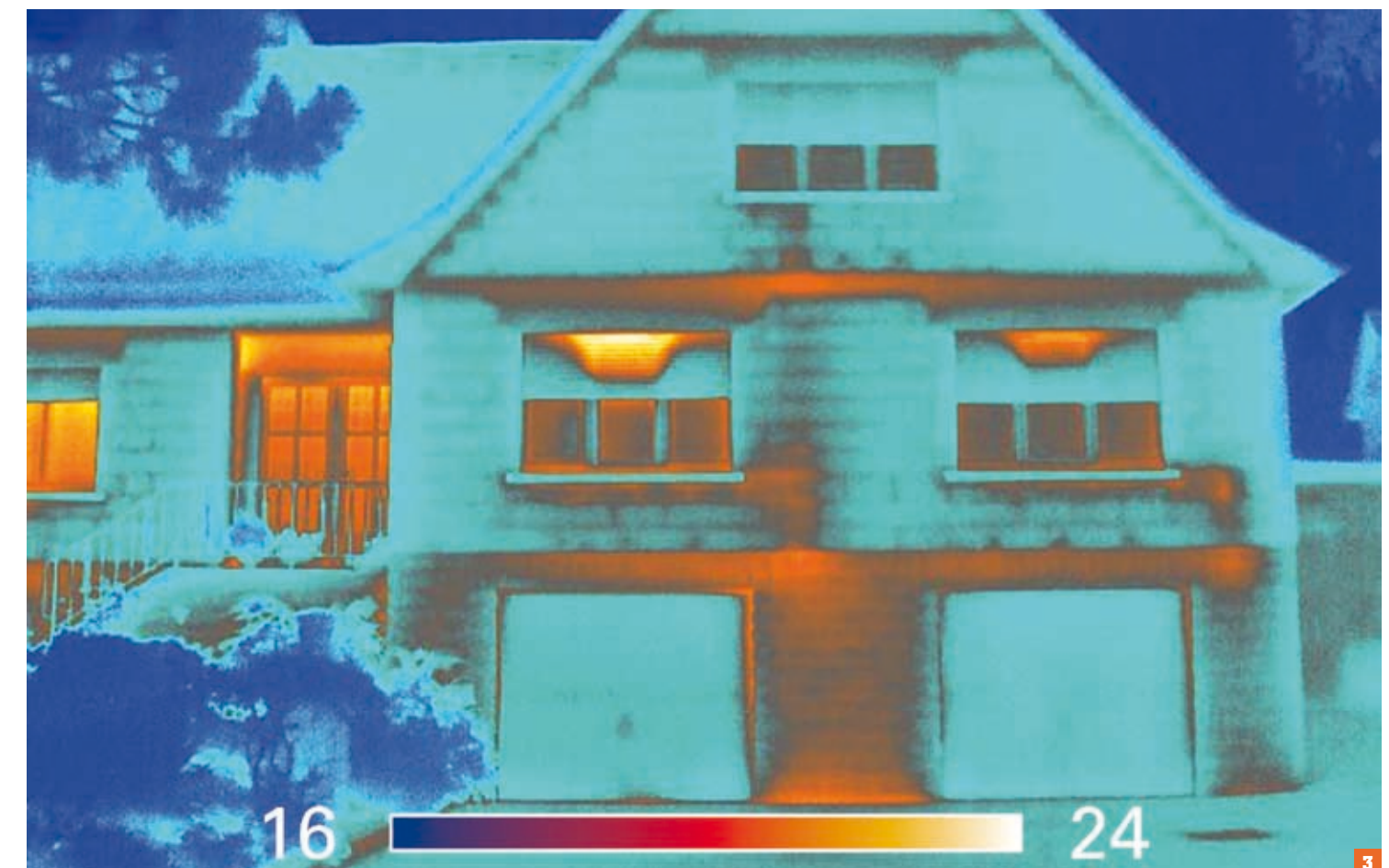
Le perdite generate dalla trasmissione di calore (Q_t) attraverso le strutture opache e trasparenti che racchiudono il volume tenuto a temperatura controllata rappresentano quantitativamente, soprattutto in presenza di edifici scarsamente dotati di sistemi di isolamento termico, il contributo più significativo nel bilancio energetico. Il controllo di questo parametro nella realizzazione

1. Tramite una termocamera all'infrarosso ad alta risoluzione termica è possibile memorizzare in tempo reale la mappatura termica superficiale degli oggetti inclusi nell'obiettivo, allo scopo di individuare eventuali difetti costruttivi (foto: FLIR Systems)
2. Immagine termografica di una pavimentazione dotata di impianto di riscaldamento a pannelli radianti. Una campagna termografica è un valido sistema di indagine non distruttiva per scoprire eventuali anomalie impiantistiche (foto: FLIR Systems)
3. Immagine termografica di una costruzione. È possibile notare con molta evidenza l'effetto dispendente dei ponti termici dovuti alla struttura portante e alla presenza dei cassonetti degli avvolgibili non isolati (foto: FLIR Systems)



2

di un edificio a basso consumo, sia esso di nuova concezione piuttosto che oggetto di riqualificazione energetica, è quindi fondamentale per il contenimento dei consumi. La metodologia di calcolo per la definizione delle perdite per trasmissione deve tenere in considerazione l'effetto di eventuali ponti termici non risolti, attraverso l'applicazione di alcuni parametri correttivi della



3



trasmissione termica propria delle diverse componenti edilizie su cui insistono. L'effetto dei ponti termici può in determinati casi rappresentare anche il 30% sulla complessità delle dispersioni per trasmissione termica. La mancata imputazione dei parametri necessari a correggere la quantità di flusso termico causata dai ponti termici presenti, nel caso di un edificio oggetto di certificazione energetica, può generare un salto di classe a beneficio del realizzatore dell'opera e a tutto svantaggio dell'acquirente/committente, che non ha elementi per dubitare della correttezza del certificato.

Durante la diagnosi di un edificio le rilevazioni termografiche

possono essere di notevole aiuto da un lato per verificare che la progettazione prima, e la realizzazione poi, di un edificio ad alta efficienza energetica (nuovo o riqualificato che sia) abbia provveduto alla risoluzione dei punti critici in cui si verificano le maggiori perdite di calore attraverso la struttura edilizia, e dall'altro lato per offrire uno strumento affidabile e non distruttivo utile a mettere in risalto i difetti della costruzione - come ad esempio la posa dei materiali isolanti - contribuendo alla verifica che la prestazione energetica certificata sia coerente rispetto a quanto realizzato.

Le termocamere all'infrarosso ad alta risoluzione termica

highlighting the defects of a building - for example the laying of insulating materials - contributing towards determining whether the certified energy performance corresponds to actual fact.

The high-resolution infrared heat-detecting cameras available on the market exploit the principle according to which any body emits heat in the form of more or less intense electromagnetic waves (in the infrared field, not perceived by the human eye), depending on the temperature and emissivity of the materials of which it is made. These cameras can define and record in real time a superficial heat map of any object and produce an image of the radiation in false colours, combined with a temperature scale. A thermographic survey carried out by a specialised engineer can therefore show the inequalities in surface temperature emanated by the bodies scanned, and thus identify the differences in heat conduction between the materials, inaccuracies in laying the insulation, draughts, the presence of moisture and any system-engineering abnormalities. In order to be really effective and give rise to reliable results, thermographic campaigns should be carried out in winter, when the difference between the temperature in the interiors and the outside air is greater, and in the early morning, before the building being surveyed is exposed to several hours of direct sunlight during the day.

The losses generated by ventilating residential rooms (Q_v) include both the need for changing the air inside the thermal volume for hygienic purposes, the quantity of which is governed by the regulations on the basis of the use of the building, and leaks of air into the building. The permeability of the envelope to air, caused by losses due to faulty joints between the various construction elements (typically, between the masonry and the

window frames or the boxes containing roller blinds and the joints between the outside walls and the wooden beams of the roofing), as well as by discontinuities due to the wiring and plumbing systems - installed without the appropriate gaskets - can increase the expected energy consumption of a building. This is particularly so if there is thick insulation and the doors and windows have a high heat resistance.

A cladding with a high level of sealing against air also contributes towards good acoustic comfort and healthiness of the rooms, preventing the formation of surface and interstitial condensation that could cause deterioration of the materials in time and the growth of mould.

In wooden buildings, the air-sealing layer is essential, in view of the elastic nature of the material, and can consist of sheets or sheaths - which must be properly overlapped and can also act as regulators for water vapour - or of panels (typically, made of plasterboard or OSB), the cracks between which must be carefully sealed. It is necessary to avoid the sealing layer being affected by the wiring and plumbing systems, possibly by providing an air gap through which they can pass on the

4. Thermographic image of the façade of an old building. The thermal image is able to highlight clearly the architectural changes made to the building. It is possible to recognise three lowered arch-shaped openings framed by stone voussoirs, filled in with brickwork. The masonry is not completely homogeneous as there are several darker (colder) areas (photo: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (Milan))

5. Thermographic image of the façade of a civil building. By reading the heat radiated by the various different materials making up a building, thermographic imaging enables the heat-related behaviour of the elements to be determined. It is possible here to identify very clearly the load-bearing framework of the building, consisting of reinforced concrete beams and pillars (photo: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (Milan))

6. Thermographic image of the façade of a building. It is possible, by means of thermographic testing targeting the wall from the outside, to identify any piping that has not been insulated, in order to remedy the situation and improve the distribution-based performance of the heating system (photo: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (Milan))

presenti sul mercato, sfruttando il principio per cui ogni corpo, in funzione della temperatura e dell'emissività del materiale di cui è costituito, emette radiazioni termiche sotto forma di onde elettromagnetiche più o meno intense (nel campo delle lunghezze d'onda all'infrarosso che i sensori dell'occhio umano non percepiscono), sono in grado di cogliere e registrare in tempo reale la mappatura termica superficiale di qualsiasi oggetto e di restituire un'immagine della radiazione a falsi colori, abbinata a una scala di temperature. Attraverso un'indagine termografica effettuata da un tecnico specializzato è quindi possibile, tramite la visualizzazione delle disparità di temperatura superficiale emanata dai corpi inclusi nell'obiettivo, individuare le differenze di conduttività termica tra i materiali, le imprecisioni nella posa dell'isolamento, le infiltrazioni d'aria, la presenza di umidità ed eventuali anomalie impiantistiche. Le campagne termografiche, per risultare realmente efficaci e ottenere risultati affidabili, devono essere effettuate durante la stagione invernale, quando è sensibile la differenza tra la temperatura degli ambienti interni e l'aria esterna, e nelle prime ore mattutine, quando l'edificio oggetto di analisi non è rimasto esposto a irraggiamento solare diretto già da qualche ora.

Le perdite generate dalla ventilazione degli ambienti abitati (Q_v) tengono in considerazione sia la necessità del ricambio igienico dell'aria contenuta nel volume termico, la cui quantità è regolata dalle normative a seconda della destinazione d'uso dell'edificio, sia le perdite causate dalle infiltrazioni d'aria. La permeabilità all'aria dell'involucro, causata dalle fughe derivanti dalla non corretta esecuzione delle giunzioni tra i diversi elementi costruttivi (tipicamente il nodo muratura-serramento, i cassonetti degli avvolgibili e la giunzione tra la muratura perimetrale e

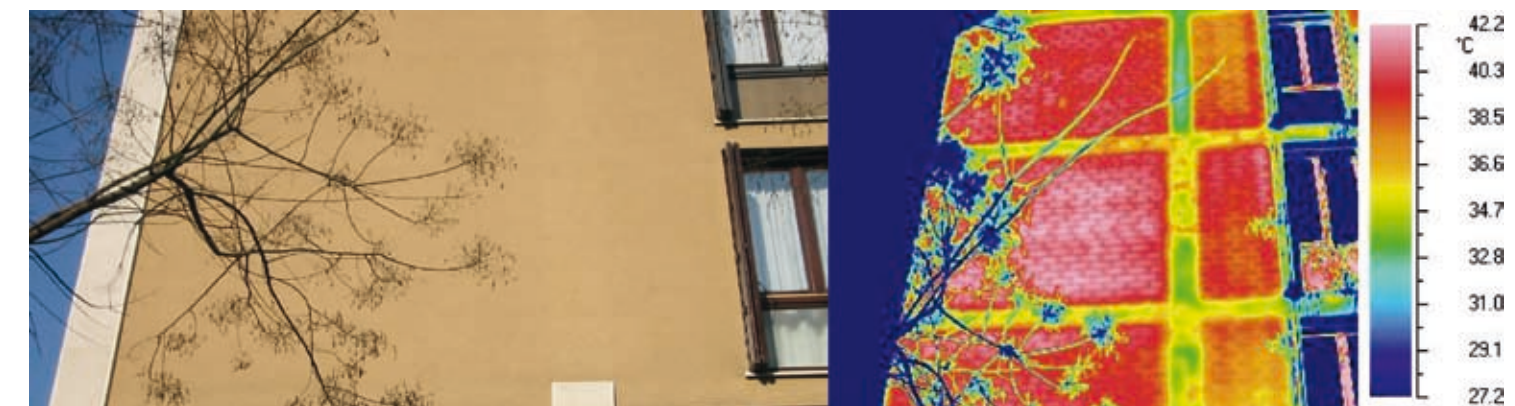
i travetti in legno della copertura) nonché dalle discontinuità determinate dagli impianti - elettrico e idraulico - installati senza le apposite guarnizioni, può aggravare pesantemente i consumi energetici attesi per una costruzione, soprattutto se dotata di ampi spessori di isolamento e di serramenti ad elevata resistenza termica. Un involucro con un elevato grado di tenuta all'aria contribuisce inoltre a garantire un buon comfort acustico e la salubrità dei locali, scongiurando la formazione di condensa superficiale e interstiziale che nel tempo può determinare il degrado dei materiali e la crescita di muffe.

Nelle costruzioni in legno lo strato di tenuta all'aria è di fondamentale importanza, data la natura elastica del materiale, e può essere costituito da teli o guaine - che vanno adeguatamente sovrapposti e possono funzionare anche da regolatori del vapore acqueo - oppure da pannelli (tipicamente in cartongesso o in OSB) le cui fessure vanno accuratamente

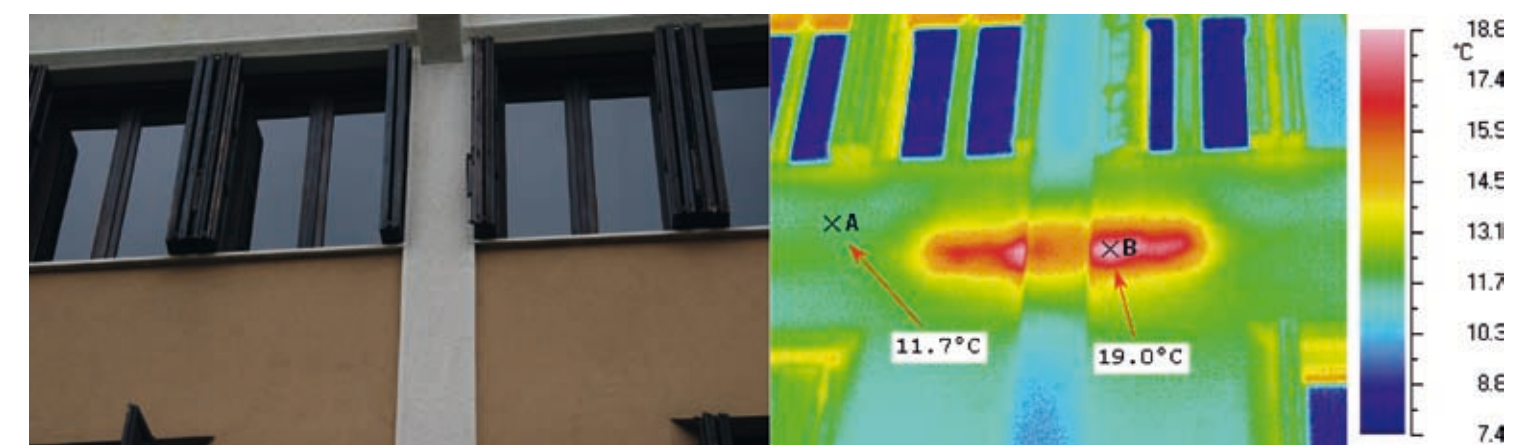
4. Immagine termografica della facciata di un edificio storico. L'immagine termica è in grado di mostrare con evidenza le trasformazioni architettoniche di cui è stato oggetto l'edificio. Si possono riconoscere tre aperture ad arco ribassato incorniciate da conci in pietra, tamponate in laterizio. La tessitura muraria non appare del tutto omogenea presentando diverse aree più scure (più fredde) (foto: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (MI))

5. Immagine termografica della facciata di un edificio civile. La termografia, attraverso la lettura delle radiazioni termiche emesse dai diversi materiali che compongono una costruzione, permette di determinare il comportamento termico degli elementi. Si può qui individuare con estrema chiarezza l'orditura portante dell'edificio, formata da travi e pilastri in calcestruzzo armato (foto: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (MI))

6. Immagine termografica della facciata di un edificio. Tramite un'indagine termografica, inquadrando la parete dall'esterno, è possibile individuare eventuali tubazioni prive di isolamento per porvi rimedio e migliorare il rendimento di distribuzione dell'impianto termico (foto: Inprotec IRT, Cinisello Balsamo (MI))



5



6

sigillate. Occorre evitare che la rete impiantistica intacchi lo strato di tenuta prevedendo eventualmente un'intercapedine tecnica di passaggio sul lato interno. Nei classici edifici realizzati in muratura la tenuta all'aria è garantita dall'uniformità dell'intonacatura interna mentre quella esterna funge da strato di tenuta al vento.

Il grado di permeabilità di un involucro è determinato dal tasso di ricambio d'aria, identificato dal simbolo n_{50} , che indica la quantità oraria dei ricambi del volume d'aria passante per infiltrazione attraverso le fessure dell'involucro, in presenza di una differenza di pressione tra interno ed esterno pari a 50 Pascal (Pa).

Il Blower Door Test, già largamente diffuso in America e nei paesi nordeuropei da cui proviene, è lo strumento diagnostico che determina con precisione il ricambio d'aria n_{50} di un edificio, esprimendosi quindi sulla qualità del suo involucro. Il test si esegue utilizzando un ventilatore (blower), regolabile sia in

7. Esecuzione di un Blower Door Test. Attraverso l'installazione a tenuta ermetica di un ventilatore regolabile è possibile effettuare una diagnosi per quantificare la permeabilità dell'involucro termico e quindi per definire la qualità realizzativa dell'opera (foto: Ing. Davide Lanzoni - www.saige.it)

8. Esecuzione di un Blower Door Test. Il ventilatore (blower) mette prima in depressione e successivamente in sovrappressione il volume termico dell'ambiente oggetto di studio. Tramite una strumentazione specifica, dotata di software applicativo, il test registra i dati dei flussi di ricambio d'aria dovuti alle infiltrazioni (foto: Ing. Davide Lanzoni - www.saige.it)

9. Durante l'esecuzione di un Blower Door Test si possono individuare le discontinuità dell'involucro (fessure) e misurare mediante un termoanemometro la temperatura e la velocità dell'aria di passaggio per valutarne il grado di sigillatura. Successivamente all'applicazione di misure correttive - come tamponature, nastrature e guarnizioni - si può verificare la riduzione del tasso di ricambio (foto: Ing. Davide Lanzoni - www.saige.it)

velocità di rotazione che in ampiezza di diaframma, che mette in depressione (e successivamente in sovrappressione) il volume dell'edificio oggetto di analisi, sino a giungere a un differenziale di 50 Pa tra ambiente interno ed esterno, simulando le perdite attraverso tutte le aperture non sigillate dell'involucro in corrispondenza dell'effetto di un vento di circa 30 km/h.

La ventola viene posizionata a tenuta ermetica, mediante un apposito telaio in alluminio dotato di barre telescopiche e rivestito da una guaina, in corrispondenza dell'apertura di una porta o di una finestra comunicante con l'ambiente esterno. Successivamente con apposite strumentazioni si misura l'intensità del flusso d'aria ricambiato attraverso l'involucro. Il risultato che si otterrà sarà pari alla media aritmetica dei valori rilevati durante la fuoriuscita e l'immissione di aria dall'edificio. Dividendo la portata d'aria infiltrata in un'ora - rilevata dal flussometro - per il volume interno preso in esame, si stabilisce quante volte il volume d'aria viene scambiato. Se ad esempio il risultato del test fosse $n_{50} = 2$, significherebbe che il volume d'aria dell'edificio misurato è completamente ricambiato ogni mezz'ora, a causa delle discontinuità costruttive. Chiaramente a un basso valore di n_{50} corrisponde un involucro di buona qualità con perdite d'aria, e quindi di energia termica, contenute.

In corso di misurazione si deve mantenere, all'interno di tutto l'immobile, una pressione costante mettendo in comunicazione i vani mediante l'apertura di tutte le porte interne. Le aperture dell'involucro verso l'esterno devono essere invece ermeticamente chiuse, compresa la sigillatura degli impianti di ventilazione e delle bocchette di aspirazione. Durante il Blower Door Test, attraverso dei generatori di fumo colorato, si possono individuare le infiltrazioni e misurare con l'anemometro la velocità dell'aria di passaggio per valutare il grado di

sigillatura e verificare la riduzione del tasso di ricambio a seguito dell'applicazione di misure correttive.

Il test dovrebbe essere eseguito in due tempi diversi, come descritto dalla normativa (UNI EN 13829). Una prima volta quando l'edificio in costruzione si trova allo stato rustico (in assenza delle finiture interne), per rilevarne i punti permeabili e porvi rimedio a costi contenuti tramite tamponature, nastrature (ad esempio tra telaio e controtelaio dei serramenti) e guarnizioni, e successivamente al termine dei lavori, a edificio in uso, per verificare la qualità delle opere eseguite. In quest'ultimo caso correggere gli errori sarebbe alquanto dispendioso.

La normativa italiana non ha finora definito alcun valore limite di tenuta all'aria per le nuove costruzioni. Il committente, per tutelare la qualità del proprio manufatto, può inserire nel contratto di appalto una clausola relativa al valore minimo di ermeticità della struttura da rispettare a seguito dell'esecuzione di un Blower Door Test.

La direttiva tecnica emanata dall'Agenzia CasaClima per l'ottenimento della certificazione energetica prevede, dall'inizio del 2010, l'obbligatorietà della verifica di tenuta all'aria tramite il Blower Door Test per tutti gli edifici residenziali di nuova costruzione, indipendentemente dalla classe energetica e dalla tipologia costruttiva. CasaClima consiglia inoltre di effettuare il medesimo test anche per gli edifici non residenziali e per quelli risanati. Il valore limite di n_{50} fissato dall'Agenzia per le classi energetiche B e C, prive di impianto di ventilazione meccanica, è pari a 2 h^{-1} , per la classe A è pari a 1 h^{-1} e per la classe Gold risulta pari a $0,6 \text{ h}^{-1}$. Il non superamento del test comporta il mancato rispetto dei presupposti di qualità costruttiva definiti dall'Agenzia stessa e la non emissione del certificato.



inside. In conventional masonry buildings, sealing against air is guaranteed by the uniformity of the internal plaster. While the outside plaster acts as a sealing layer against the wind.

The degree of permeability of a cladding is determined by the range of exchange of the air, identified by the symbol n_{50} . This indicates the hourly quantity of exchanges of air of the volume of air passing through the cracks in the cladding, in the presence of a pressure differential of 50 Pascal (Pa) between inside and outside.

The Blower Door Test, already widely used in America and in the Northern European countries from which it comes, is a diagnostic tool for determining accurately the exchange of air

n_{50} of a building, and thus judging the quality of its cladding.

The test is carried out with a blower of which both the speed and the amplitude of the diaphragm can be adjusted, which causes a depression (and subsequently an overpressure) inside the volume of the building being tested, until a differential of 50 Pa is reached between the inside and outside environment. This test simulates the losses through all the unsealed openings in the cladding in conditions corresponding to a wind of about 30 km/h.

The blower is positioned against the opening of a door or window leading outside, in such a way that it is hermetically sealed by means of a special aluminium frame fitted with

telescopic bars and lined with a sheath.

Then, special instruments are used to measure the intensity of the flow of air exchanged through the envelope. The result obtained will correspond to the arithmetic mean of the values measured while air was leaving or entering the building. By dividing the flow of air entering in one hour - measured by the flowmeter - by the volume of the interior considered, it is possible to define how many times the volume of air is exchanged in one hour. If, for example, the result of the test were $n_{50} = 2$, this would mean that the volume of air inside the building measured was exchanged completely every half an hour, due to discontinuities in the construction. Clearly, a low value of n_{50} indicates that the quality of the cladding is good, with limited losses of air and therefore of thermal energy. While the measurement is being carried out, a constant pressure must be maintained throughout the building, allowing the rooms to communicate by leaving all the inside doors open. The openings leading outside, on the other hand, must be hermetically sealed, including the ventilation system and the suction outlets. The Blower Door Test uses coloured smoke generators to identify any leaks and to measure with an anemometer the speed of the air passing through so as to measure the degree of sealing and investigate the reduction of the rate of exchange following application of corrective measures.

The test should be carried out in two separate stages, as described in the appropriate standard (UNI EN 13829). The first test is carried out when the building being erected is in the unfinished state (before finishing the interiors), in order to detect the permeable points so as to remedy them at a limited cost by plugging, sealing with tape (for example between the frames and sub-frames of doors and windows) and gaskets. It is

7. Performing a Blower Door Test. An adjustable fan is installed in a sealed system to diagnose and quantify the permeability of the cladding and thus to define the quality of the work (photo: Mr. Davide Lanzoni - www.saige.it)

8. Performing a Blower Door Test. The blower is used first to create a depression and then an overpressure inside the room being studied. Specific instruments combined with an application software are used to record the data referred to the change of air due to leaks (photo: Mr. Davide Lanzoni - www.saige.it)

9. While the Blower Door Test is being carried out, it is possible to identify the discontinuities in the cladding (cracks) and to measure the temperature and the speed of the air passing through them with a thermoanemometer, and thus to evaluate the degree of sealing. Following application of corrective measures - such as plugging, taping and gaskets - it is possible to check the reduction in the rate of exchange (photo: Mr. Davide Lanzoni - www.saige.it)

repeated again upon completion of the works, with the building in use, to check the quality of the work carried out. At this point, correcting any errors would be quite an expensive job.

The Italian regulations have not yet defined any limit value for air sealing of new buildings. In order to protect the quality of the building, the customer can include a clause in the building contract indicating a minimum sealing value of the structure to be complied with on the basis of a Blower Door Test.

Starting from the beginning of 2010, the technical directive issued by Agenzia CasaClima for obtaining energy certification calls for compulsory testing of sealing by means of the Blower Door Test for all newly built residential buildings, regardless of their energy class and of the construction typology.

CasaClima also recommends carrying out this test for non-residential buildings and for rehabilitated buildings. The limit value of n_{50} set by the Agency for energy classes B and C, with no mechanical ventilation systems, is 2 h^{-1} . For class A it is 1 h^{-1} and for the Gold class it is 0.6 h^{-1} . Failure to pass the test means that the construction quality standards defined by the Agency are not met and therefore that the certificate cannot be issued.

