

# THE WALLS OF BUILDINGS IN THE RURAL AREA OF MOLISE. A BIOCLIMATIC SUBSYSTEM BETWEEN LIMESTONE, BRICK AND RAW EARTH

Gigliola Ausiello  
Domenico Fornaro

## 1. Environment, materials and buildings.

*Nature is my manifestation of God. I go to nature every day for inspiration in the day's work. I follow in building the principles which nature has used in its domain. (Frank Lloyd Wright)*

The economy of the construction is a factor that greatly influences the rural buildings, especially as the supply of materials occurs in the environment. In fact, especially the walls are built with materials from the site where the building is to be realized. Depending on the case, the area of the abutments constitutes the quarry stone or earth.

Rural construction is therefore a strong relationship between economic conditions whose to whom it is addressed and a careful design approach, oriented to the exploitation of environmental resources, both material and energetic, that the environment provides. In this sense, today, this building could be called sustainable and eco-friendly. The main material used in building rural of Molise is the stone, both limestone sandstone. The limestone is everywhere, in the small field, along the course of the rivers and along the slopes of hills or mountains. Its supply has never been a big problem in the past, especially in the inner areas (Figure 1). In the mountainous areas, the stone characterizes the vertical structure and becomes wall, pillar, door frame and architrave, sheet roofing and flooring. Therefore, the farmer-builder takes advantage of the local stone as much as possible. Even in places where there are no much stones, it is cleverly procured and laying in the finer points of the building, as the cantonal. Towards the coast, however, it is possible to find an ocher-colored sandstone. The masonry types seem to change. The mortar becomes increasingly poor with lime and more rich earthy material so as to make it extremely vulnerable these constructions. Just behind the coast, in addition, there were reports of building structures made of raw earth, now no longer be found. The rural buildings are essentially built with poor materials. The stone is used a lot especially in the places where it is already present in nature because it requires less time and labor costs and the result is a more durable constructions. Therefore, in this specific context, the use of brick for load bearing appears to be quite rare and, sometimes, is limited to the upper floors. Mainly it is used for decorative elements and finishing, is present mostly in the openings of the compartments to realize masonry lintels, arches and edges. About the raw earth constructions, there are not



Fig. 1 - Rural house built with limestone, Baranello (CB)



Fig. 2 - Rural house built with raw earth, Casalincontrada (CH)









Fig. 3 - Limestone masonry section

found any examples in Molise. Although we have news of realizations used as rudimentary shelters made with a particular technique that has been passed down orally. In fact, between Termoli, Petacciato and Montenero di Bisaccia the elders explain how the earth was kneaded with the help of the animals, which pounded the earth and straw together with their hooves. This technique is similar to the "pisé". The earth mixture very fat, rich in silt and clay, reinforced with straw and natural fibers, has a strong plastic consistency.



Fig. 4 - Assembly "occhialoni" masonry



<b>M1 - Muratura in pietra arenaria e ciottoli</b>		
Materiale costituente: <i>ciottoli e pietra arenaria</i>		Constituent material: <i>pebbles and sandstone</i>
Lavorazione dei conci: <i>praticamente assente</i>		Processing of ashlar: <i>almost absent</i>
Localizzazione: <i>fascia prospiciente la costa</i>		Location: <i>coastal area</i>
Massa volumica: <i>2000 Kg/mc</i>		Density: <i>2000 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>1,4 W/m°C</i>		Conductivity: <i>1,4 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>
<b>M2 - Muratura in pietra calcarea e rinzeppamenti laterizi</b>		
Materiale costituente: <i>pietra calc. con rinzeppamenti later.</i>		Constituent material: <i>Limestone and pieces of brick</i>
Lavorazione dei conci: <i>conci appena sbozzati</i>		Processing of ashlar: <i>just roughed ashlar</i>
Localizzazione: <i>prevalent. zone interne</i>		Location: <i>inner area</i>
Massa volumica: <i>2200 Kg/mc</i>		Density: <i>2200 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>1,5 W/m°C</i>		Conductivity: <i>1,5 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>
<b>M3 - Muratura in pietra calcarea sbozzata</b>		
Materiale costituente: <i>pietra calcarea</i>		Constituent material: <i>limestone</i>
Lavorazione dei conci: <i>conci sbozzati</i>		Processing of ashlar: <i>roughed ashlar</i>
Localizzazione: <i>prevalent. zone interne</i>		Location: <i>inner area</i>
Massa volumica: <i>2200 Kg/mc</i>		density: <i>2200 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>1,6 W/m°C</i>		Conductivity: <i>1,6 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>
<b>M4 - Muratura in mattoni pieni</b>		
Materiale costituente: <i>mattoni pieni</i>		Constituent material: <i>red-brick</i>
Lavorazione dei conci: <i>"pressato"</i>		Processing of ashlar: <i>"pressato"</i>
Localizzazione: <i>prevalent. fascia costiera</i>		Location: <i>coastal area</i>
Massa volumica: <i>1800 Kg/mc</i>		Density: <i>1800 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>0.8 W/m°C</i>		Conductivity: <i>0.8 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>
<b>M5 - Muratura mista in mattoni pieni ed occhialoni</b>		
Materiale costituente: <i>mattoni pieni e forati</i>		Constituent material: <i>red-brick and perforated brick</i>
Lavorazione dei conci: <i>"pressato" e bucatone</i>		Processing of ashlar: <i>"pressato" and "foratone"</i>
Localizzazione: <i>zone interne, fascia costiera, escluso alto Molise</i>		Location: <i>inner area, coastal area</i>
Massa volumica: <i>1500 Kg/mc</i>		Density: <i>1500 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>0.8 W/m°C</i>		Conductivity: <i>0.8 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>
<b>M6 - Muratura in terra e paglia</b>		
Materiale costituente: <i>terra e paglia</i>		Constituent material: <i>earth and straw</i>
Lavorazione dei conci: <i>---</i>		Processing of ashlar: <i>---</i>
Localizzazione: <i>Abruzzo</i>		Location: <i>Abruzzo</i>
Massa volumica: <i>1700 Kg/mc</i>		Density: <i>1700 Kg/mc</i>
Conduttività termica: <i>1,2 W/m°C</i>		Conductivity: <i>1,2 W/m°C</i>
Capacità termica massica: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>		Thermal capacity: <i>0.8 KJ/Kg°C</i>

Tab. 1 - Classification of masonry types and their thermal characterization

After doing a day of rest, are formed irregular blocks, built without formwork, which takes drying. Therefore, you make a monolithic bearing wall of great thickness. Today these buildings no longer exist. However, not a long distance, in Casalcontrada (CH) (Figure 2), even if they are several, just built with the technique recounted by the elders of Petacciato.

## 2. Masonry types

The majority of bearing walls of rural buildings are constituted by sack-walls, made with two stone facings, one internal and one external, inside of which is laying material of lesser size (Figure 3). The use of the stone is characterized, in addition, for three different textures of wall surface, as reported in Table 1. The masonry consists of a single facing which is essentially associated with the use of the brick, both heavy or perforated brick, and it can be found in this region with particular assemblages. The common feature of the various types of walls found is essentially the thickness, considerably higher than that dictated by static reasons. This exorbitant thickness, varying between 90 cm and 60 cm, for the stonework and between 45 cm and 25 cm for brickwork, represents a simple bioclimatic expedient of no small importance. Therefore, this invariant character in the massive walls is a conscious design choice that led to the construction of buildings in relation to the particularly aggressive climatic context, so that it is possible to talk about "vocation bioclimatic" present in a lot of ancient rural buildings. In fact, the thermal properties of the limestone, associated with considerable wall thickness, makes the masonry behave as thermal accumulator. More specifically, a massive masonry, especially in summer, represents a barrier to the wave of heat that passes through the wall and then be damped in intensity and shifted in phase at the same time. The analysis of masonry types is developed up to the definition of the physical parameters that describe the thermal behavior of the wall. They essentially consist of the thermal conductivity (W/mK), the Specific heat capacity  $c$  (J/kg °C) and the density  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>). These values were processed for comparison with bibliographic data.

In the estimation of the data, the main difficulty is due to the inhomogeneity of the walls and the heterogeneity of the constituent elements, for this reason the parameter that relates to the specific stone, does not match to the masonry's parameter. In fact, especially inside a stone masonry made up with sack, is it possible to find different varieties stone with various sizes, as well as small pieces of brick laying with mortar made of lime and mixed with large amounts of tuffaceous material. For example, the walls with river stones has been estimated that they are composed of mortar (35%) and lithic materials (65%). This type of masonry is very inhomogeneous, so the real thermal conductivity can be obtained only through experimental evaluations.

Even the brick buildings, often exhibit inhomogeneities of material, because of the are built with heavy and perforated brick assembled on irregular layers. The most common shapes are: the "pressato" which is a heavy brick (13 x 27 x 5.5 cm) and the "foratone", characterized by two



large circular holes (29 x 26 x 12 cm). The masonry so-called "occhialoni", is made up with "foratone"-brick which is mainly used for the rapidity of installation, for the least amount of mortar required and for the lowest cost of production compared to red-brick with equal volume. This kind of brick, which must be put in place horizontally with the horizontal holes arranged longitudinally to the wall, it is normally used together with the red-brick, assembled as in Figure 4. Therefore, this particular assembling is able to ensure a greater resistance to the masonry. A procedure followed for the estimation of the conductivity is that of the weighted average with respect to the volumes of stone and mortar present in 1 cubic meter of masonry. Therefore, some values were extracted from the UNI 10355. Below are the main types of walls found in Molise with the corresponding thermal conductivity estimated.

### 3. Thermal conduct of massive masonry

The calculation of the heat loss through the walls of the buildings is conducted normally, assuming a stationary thermal regime. It is assumed that the temperatures, both outside and inside the building, are constant over time.

In fact, during the day the dispersant wall is exposed to an outside temperature which is not constant, but it is conceivable that the temperature changes with a sinusoidal pattern. Consequently also the temperature, or in any case the heat flow, on the inner wall, will not be constant, but it will be variable according to a sinusoidal function. In reality, the wall undergoes the combined effect of two characteristics: the thermal storage, due to the heat capacity of the material, and the thermal resistance. The heat capacity of a material describes its ability to store heat, which is then dissipated. At a high heat capacity corresponds to a minor decrease in temperature of the internal environment respect to the external temperatures. In terms of thermo-physical characteristics it is represented by the specific heat that indicates the amount of heat that 1 cubic meter of material can accumulate

increasing its temperature by one degree. Table 2 shows the average value of the specific heats of some traditional materials. In the same Table 2, in reference to the traditional materials, is showed that the masonry with limestone has a thermal capacity greater than the other typologies. The heat storage capacity of a wall can affect the environmental comfort with the same principle that is to be found in ancient buildings. The compact and heavy stone materials have a large accumulation capacity, for this reason the walls are slowly heated when the heating system is working. Instead, when the system is switched off, the walls cool slowly down and return the heat stored to the environment. Instead, the opposite happens in modern construction. The light and well insulated walls tend to reach the desired temperature more quickly, but just as quickly the temperatures drop when the system is switched off. The heat capacity is also affected by the placement of the layers. For example a massive wall which is isolated from the inside, has the same thermal transmittance of a wall isolated from the outside. Despite the two situations are equivalent about the dispersion of heat, even though the heat storage capacity is different. In fact, only the massive wall with external insulation acts as a thermal flywheel, that is able to return, by irradiation, the accumulated heat when the thermal injections are interrupted. Conversely, a massive wall with internal insulation, regardless of the likely problems of condensation, will never be able to store heat.

### 4. Thermal inertia

Analyzing the thermal balance of a building, it must be considered that the outer surface of a wall is subject to a non-stationary heat exchange by convection and by radiation. So that the building-plant system is operating in a situation of variable speed, not constant as prescribed by the regulations. To assess this behavior, it is necessary to introduce the concept of thermal inertia, or the ability to store heat and thus mitigate and delay the effects of temperature changes outside. If it assume a sinusoidal temperature outside<sup>1</sup> of a

wall and in the same way it is assumed a sinusoidal temperature on the inner side, the effects of thermal inertia can be represented with the attenuation and the time lag of temperature variations that occur internally in correspondence of temperature variations enrolled on the outer face. While a decrease in thermal transmittance restricts the flow of heat that passes through the wall, the increase in thermal inertia reduces the amplitude of the oscillation of the temperature on the inner face and increases in time interval  $\Delta t$  between the maximum value of the external wave and the maximum value of the heat waves on the inner surface. These parameters are very useful to evaluate the effectiveness of a wall to oppose to changes in external weather so that it is possible "measure" the quality of indoor comfort. The damping and the delay of the thermal wave are not definable with simple calculation, because they depend on the heat storage capacity of each layer (is a function of the conductivity, the specific weight, specific heat) and by its thermal resistance. In fact, a well-insulated wall, with low thermal transmittance and low storage capacity, is characterized by a high damping and a little delay of the thermal wave. High values of the delay of the thermal wave are an intrinsic characteristic of the massive limestone walls of many rural buildings. Having a wall with high thermal inertia is equivalent to maximizing the ability of the wall to accumulate heat at certain times of day, and then dispose of it at a later time. Moreover, these walls allows to dampen the peak temperature that it may have during the hottest hours in the summer.

#### 4.1 The UNI ISO EN 13786

The calculation introduced by the UNI EN ISO 13786 for the quantification of parameters that describe the thermal inertia of masonry requires the following assumption: the wall must consist of flat, parallel and homogeneous layers, the surrounding environmental conditions must be sinusoidal and regular, the heat flow is unidirectional to the wall. The one-dimensional heat equation can be solved for a single layer of homogeneous material with sinusoidal boundary conditions, then the temperature and the heat flow on the outer face can be expressed as a function of those of the inner face through an array of thermal transfer, the factors which are constituted by complex numbers. The methodology proposed in this rule is expressed in the value of the "decrement factor" and the "delay factor decrease." The decrement factor is the extent of the damping of the thermal wave between the two faces of the wall considered. A value close to unity means that the masonry is not able to dampen the thermal wave, in terms of temperature or flow, on the outer surface is equivalent to the same peak on the inner surface. Conversely, a value close to zero, typical of heavy stone walls, is indicative of a very high damping. The delay factor decrease instead corresponds to the time delay between the maximum of an effect and the maximum of the corresponding case, that is the elapsed time between the peak maximum of the thermal wave on the wall surface and the corresponding peak on the opposite side of the wall. This factor is a parameter that quantifies the lag. Therefore, high values over 10 h, corresponding to the massive walls of

Type of masonry	Density $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)	Specific heat (J/kgK)	Thermal diffusivity (m <sup>2</sup> /s*10 <sup>7</sup> )
Limestone masonry	2100	1,7	840	9,63
Sandstone masonry	2000	2	840	11,9
Red-brick masonry	1800	0,7	840	4,63
Raw earth masonry	1600	0,6	850	4,41

Tab. 2 - Values of the thermophysical parameters of materials from traditional construction

Type of masonry	Transmittance W/m <sup>2</sup> K	Mass per unit area <sup>2</sup> kg/m <sup>2</sup>	Attenuation coefficient	Phase shift h	Internal heat Capacity C1	Exter. heat Capacity C2
Limestone masonry plastered on both sides	1,58	1520	0,04	18,49	282,12	282,12
Limestone masonry plastered on both sides, with insulating layer (t=10cm) on the outer side	0,32	1505	0,01	19,44	274	25,28
Limestone masonry plastered on both sides, with insulating layer (t=5cm) on the outer side	0,53	1504	0,01	18,99	275	28,24
Red-brick masonry plastered on both sides	1,94	504	0,37	20,28	184,31	184,31
Red-brick masonry plastered on both sides, with insulating layer (t=5cm) on the outer side	0,57	506	0,14	22,27	191,03	31,08
Raw earth masonry	1,42	1074	0,08	19,56	225,64	225,64

Tab. 3 - Values of the parameters characterizing the thermal inertia of the insulated and non-insulated massive walls

limestone, belong to a wall with high thermal inertia. The UNI EN ISO 13786, despite its complexity of treatment, it also defines another parameter that determines the heat capacity of the wall, divided into two values C1 and C2, respectively, relative to the inner side of the wall and the outer one. These factors are fundamental to insulating the walls with multilayer. Indeed, the presence of the insulation causes a reduction of the thermal capacity that appears to be lower in correspondence with it. Therefore, in the presence of masonry with high thermal inertia, in order that it is realized a high value of the heat capacity C1 on the inner side, the insulating layer will necessarily be disposed to the outside. For the evaluation of the parameters introduced by the UNI EN ISO 13786 has been developed a spreadsheet to a wall that can be divided into 5 layers. In Table 3 is reported six processing consist of three typical masonry, limestone ( $t=70$  cm), brick ( $t=25$  cm) and raw earth ( $t=60$  cm). It has tried to isolate both the lime stone wall and the brick wall on the outside. The value of the conductivity of the insulation was chosen equal to  $0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$ , which corresponds to the value of polystyrene. In Table 3 it immediately appears that a high external insulation thickness affects only the transmittance and not the parameters related to the thermal inertia. In conclusion it can be stated, therefore, that a masonry wall with a good thermal inertia must have a decrement factor as low as possible and a phase shift as high as possible. This combination, in fact, is only obtainable with a massive wall, because generally the materials with excellent insulating power (with a low  $\lambda$ ) are very light, with a low power phase shift. The heavy masonry such as stone, or at least the one on the ground, despite having thermal transmittance greater than one, possess factors of low attenuation and phase shifts higher, which make optimum thermal behavior especially in the summer. These "measurements" are useful guidelines for developing restoration work aimed at increasing the intrinsic behavior bioclimatic of the masonry massive of the rural buildings and to optimize their performance by the use of conservative strategies to control natural climate.

## NOTES

1. In fact must also take account of the effects due to solar radiation on the wall, therefore the temperature to which reference is the sun-air temperature, defined as the fictitious temperature of external air that would produce, on the wall in the shade, the same heat flux that it obtains with the actual conditions of temperature and solar radiation.
2. The mass per unit area of a wall is equal to the sum of the density for the thickness of the respective layer.

## REFERENCES

- [1] G. Ausiello, *Il paesaggio rurale della Campania, architettura e caratteri costruttivi*, Luciano Editore, Napoli 2000.
- [2] G. Ausiello, D. Fornaro, *Practices and sustainable principles of the rural constructions in Molise Region (Italy)* in Atti del Convegno Internazionale Sustainable Construction, Materials and practices, Lisboa, IOS press, 2007.
- [3] G. Ausiello, D. Fornaro, *Spazi costruiti nel paesaggio rurale del Molise*, in: Dell'Acqua A., Degli

Esposti V., Mochi G.. *Linguaggio edilizio e sapere costruttivo*, Monfalcone (Gorizia) Edicom Edizioni, 2008.

[4] C. Benedetti, *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli Editore – Ravenna 1994.

[5] C. Benedetti, *Progetto Ambiente* – Edizioni Kappa - Roma 2003

[6] M. Cataudella, *La casa rurale nel Molise*, L.S. Olschki Editore, Firenze 1982.

[7] A.P. Conti, *Il recupero di una casa di terra*, Edicom Edizioni – Monfalcone 2007

[8] P. Davoli, *Architettura senza impianti*, Alinea Editrice - Firenze 1993.

[9] V. Olgyay, *Progettare con il clima* – Franco Muzzio Editore – Padova 1990

[10] G. Pahl, *Il riscaldamento naturale della casa*, Franco Muzzio Editore - Roma 2006.

[11] M. Sala, *Recupero edilizio e bioclimatica* – Officina Grafica Iride - Napoli 2004

[12] AA.VV., *Architetture di Terra nelle Marche (a cura della Direzione per i Beni Culturali e Paesaggistici delle Marche)* – Edizioni Tecnostampa, Recanati 2005.

[13] J.A. Duffie, W.A. Beckman, *L'energia solare nelle applicazioni termiche*, Liguori Editore – Napoli 1978.

## LE MURATURE D'AMBITO NELLE COSTRUZIONI RURALI DEL MOLISE. UN SOTTOSISTEMA BIOCLIMATICO TRA PIETRA, LATERIZIO E TERRA CRUDA

*L'articolo è stato concepito in maniera unitaria dagli autori. In particolare a G. Ausiello sono da attribuirsi i paragrafi Ambiente, materiali e costruito e Tipologie murarie e a D. Fornaro i paragrafi Comportamento termico delle murature massicce e Inerzia termica.*

### 1. Ambiente, materiali e costruito

*La natura è la mia manifestazione di Dio. Attingo dalla natura ogni giorno perché mi sia di ispirazione nel lavoro quotidiano. Applico nella costruzione i principi che la natura ha impiegato nel suo dominio.*

*Frank Lloyd Wright*

*L'economia della costruzione è il fattore che più influenza le scelte materiche della casa rurale, in quanto l'approvvigionamento dei materiali da costruzione avviene nell'ambiente circostante. Così, specialmente le murature, vengono messe in opera con materiali provenienti dal lotto su cui edificare la costruzione.*

*Quindi, a seconda dei casi, l'area di sedime costituisce la cava della pietra o della terra. L'edilizia rurale è quindi uno stretto connubio tra condizioni economiche di coloro a cui è destinata e un approccio progettuale attento, orientato allo sfruttamento delle risorse ambientali, sia materiali che energetiche, che il contesto mette a disposizione. In tal senso, oggi, questa costruzione potrebbe essere definita sostenibile ed ecocompatibile. Il materiale prevalente nel costruito rurale molisano è la pietra, sia calcarea, che arenaria. La pietra calcarea si trova un po' ovunque, nel piccolo campo, lungo il corso dei torrenti e lungo le scarpate di colline o montagne. Il relativo approvvigionamento non è mai stato un grande problema in passato, specialmente nelle zone più interne (Figura 1). Nelle zone montuose, la pietra caratterizza la struttura verticale e diviene muro, pilastro, stipite ed architrave, lastra di copertura e pavimentazione. Il contadino-costruttore, dunque, sfrutta la pietra locale quanto più è possibile. Anche nei luoghi dove la pietra scarseggia, essa è sapientemente approvvigionata e posta in opera nei punti più delicati della costruzione, come i cantonali. Verso la costa, invece, si ritrova una pietra arenaria dal colore ocra. Le tipologie murarie sembrano cambiare e anche la malta, che diventa sempre più povera di calce e più ricca di materiale terroso, fino a rendere estremamente vulnerabili queste costruzioni. Proprio a ridosso della costa, inoltre, si hanno notizie di strutture*

*edilizie in terra cruda e paglia, oggi non più rinvenibili. Le costruzioni rurali sono fabbriche essenzialmente povere nei materiali, nella misura in cui si tende a prediligere l'elemento lapideo, che, ove già presente in natura, richiede minori tempi e costi di lavorazione e dà luogo a costruzioni più durevoli. Pertanto, in questo specifico contesto, l'impiego del laterizio nelle strutture portanti risulta essere piuttosto raro e, a volte, è limitato ai soli piani superiori. Utilizzato prevalentemente per gli elementi decorativi e di finitura, è presente soprattutto nelle aperture dei vani murari per realizzare piattabande ed archi ribassati, orli e mazzette. Per quanto riguarda le costruzioni in terra cruda non si rinvencono esempi in Molise, anche se si ha memoria di realizzazioni utilizzate come ricoveri di fortuna costruiti con questa tecnica, tramandata oralmente. Infatti tra Termoli, Petacciato e Montenero di Bisaccia gli anziani raccontano come si impastava la terra, spesso con l'ausilio degli animali, che con il pestare degli zoccoli contribuivano ad impastare la terra con la paglia. Questa tecnica è simile al pisé. La miscela di terra deve essere molto grassa, ricca di limo e argilla, rinforzata con paglia e fibre naturali, e presenta una consistenza fortemente plastica. Dopo averla fatta riposare un giorno, si formano blocchi irregolari e si mettono in opera senza casseri fino a formare una muratura portante monolitica di rilevante spessore, che richiede vari giorni di essiccazione.*

*Di queste costruzioni oggi non ne resta alcuna. Tuttavia, non a grande distanza, a Casalcontrada (CH) (Figura 2), se ne trovano ancora diverse, costruite proprio con la tecnica raccontata dagli anziani di Petacciato.*

### 2. Tipologie murarie

*La maggior parte delle murature portanti dell'edilizia rurale è costituita da muri a sacco, realizzati con due paramenti lapidei, uno interno ed uno esterno, all'interno dei quali è posto in opera materiale di riempimento di pezzatura minore (Figura 3). L'impiego della pietra si caratterizza, inoltre, per tre diverse tessiture dei paramenti, come riportato nella Tabella 1. La muratura composta da un unico paramento è essenzialmente associata all'impiego del mattone, sia pieno, che forato, che incontra in questa regione singolari assemblaggi. La caratteristica che accomuna le varie tipologie murarie rinvenute è essenzialmente lo spessore murario, notevolmente superiore a quello dettato da esigenze statiche. Lo spessore esorbitante, variabile tra i 90 cm e i 60 cm, per le murature in pietra e tra i 45 cm e 25 cm per le murature in mattoni, rappresenta un espediente bioclimatico semplice di non poca importanza. Questo carattere invariante nelle murature massive, dunque, è una scelta progettuale consapevole su cui è stata strutturata la fabbrica originaria in relazione al contesto climatico particolarmente aggressivo, al punto da parlare di "vocazione bioclimatica" presente in molte antiche costruzioni rurali. Infatti le proprietà termiche della pietra associate ai notevoli spessori murari fa sì che la muratura si comporti da volano termico. Più precisamente, una muratura di tipo pesante, specialmente nel periodo estivo, rappresenta una barriera all'onda di calore che l'attraversa smorzandola di intensità e sfasandola nel tempo. L'analisi delle tipologie murarie si sviluppa fino alla definizione di parametri fisici atti a descrivere il comportamento termico della parete. Essi sono costituiti essenzialmente dalla Conducibilità termica ( $W/mK$ ), dal Calore Specifico  $c$  ( $J/Kg^{\circ}C$ ) e dalla massa volumica  $\rho$  ( $Kg/m^3$ ). Questi valori sono stati elaborati per confronto con dati bibliografici.*

*Nella stima dei dati, la maggiore difficoltà è dovuta alla disomogeneità delle murature e all'eterogeneità degli elementi costituenti, per cui il parametro che si relaziona alla specifica pietra, non corrisponde a quello della muratura. Infatti, specialmente in una muratura in pietra realizzata a sacco è possibile trovare differenti varietà lapidee, di diverse pezzature, oltre a rinzeppamenti con parti di laterizio, messe in opera con malte a base di calce impastate con grande quantità di materiale tufaceo. Ad esempio, per le murature con ciottoli di fiume si è stimato che fossero composte da un 35 % di malta e da un 65 % di*

materiale litico. Questo tipo di muratura risulta essere molto disomogeneo, pertanto la reale conducibilità termica può essere ottenuta solamente attraverso valutazioni sperimentali. Anche le costruzioni in laterizio, spesso presentano disomogeneità di materiale, in quanto si impiegano spesso mattoni pieni e forati, assemblati con apparecchiature irregolari. Le forme più ricorrenti sono: il pressato, che è un mattone pieno (13 x 27 x 5.5 cm) e il foratone, caratterizzato da due grandi fori circolari (29 x 26 x 12 cm). Nelle murature cosiddette ad "occhialoni", il laterizio è costituito dal foratone, utilizzato soprattutto per la rapidità di posa in opera, per la minore quantità di malta necessaria allo scopo e per il minor costo di produzione rispetto al mattone pieno a parità di volume. L'impiego di tale mattone, che va messo in opera orizzontalmente in modo da avere i fori orizzontali disposti longitudinalmente; si associa a quello del pressato, e, con ricorsi alterni di foratoni e di pressati, sia in orizzontale che in verticale (Figura 4), si ottiene una inconsueta listatura che garantisce una maggiore resistenza alla muratura. Un procedimento di stima della conducibilità seguito è quello della media pesata sul volume di pietra e di malta presente in 1 mc di muratura. Pertanto alcuni valori sono stati estratti dalla norma UNI 10355. Di seguito sono riportate le principali tipologie murarie rinvenute sul territorio molisano con la corrispondente conducibilità termica stimata.

### 3. Comportamento termico delle murature massicce

Il calcolo della dispersione del calore attraverso le chiusure d'ambito degli edifici viene condotto, normalmente, ipotizzando un regime termico stazionario. Si ipotizza, cioè, che le temperature, sia all'esterno che all'interno dell'edificio, siano costanti nel tempo. In realtà durante l'arco della giornata la parete disperdente è esposta ad una temperatura esterna che non è affatto costante, bensì è ipotizzabile che vari con un andamento sinusoidale. Di conseguenza anche la temperatura, o comunque il flusso termico, sulla parete interna, non sarà costante, ma variabile secondo una funzione sinusoidale. In realtà la parete subisce l'effetto combinato di due caratteristiche: l'accumulo termico, dovuto alla capacità termica del materiale, e la resistenza termica. La capacità termica di un materiale descrive la sua attitudine ad accumulare calore che successivamente viene ceduto all'ambiente. Tanto più la capacità termica è elevata tanto meno cambiano le temperature dell'ambiente interno al variare delle temperature esterne. In termini di grandezza termofisica essa è rappresentata dal calore specifico che indica la quantità di calore che 1 metro cubo di materiale può accumulare aumentando di un grado la sua temperatura. La Tabella 2 riporta il valore dei calori specifici medi di alcuni materiali tradizionali. Come si nota dalla Tabella 2, la muratura di pietra calcarea è, tra i materiali tradizionali, quello che ha una capacità termica maggiore. L'influenza sul comfort ambientale della capacità di accumulo termico di una parete può essere messo in evidenza da un principio vigente nelle costruzioni antiche. I materiali lapidei, compatti e pesanti, presentano una grande capacità di accumulo, per cui le murature si riscaldano lentamente quando è acceso l'impianto di riscaldamento, fino a raggiungere la temperatura di comfort ambientale. Viceversa, una volta spento l'impianto, le murature si raffreddano altrettanto lentamente restituendo il calore accumulato all'ambiente. Nelle costruzioni moderne, invece, si riscontra il contrario in quanto le pareti leggere, se pur molto isolate, tendono a raggiungere più velocemente la temperatura desiderata, ma altrettanto rapidamente si verifica il ritorno a temperature basse una volta spento l'impianto. La capacità termica è influenzata anche dalla disposizione degli strati. Se ad esempio si considera una parete massiccia isolata dall'interno, si ottiene la stessa trasmittanza termica di una parete isolata dall'esterno. Ma se dal punto di vista della dispersione del calore le situazioni si equivalgono, la capacità di accumulo termico è differente. Infatti solo la parete massiccia isolata dall'esterno può assumere il comportamento di un volano termico, cioè riesce a cedere per irraggiamento il calore

accumulato quando vengono interrotti gli apporti. Viceversa una parete isolata dall'interno, a prescindere dai probabili problemi di condensa, non riuscirà mai ad immagazzinare calore.

### 4. Inerzia termica

Nell'analizzare il bilancio termico di un edificio, occorre considerare che la superficie esterna di una parete muraria è soggetta ad uno scambio termico per convezione, quindi non stazionario, e ad uno scambio termico di tipo radiativo dovuto all'irraggiamento solare che non risulta essere affatto costante. Ecco allora che il sistema edificio-impianto si trova ad operare in una situazione di regime variabile, e non costante come prescritto dalla normativa. Per valutare tale comportamento, occorre introdurre il concetto di inerzia termica, ovvero la capacità di accumulare calore e quindi di attenuare e ritardare gli effetti delle variazioni di temperatura esterna. Se si ipotizza un andamento sinusoidale della temperatura esterna<sup>1</sup> che lambisce una parete e allo stesso modo si ipotizza un andamento sinusoidale della temperatura sul lato interno per simulare le condizioni esterne, gli effetti dell'inerzia termica possono essere rappresentati con l'attenuazione e lo sfasamento temporale delle variazioni di temperatura che si verificano internamente in corrispondenza delle variazioni di temperatura che si manifestano sulla faccia esterna. Mentre una diminuzione della trasmittanza termica limita il flusso di calore che attraversa la parete, l'incremento dell'inerzia termica riduce l'ampiezza dell'oscillazione della temperatura sulla faccia interna e aumenta l'intervallo di tempo  $\Delta t$  che intercorre tra il valore massimo dell'onda esterna e il raggiungimento del valore massimo dell'onda di calore sulla superficie interna. I suddetti parametri sono molto utili al fine di valutare l'efficacia di una chiusura d'ambito ad opporsi alle variazioni climatiche esterne per poter "misurare" all'interno la qualità delle condizioni di comfort ambientale. Lo smorzamento e il ritardo dell'onda termica non sono definibili con formule di calcolo semplici, in quanto essi dipendono dalla capacità di accumulo termico di ciascun strato (a sua volta funzione della conducibilità, del peso specifico, del calore specifico) e dalla sua resistenza termica. Infatti, una parete ben isolata, cioè con bassa trasmittanza termica e bassa capacità di accumulo è caratterizzata da uno smorzamento elevato e un ritardo dell'onda termica abbastanza basso. Valori alti del ritardo dell'onda termica sono una caratteristica propria delle pareti pesanti quali quelle in pietra di tante case rurali, in cui fungono sia chiusure d'ambito che da murature portanti. Avere una parete ad alta inerzia termica equivale a massimizzare la capacità della parete di accumulare calore in certe ore del giorno, per poi cederlo in un momento successivo. Inoltre tali pareti permettono di smorzare i picchi di temperatura che si possono avere nelle ore più calde del periodo estivo.

#### 4.1 La norma UNI ISO EN 13786

Le ipotesi alla base del calcolo introdotto dalla norma UNI ISO EN 13786 per la quantificazione dei parametri che descrivono l'inerzia termica di una muratura individuano una parete costituita da strati piani, paralleli, omogenei con condizioni ambientali al contorno sinusoidali regolari e il flusso termico sia monodirezionale alla parete. L'equazione monodimensionale del calore può essere risolta per un singolo strato di materiale omogeneo con condizioni sinusoidali al contorno, quindi la temperatura ed il flusso termico sulla faccia esterna possono essere espressi in funzione di quelli della faccia interna tramite una matrice di trasferimento termico, i cui fattori sono costituiti da numeri complessi. La metodologia proposta da tale norma si estrinseca nel valore del "fattore di decremento" e il "ritardo del fattore di decremento". Il fattore di decremento costituisce l'entità dello smorzamento dell'onda termica tra le due facce della parete considerata. Un valore prossimo all'unità significa che la muratura non è in grado di smorzare l'onda termica, cioè il picco dell'onda, in termini di temperatura o di flusso, sulla superficie esterna equivale allo stesso picco sulla

superficie interna. Viceversa un valore prossimo allo zero, tipico delle murature pesanti in pietra, è indice di uno smorzamento molto elevato. Il ritardo del fattore di decremento invece corrisponde al ritardo temporale tra il massimo di un effetto e il massimo della causa corrispondente, cioè al tempo intercorso tra il picco di massima dell'onda termica su una parete della superficie e il corrispondente picco massimo, per effetto del precedente, dal lato opposto della parete. Tale fattore è un parametro che quantifica lo sfasamento temporale, pertanto valori alti, oltre le 10 h come quelli delle pareti pesanti in pietra, sono valori appartenenti ad una muratura con alta inerzia termica. La norma UNI EN ISO 13786, pur nella sua complessità di trattazione, definisce anche un altro parametro che individua la capacità termica della parete, distinta in due valori  $C_1$  e  $C_2$  relativi rispettivamente al lato interno della parete e a quello esterno. Tali fattori sono fondamentali per le murature multistrato con isolante. Infatti la presenza dell'isolante determina una riduzione della capacità termica che risulta essere minore proprio in corrispondenza di esso. In presenza di murature con alta inerzia termica, pertanto, affinché si realizzi un alto valore della capacità termica  $C_1$  sul lato interno, lo strato isolante necessariamente andrà disposto verso l'esterno. Per la valutazione dei parametri introdotti dalla norma UNI EN ISO 13786 è stato elaborato un foglio di calcolo per una muratura che può essere divisa in 5 strati. Nella Tabella 3 si riportano sei elaborazioni costituite da tre tipiche murature, in pietra, in mattone e in terra. Si è provato ad isolare dall'esterno la muratura in pietra e la muratura in mattoni. Il valore della conduttività dell'isolante è stato scelto pari 0,04 W/m<sup>2</sup>K che corrisponde al valore del polistirene. Dalla Tabella 3 si desume subito che un elevato spessore dell'isolamento esterno influisce solamente sulla trasmittanza e non sui parametri inerenti l'inerzia termica. In conclusione è possibile affermare quindi che una muratura con una buona inerzia termica deve avere un coefficiente di attenuazione il più basso possibile e uno sfasamento più alto possibile. Questa combinazione, infatti è ottenibile solo con una muratura di tipo pesante, in quanto generalmente i materiali con ottimo potere isolante (cioè con un abbastanza basso) sono molto leggeri e quindi con un basso potere di sfasamento. La muratura pesante come quella in pietra, o comunque quella in terra, pur avendo trasmittanze termiche superiori all'unità, posseggono fattori di attenuazione bassi e sfasamenti elevati, che rendono ottimali il comportamento termico soprattutto nel periodo estivo. Queste "misurazioni" costituiscono utili indicazioni per sviluppare interventi di recupero mirati ad incrementare il comportamento bioclimatico originario intrinseco nelle murature massive delle costruzioni rurali, fino all'ottimizzazione delle prestazioni, mediante l'impiego di strategie a controllo climatico naturale, di tipo conservativo.

### NOTE

1. In realtà occorre tener conto anche degli effetti dovuti alla radiazione solare sulla parete, perciò la temperatura a cui far riferimento è la temperatura sole-aria, definita come quella temperatura fittizia dell'aria esterna che produrrebbe, sulla parete in ombra, lo stesso flusso termico che si ha nelle condizioni reali di temperatura e radiazione solare.
2. La massa areica di una parete è pari alla sommatoria della massa volumica per lo spessore del relativo strato.