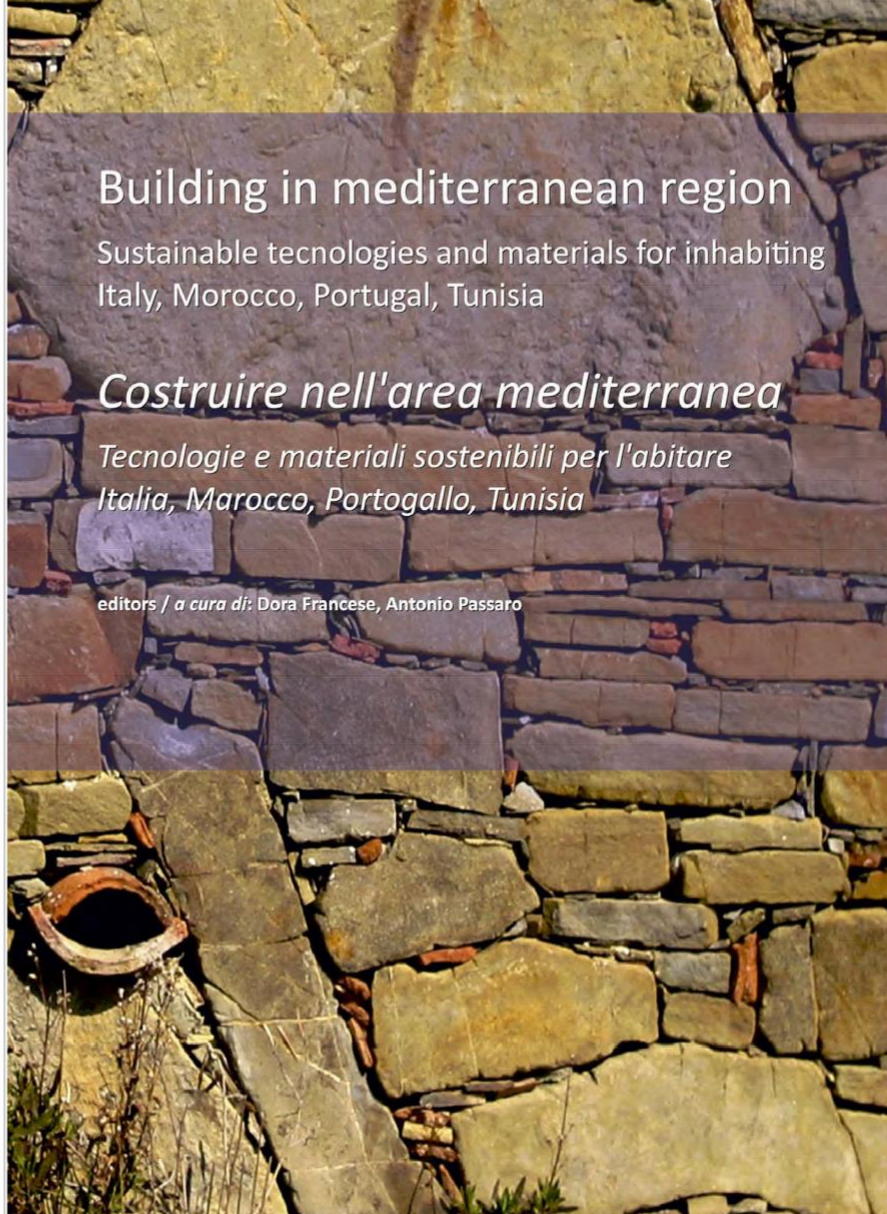


Building in mediterranean region

Sustainable tecnologies and materials for inhabiting Italy, Morocco, Portugal, Tunisia

Costruire nell'area mediterranea

Tecnologie e materiali sostenibili per l'abitare Italia, Marocco, Portogallo, Tunisia

editors / *a cura di:* Dora Francese, Antonio Passaro

Building in Mediterranean region
Sustainable technologies and materials for inhabiting:
Italy, Morocco, Portugal, Tunisia

Costruire nell'area mediterranea
Tecnologie e materiali sostenibili per l'abitare:
Italia, Marocco, Portogallo, Tunisia

Editors / a cura di
Dora Francese, Antonio Passaro

PASQUALE D'ARCO EDITORE
darcoprint@gmail.com

Tutti i diritti sono riservati:
nessuna parte può essere riprodotta
senza il permesso della Casa Editrice

ISBN 978-88-9431-012-2

Finito di stampare dicembre 2017
Stampa: www.darcoprint.it

Index / Indice

Introduction / *Introduzione*

Materials and Technologies for sustainable construction: a research about Mediterranean inhabiting *p. 1*
I materiali e le tecnologie del costruire sostenibile: una ricerca sull'abitare mediterraneo
D. Francese, A. Passaro

PART I - Environmental resources / *PARTE I - Le risorse ambientali*

Climate and Architecture *p. 11*
Clima e architettura
C. Filagrossi Ambrosino

The orography of the the Mediterranean countries *p. 23*
L'orografia dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo
G. Longobardi, E. Adamo

The Mediterranean vegetation *p. 28*
La Vegetazione del mediterraneo
G. Longobardi, E. Adamo

Critical Reading of the Techniques and Configurations of Traditional Architecture *p. 32*
Lettura critica delle soluzioni tecniche e configurative dell'architettura tradizionale
A. Passaro

PART II - The materials of traditional Mediterranean construction / *PARTE II - I materiali della costruzione tradizionale mediterranea*

Lime soil *p. 46*
Terra calce
L. Buoninconti

Rammed earth: a material emblematic for the Mediterranean *p. 62*
La terra cruda: un materiale emblematico del Mediterraneo
D. Francese, M. Cutolo

Wood 4.0 *p. 68*
Legno 4.0
R. Siani

Use of stone resources in the Vesuvian area: architecture and landscape *p. 80*
Uso delle risorse lapidee nell'area vesuviana: architettura e paesaggio
P. De Joanna, A. Passaro

Traditional and prospect uses of building materials obtained from alkali-reactive natural products and industrial by-products *P.97*
Materiali edilizi da materie prime alcali-reattive nella tradizione e nelle prospettive delle costruzioni
B. Liguori, F. Iucolano, O. Marino, D. Caputo, C. Colella

Ceramic materials *p. 105*
L'uso della ceramica nell'edilizia
V. Del Naja

To live the straw: memories and histories on the rural architecture *p. 113*
Abitare la paglia - memorie e storie sull'architettura rurale
N. Mastrangelo

To build with straw: the tradition *p.123*
Costruire con la paglia: la tradizione
G. Ausiello, L.V. Passaro

An ancient material for new use: the hemp *p. 143*
Un materiale antico per nuovi usi: la canapa
D. Francese

Negative construction in southeast of Tunisia *p.165*
La construction en négatif au sud-est de la Tunisie
Houda Driss, Faker Kharrat

Grey tuff. Replacing a traditional stone as a second row material in restoration *p.173*
Il tufo grigio campano. Da materiale della tradizione a materia prima seconda per il recupero
M. Infante, M. Fumo, M. Del Rio Merino, R. Castelluccio

The role for vegetable materials in traditional architecture: proposal for a Portuguese route *p. 187*
A função das materiais vegetais na arquitetura tradicional: proposta para uma metodologia Portuguesa.
M. Silva, P. Mendonça

Part III - Urban applications / *Parte III - Applicazioni urbane*

Digital models for the management and valorization of minor historical centres *p. 202*
Modelli digitali per la gestione e la valorizzazione dei centri storici minori
M. L. Papa, S. D'Auria

Rammed earth in the Mediterranean architecture : examples from Morocco *p. 212*
La terre crue dans l'architecture méditerranéenne : exemple du Maroc
Khalid Rkha, D. Francese

Typical architecture of South Tunisia: local construction materials and techniques *p. 219*
Architecture du Sud Tunisien : Matériaux et techniques de construction locaux
Fuad Ben Ali

Arbëreshë settlements in Calabria Citra *p. 226*
Gli insediamenti Arbresh in Calabria Ultra
G. De Martino, S. La Rocca

Urban heat island in mediterrenean cities: main causes and possible solutions *p. 238*
L'isola di calore urbana nelle grandi città del Mediterraneo: principali cause e possibili soluzioni
C. Gerundo

Climate, Architecture and Place: a comparison between Italy and Portugal *p. 251*
Clima, Arquitectura e Lugar: uma comparação entre a Italia e o Portugal
C. Filagrossi Ambrosino

Mixing and contamination in Mediterranean architecture *p. 274*
Mescolanze e contaminazioni nelle architetture del Mediterraneo
Rosa Maria Giusto

PART IV Rural applications / *PARTE IV Applicazioni rurali*

Rural Mediterranean landscape and territorial regeneration: the Vesuvian area — *p. 286*
Il paesaggio urbano mediterraneo e la rigenerazione del territorio: l'area Vesuviana
M. Stanganelli

Un artefact et une technique constructive du passé: le pressoir vinicole dans le Salento dans les Pouilles — *p. 296*
Un manufatto ed una tecnica costruttiva del passato: il palmento nel Salento in Puglia
F. Leccisi, P. F. Nistico'

L'architecture vernaculaire domestique dans le contexte montagnard et le contexte insulaire: entre savoir constructif et fabrique d'un paysage culturel specifique — *p. 308*
Houda Ben Younes, Fakher Kharrat

PART V - Conservation and innovation of traditional natural materials / *PARTE V - Conservazione e Innovazione dei materiali tradizionali naturali*

Innovative and sustainable use of natural materials in the Mediterranean basin — *p. 319*
Uso innovativo e sostenibile dei materiali naturali nel bacino mediterraneo
D. Francese

To build with straw: a sustainable future — *p. 330*
Costruire con la paglia: un futuro sostenibile
G. Ausiello, L.V. Passaro

The straw between technological development and safeguard of the territory — *p. 346*
La paglia tra sviluppo tecnologico e salvaguardia del territorio
N. Mastrangelo

Adobe bricks reinforced with natural fibres: distinguishing features and physical-mechanical laboratory tests — *p. 359*
Mattoni in terra cruda rinforzati con fibre di canapa: caratteri distintivi e prove di laboratorio fisico-meccaniche
A. Formisano, E. J. Dessì, G. Chiumiento

Vault construction technique in Salento (Apulia region, Southern Italy): from tradition to innovation — *p. 380*
La costruzione delle volte nel Salento tra tradizione e innovazione
F. Leccisi, E. Leccisi

Valorization of urban archaeological sites through the use of glass: the case study of Piazza Bellini in Naples — *p. 399*
Il vetro per la valorizzazione dei siti archeologici urbani: il caso studio di Piazza Bellini a Napoli
B. Faggiano - R. Castelluccio - G. Iovane - G. Augello - P. D'Agostino - F. M. Mazzolani

Matter in code — *p. 415*
Materia in codice
R. Siani

To build with straw: a sustainable future

Gigliola Ausiello - Luca Vincenzo Passaro

1. Build sustainable and look to tradition

"What's more? A kilogram of stone or gold? This seems a ridiculous question to the trader. The artist will answer: for me, all the materials are precious in the same way"[1].
How much a kilo of straw is worth? The same.
Every material, new and old, has intrinsic properties. But over time, the technique changes.
The new things enrich old things, but the old things dictate rules and they prove their validity, to have a new meaning. The real innovation can understand from the past and it can grasp the potentiality with the support of progress and industrialization.
Build with straw bale, today, is an innovative way of building, ensuring a high living comfort, in line with sustainability. The first straw buildings are much older than we image. Nowadays, a recurring topic is looking to the past to find a better future. As Arthur Pinero Ala writes: "I believe that the future is the past that it goes inside from another entrance". The memory has many answers, sometimes with many contradictions. Reflect on the story's lesson means rediscovering and reinterpreting to make greater awareness. Subject of research and experimentation is the straw.
Straw presents may capacities. Different features have been recognized in the bales. One is that it has a good level of stress resistance. They have performed laboratory tests with a wall made by straw bales (3,6 m long; 2,4 height). The resistance to breakage was about equal 48.000kg/mq, for bales positioned flat, otherwise it was about equal 13.500 kg/mq, for bales positioned length.
Furthermore, straw has good resistance to the forces of the earthquake. In fact, straw is flexible, strong, ductile and lightweight, with a good width-to-height ratio and it becomes ideal for earthquake resistant construction, making sure that the connections between foundations and roofs are properly implemented. Shortly after the earthquake, the straw bale comes back to the initial configuration. Straw has a good fire resistance, as the Italian said *flash in the pan*. This said exhales the behavior of the straw exposed to fire. As a matter of fact, it emits a lot of smoke (that it has a low content of CO_2) because straw does not burn as it's a dry plant and then died.
A wall resists up to 90 minutes with fire to 1000 °C.
Straw has good thermal proprieties too because it's packaged with very large thicknesses. A straw bale positioned flat has a transmittance value of about 0.13 W/mqK.
The straw's spread is favoured because straw is waste material, abundance, cheap and zero kilometre material, added value for sustainability. It has no cost of transformation because the switch from waste material to construction raw material is immediate. The use of straw in construction requires a low technological level and it allows to activate self-constructing and "do-it-yourself" processes. The construction of the building is very fast compared to a traditional concrete construction.
Last but not least, a straw bale construction results in a saving of 10/15 %. This saving continues over time with energy savings too.
As discussed above, the use of straw offers several advantages, however, contrasted with an attitude of widespread scepticism towards a "poor" technology. Its poor diffusion can compromise its economy. However, the evaluations made are an incentive for dissemination, especially in the place where this way of building belongs to tradition. belonging to the places is an added value to sustainability. The use of past techniques, today, one of the thinnest logic of innovation that looks to the past, with the awareness of the potential of current techniques and mechanisms that govern behaviors.

2. Classification of straw bales walls

Today, the straw in buildings is most used as infill. We have different techniques to use bales. Straw bales can be used with load-bearing function or, as mentioned earlier, with buffering

counter function. The last one is most used because it is simplifies the process of approving regulations and building regulations that they are still sceptical of using straw.
Below, the straw bale walls will be described, starting with those with load-bearing function and finishing with buffering counter function. We will look at both types different ways of putting into implementation, dry and wet. Lastly we'll analyse the solutions so far made to intervene on the existing one (summary table 1).
In particular, a straw bearing wall is made with a dry technology, easy-to-use technology, or it's made with a wet technology where the bales are covered on each face by a mortar film that assures bonding. However, straw is most used with load-bearing structures in other material as wood or reinforced concrete. The straw bales are inserted into the structure as an infill and they can be included dry. In this case the straw bales are stacked along a vertical or offset one another. The other technology provides that straw is worked in wet. Technology called straw-land.
Bales can be used, depending on the context, as an outer coat to improve the thermal insulation, or as an inner coat to improve not only thermal insulation but also guarantee a higher level of protection against the earthquake.

	Funzione della Paglia	Tipologia di posa	Disposizione dei moduli di paglia
New buildings	Supporting Element	Dry	Stacked and offset bales
		Wet	Bales connected by mortar
	Closing	Dry	Bales between pillars and beams
		Wet	Loose straw wet with water and clay
Existent buildings	Closing	Inner coat	Insulation inside the building
		Outer coat	Insulator outside the building

3.Types of bearing walls

The technique allows to create dry walls, where the bales are stacked along a vertical or staggered each other and they are fixed by wooden rods or other materials, these rods not only give stability to the wall but also they grant a guide for stacking bales. We can position the bales with the base more parallel to the floor (bale positioned flat). In this way the wall will be more stable (Fig.1).
The fixing element of the various bale courses is rod, usually it's in steel but also it could be in bamboo or wood chopsticks. The last two chopsticks reduce costs and these are more suitable in rural contexts, related to the use of local raw materials.
The rods are 1.5 meters long each, positioned in the wall with a distance of 0.90 meters up to 1.80 meters. The wheelbase varies depending on the length of the wall (Fig.2).

Fig. 1 Example of making a bale wall / *Esempio di realizzazione di un muro di balle di paglia*

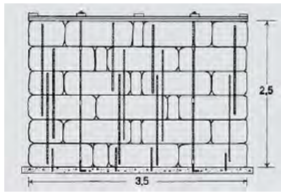


Fig. 2 Section of the straw bale wall made with a dry technology / *Sezione di un muro di balle di paglia montato a secco*

The rods must be drowned in foundations and then they then they must protrude over the last line of bales because they allow the grafting of the roof curb, through nut or washer. The roof

curbs are made of wood with scale ladders; other typologies of roof curbs are the wooden boxes or the reticulated beams (Fig. 3).
The roof curb anchor can be made belts running around the entire wall. These belts are fastened to rings that protrude from the foundation. It's really important that the anchoring of the roof and the wall is well done, it has to absorb the stresses caused by the earthquake and the wind. Contrarily, if it is not well done, the roof may detach itself. Obviously, the weight of the roof causes a compression of the bales. So it's important to calculate the compression value to quantify the positioning of doors and windows. In fact, doors and windows determine an uneven load distribution. A limit to technology is just that you can't have many openings.
Nowadays, the straw bearing wall have been constructed with very simple and linear geometries, smaller than 120 mq, few and small openings. Nevertheless, the story shows that buildings with straw bearing wall have been built with cubature higher than 270-300 mq.
This technique is born in America and it inherited the name from the state where the first time it was experimented. The technique presents straw bale walls and they directly support the weight of the roof, forming bearing wall. One of the first build made by this technique is the "Simonton House". The House dates back to 1908 and today it's still inhabited, like the similar ones built at that time (Fig.4).

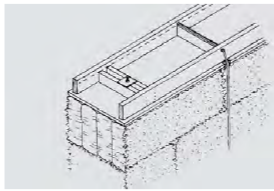


Fig. 3 Wooden roof crub on a straw bale wall / *Cordolo del tetto in legno su un setto in balle di paglia*

Fig. 4 The "Simonton House" built in the state of Nebraska, America , 1908 / *La "Simonton House" costruita nello stato del Nebraska, America, 1908*

The second way to made bearing wall with straw is made with a wet technology.
Like the one before, this technology provides that the straw bales are stacked along a vertical, or staggered each other, like a traditional brick wall. The substantial difference with the technology first said is that the bales are covered on all faces from a layer of mortar. This layer is the glue for fixing the following bales both horizontal and vertical. Then all the bales are isolated in a cell, and it's surrounded by mortar on all internal faces and the wall's finishing is made with a plaster layer. The plaster layer is made with a material of the same type as fixing mortar. The mortar's role is to give structure and strength to the wall, differently the role of straw bales is to create a fill and thermal insulation. Usually, the mortar is made with cement and lime, mixed with the sand. It can be reinforced with straw stems that they create a macro-armor. The cement's use, mixed with lime, gives greater stability to the mixture and then to the entire wall.
The affinity with the installation of bricks on raw earth is evident, in fact the mortar, used for the bonding of the bales, is the same used for the lining and its function is to improve assembly of parts.
The action of fiber reinforcement is related to the tradition of constructive techniques (Fig.5).
The installation foresees that the wall is made from bottom to top, then wall finished, a wooden curb with fixed and protruding nails is drowned in the last layer of mortar. The last layer must still be cool. Thereby there is no predisposition for roof installation, that it's directly attached to the curb. Unlike dry technology, this technique consents more design flexibility. It gives the opportunity to build large buildings, with larger openings and heavier roofs. So the technology is intrinsically more able to absorbing larger loads. In the end, it allows you to easily intervene on parts for future changes or extensions. The greater flexibility is a point in favour of the technique.

The modularity of the bales makes the structural solution even more interesting. The straw bale is seen as a raw material but second that it exists in the environment in a certain way and it's packaged in certain sizes. The bales have different performances depending on how they make up the wall. Modularity is transmitted to the full volume and similarly, it also has the ability to structure any added volume that goes beyond the previous on.
The concept of order, that organizes matter, converges the constructive and structural order, the first one is a member of the architectural object, the last one is a member of structural object.
The modularity and the order of straw bales facilitates comparison with a traditional brick wall. So each bale looks like a giant light brick, like a natural thermoblock. The bales cane be stacked on their side (positioned length) and this entails further savings in terms of space constraints.

4. Types of tamponage

The infill to dry is tied to a wooden support structure where bales are inserted. This solution appears counts many examples around the world, in fact it turns out to be the most widespread. Only in Italy, we count more than 100 buildings. We prefer wood because it is a natural, sustainable, recyclable and renewable resource through cultivation. In addition, a wood structure is functional and it allows to design compulsive or simple volume, without timing changes. Furthermore, the wooden structure has an extraordinary aesthetic characterization. The use of straw in wooden structure crates a synergy between the two natural materials.
Another added value is that the process is characterized by a fast laying. Speed is typical in prefabricated solutions and in dry technology because these are done with mechanical assemblies. Thanks to this technology the times and consequently the costs decrease.
The modern technology has developed models with straw infill and steel or reinforced concrete structures. The straw bale's role the role is to fill the wall and the straw must be a lightweight thermal insulator. The problem of bale and structure grafting is related to the different thickness. This problem creates an inhomogeneities between bales and pillars. One of the simplest ways is to equalize the size of the two parts and arrange the vertical and horizontal rods supporting the straw modules so that they remain side by side. Alternatively, the pillars are immersed in the straw bales, thanks a bale cutting and binding. This seems like an easy task, but in reality it's laborious, because we should cut the bales close to openings and pillars. In this way the pillar is embedded in bale files and this gives stiffness to the structure. The inhomogeneities reappears in the plaster phase between the straw and wood surface. For this reason, almost always, the wall from the outside is plastered to the pillar and the pillar is left to view.
The first to experiment with technology was the architect Bill Cock. He decides to insert the angle pillar in half about the thickness of the bales and to leave it in sight. The pillar in wood has dimensions 15x15 and the bale (positioned flat) is cut on the outer face (Fig.6).

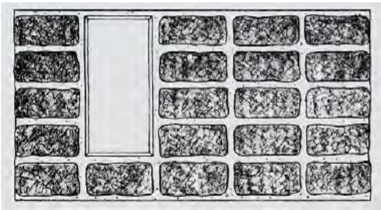


Fig. 5 Section of straw bale wall with mortar / *Sezione di un muro di balle di paglia con malta*

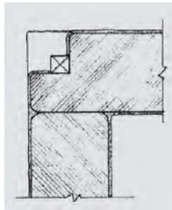
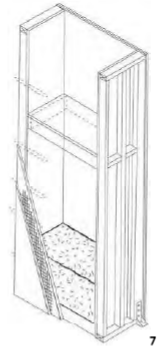


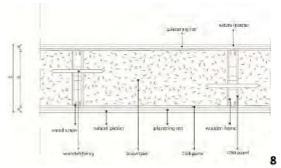
Fig. 6 Bale detail cut around the pillar / *Dettaglio della balla tagliata intorno al pilastro*

Problems of inhomogeneity are not with wooden frame. The wooden frame is perfectly aligned with the straw bales. The same thickness creates a sort of closet where to insert bales (Figs.7, 8).

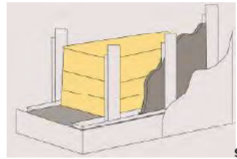
This solution includes a main frame, in beams and pillars, in which a further frame is inserted at doors and windows. The frame is of the same thickness and has box-columns. Obviously, this kind of arrangement gives a lot of stability to the wall. The operation concludes with a rather robust curb over the rest of the structure.
A first variant of this solution may be to use prefabricated structures, with the intrinsic advantages of the solution itself. The wall must be ordered according to the modules of the prefabricated structure in relation to the size of the bales. It's necessary to pre-compress the bales so that they can fill the entire space of the prefabricated structure so as not to leave empty parts. The pre-compress operation gives the entire wall greater resistance characteristics.
A second variant features a double frame with very small section wooden posts where straw bales compares. It's born in France and it's identified by the naming GREB (Fig.9).
The second type of tompagne with a wet technology uses the so-called straw land. The conglomerate presents straw and clay, the first used by an armor the second used by an element of cohesion. This solution should be born in XII century, and it's one of the oldest in the world. Many examples fall into Africa and Asia where the type of solution belongs to the tradition. Today, these blends are being tested because they are distinguished by the sustainability and recyclability that characterizes the raw chain. Despite the good qualities, scepticism towards these types of conglomerates is still considerable.
This kind of tompagne allows you to create walls thrown in operation, made of straw and land, and they can be double up to 60 cm. As in traditional African architectures, the techniques asks for a wooden support structure.



7



8



9

Fig. 7 Axonometry of wooden frame where bales are insert / *Assonometria dell'intelaiatura in legno al cui interno sono inserite le balle*

Fig. 8 Section of wooden frame with internal finish made with OSB panel / *Sezione dell'intelaiatura in legno con utilizzo di pannelli OSB per finitura interna*
Fig. 9 Axonometry of GREB method composed by a small section wooden posts / *Assonometria del metodo GREB creato da pali in legno di sezione ridotta*

Traditionally, the semifluid mixture was hand-worked, and then it was inserted into wood shingles where it was then properly pressed. Nowadays, the mixture is made by placing in the bowl the stems of straw of lengths between 35 cm and 40 cm and mixing them with clay. Then it is worked until it is completely wrapped in clay. The mixture is ready when the stems have a red color, typical of clay. A minimum of industrialization is read in this preparation phase because the mixture has to rest for twelve hours and then it can be considered ready for use.

We immediately understand the simplicity of this technology. The straw land crates a tompagne extraordinarily breathable. Other properties are enjoyed as a significant thermal mass, high insulating power and moisture accumulation and release, which enhance environmental comfort. Furthermore, a straw land wall guarantees excellent fire protection. In fact, the clay activates a chemical reaction, through which a silica patina is created on the stems that work as a fireproof coating. It follows that the fire cooks the clay preventing the straw from receiving other oxygen. The big limit of the solution is given by the long drying times required for the ripening of the conglomerate. In cold and humid climates the drying can reach or even exceed the solar year.

5. Prototypes of realization in Italy

The interaction between the infill of straw and the wooden structure finds its application for the first time in a building, called "Boa", made in Pramaggiore (Venice) by the architect Stefano Soldati. It's a building with a cubage of 320 square meters, distributed on two levels.
This building is characterized by a wooden bearing structure and a plugging made with straw bales, on foundations of reinforced cement. For the perimeter closures, it's been made a double wooden frame. One is load bearing, the other has a guide function for the bales insertion (Fig. 10).
The E.V.A. project is another interesting Italian application. It was built during the reconstruction of L'Aquila, after the earthquake of 2009. This project was made by the B.A.G (Beyond Architecture Group), that has contribuited to give a house to the Pescomaggiore citizens.
The constructions are characterized by a basement made with reinforced concrete, over which the load bearing is built. This structure has the function of defence from the soil moisture (Figs.11, 12).
Another exemple of sustainable building at high performance is represented by complex of terraced houses, located in Fano in Marche, made in the design studio of Archetica. They have built three terraced houses with a wooden load bearing. Its dry mounting has speeded the realization times (Figs.13, 14). The straw has two functions: infill and thermal and acoustic insulation functions. The finisches have a clay plaster, internally, and a lime plaster externally.
They are an emblematic prototype of low environmental impact and economically sustainable houses. As a matter of fact, the straw bales are given from a country merchant and so they are a 0 km process. An important material in this building is not only wood, but also the concrete.
In fact, we have the example of the municipal library located in Rosignano Marittimo. The building is characterized by a supporting structure, made with reinforced concrete, and the collision is realized with pressed straw bales. On the internal surface it's been posed a clay plaster and, externally, a lime plaster (Fig.15).
There's another example that prefers a concrete frame is the SBCA (Straw Bale Construction Association) secretary. It's been designed by the architect Beverly Spears. The home construction is built with straw bales with a concrete structure, threw in blocks of 40 cm. The interior of the building is made with a gypsum and fiber blend covered with a layer of ground.

Fig. 10 The first straw bale house built in Italy, called "la Boa" / *Prima casa costruita in Italia con l'utilizzo di balle di paglia, denominata "la Boa"*

Fig. 11 The E.V.A. project under construction / *Il progetto E.V.A. in fase di realizzazione*

Fig. 12 The E.V.A. project finished / *Il progetto E.V.A. a lavori completati*

Fig. 13 Complex of terraced houses in Fano / *Villette a schiera costruite a Fano*

Fig. 14 Complex of terraced houses during the works / *Villette a schiera in fase di esecuzione*

Fig. 15 The municipal library in Rosignano Marittimo (LI) / *Biblioteca comunale a Rosignano Marittimo (LI)*

6. Energy improvements

Simultaneously to the field of the new constructions, whereas is growing always greater interest, the use of the straw is being tested also in the existing buildings.
In Italy, over the past few years different designers/architects test themselves on the renovation and on the requalification of old buildings with energetic efficiencies founded on the use of bio and natural materials.
The different kinds of intervention are based on the realization of a continuous interlining bales of straw, preferably placed on the outside of the pre-existent closure, who , for the material thermal insulation's capacity, improves the thermal behavior, pursuing the joint goal of the comfort and of the energy saving. This solution is applicable in the examples of cement, steel, bricks and also wood structures. The dry laying is certainly an added value that, distinguishes also the applications with other isolating materials. In particular, in the first case, the thermal coat placed outside optimizes the behavior, decreasing not only the dispersions but also the localized thermal bridges, in correspondence of the vertical and horizontal structural elements.
It is necessary to create counter-wall foundations for the counter-wall on straw bales, to be suitably connected at the pre-existent structure, who also has the function of protection of the first straw bales line from the contact with the ground, avoiding the effective performance to be affected. In the second case, the one of the so-called interior coat, the straw counter-wall must be inserted within the spaces, and, even if it doesn't solve the problems of the thermal bridges, it contributes to improve the isolation and protection levels to the earthquake.
But in the refurbishment of the existent buildings, the straw bales, having a considerable thickness, has the "flaw" to limit certain applications. So, in the context where is possible to intervene from the outside of the building's perimeter, the straw is certainly a material to be favoured compared with others. However, at the present, there are packers that allows to pack

the bales with geometries much smaller compared to the conventional ones, in order to solve the typical bug of the interior coat that causes a significant reduction of the usable area.
By way of explanation, are reported, the more significant applications in the field of the refurbishment of the existent buildings with the use of such material.
The first intervention realized in Italy was lead by the architect Alessandro Fassi, in the 2009 a Cinzano, in the province of Torino, who prefer the straw to make an outside coat, an isolation in the cover and in the slab against the floor. This technical choice non only lowers considerably the cost of the material supply and of the implementation's realization, but also ensures excellent performance, without leaving the sustainable approach.
Outside, in the isolating layer of straw bales are still rods, are placed perfectly in parallel to the pre-existent masonry, that stabilize the following courses.
At the base is inserted a wooden foundation with a height of approximately 15 cm, that ensures the necessary protection. The intervention is completed with a natural plaster, who is well paired with the straw and permit to the same wall to maintain a high level of breathability (Fig.16).
Moving on in the European context, the examples of sustainable recovering building becomes more numerous. Outstanding is the example of the Austrian architect Georg Bechtel, who, to improve the energy performance of a pre-existent building has proposed to realize an outside coat made of straw bales. The innovation is found on the project of the wooden structure framework, specifically designed where bales of straw are been inserted like in a "closed".
In this way it has been added a real outer cover to the perimeter wall, that originally had a thickness of about 35 cm and that after the straw insertion of 45 cm, has reached a thickness of more than 80 cm. Interesting is the study of the windows and of the doors frames, that consequently to the increasing wall section thickness, are tapered.
Interesting is the study of the windows and of the doors frames, that consequently to the increasing wall section thickness, are leveled outwards to guarantee the penetration of the solar radiation, favouring the natural heating and a good level of illumination. In addition, to protect the straw from the weathering and from the animal attacks, there have been chosen some wooden strips, fixed with nails directly to the straw bales.
For the plastered surfaces, instead, is been used a net plaster-bearing to reinforce the covering and guarantee continuity and stability (Figs.17, 18).

Fig. 16 The first application with straw in the field of the existent buildings in Cinzano (TO) / *Primo intervento nel campo degli edifici esistenti a Cinzano (TO)*

Fig. 17 An outside coat made of straw bales in a private home a Hittisau (Austria) / *Cappotto esterno fatto di balle di paglia in una casa privata a Hittisau (Austria)*

Fig. 18 Connection detail of the windows to the outside in a private home a Hittisau (Austria) / *Dettaglio di connessione delle finestre verso l'esterno in una casa privata a Hittisau (Austria)*

7. A sustainable future

Straw innovation will be able to tell the places of sustainable building tomorrow, as it can re-read the lesson of a timeless past and the experience of tradition.
How?
The How is of the domain of the technique that it that draws from contemporaneity and it has the ability to encompass the past. Because the technique, as Gregotti said "*come terreno che ci sorregge, non davanti agli occhi come meta*"[2]. The constructive solutions analyzed for load-bearing walls and infill shows that sustainable building is a practice pursued by few, they are brave but not imprudent. In the life cycle assessment there are several factors to consider for choosing materials and techniques, such as pre-production, production, use, recycling or disposal costs. These, compared with straw, show several advantages. We can observe that the cost of the material is non-existent. As a matter of fact, a straw bale can be placed on the market without any special workings and treatments, with the added value of not affecting the environment.
Straw represents a raw material but second and it is very much abandoned in our country. So it can be considered as a material at zero kilometres. So the costs of distributions are completely dropped. A straw building can be compared to a traditional building in terms of maintenance, but a straw building guarantees higher levels of thermal and acoustic insulation. In addition, straw is a recycled material and he can be reused several times. it is possible to remove straw bales and recycle them for reuse in other constructions as well as for other applications such as the use of straw biomass for electricity generation. The use of straw belongs to history and to earth. Belonging to places promotes the use of the material that it has inherently sustainable features. Sustainability is the element that helps its diffusion. Sustainability and appropriateness converge into a conjunction of past and future that they regenerate and actualize cultural and identity meanings. If today straw homes are synonymous of sustainable homes, we can say that it is right to use this material in building. Today, "la paglia sembra leggera e fragile; la maggior parte della gente non sa quanto pesante essa sia. Se la gente conoscesse il vero valore della paglia, si potrebbe verificare una rivoluzione che diventerebbe abbastanza potente da cambiare il mondo"[3] [Masanobu Fukuoka (la rivoluzione del filo di paglia)].

Costruire con la paglia: un futuro sostenibile

1.Costruire sostenibile e guardare alla tradizione
"Che cosa vale di più? Un chilo di pietra o un chilo d'oro? Sembra una domanda ridicola. Soltanto al commerciante, però. L'artista risponderà: per me tutti i materiali sono ugualmente preziosi"[1].
E quanto vale un chilo di paglia? Lo stesso.
Ogni materiale, sia del passato che del presente, possiede proprietà intrinseche. Ma, nel tempo, cambia il rapporto che lo lega alla tecnica. È pur vero che il nuovo aggiunge, ma il passato detta regole che attendono sempre inattese occasioni per dimostrare la loro validità e acquisire, dunque, nuovi significati.
La vera innovazione, quella più profonda e più futuribile, sa guardare anche ai materiali del passato, alle potenzialità più intrinseche che la tecnica riesce a cogliere e ottimizzare con il sostegno del progresso e dell'industrializzazione.
Costruire con balle di paglia, oggi, è un modo innovativo per la realizzazione di nuovi edifici, garantendo un elevato grado di comfort abitativo, in linea con le logiche della sostenibilità. È pur vero che le prime applicazioni sono molto più antiche di

quanto si possa pensare. Ma guardare al passato con l'obiettivo di un futuro migliore, oggi, è ben più che un tema ricorrente. Per citare il drammaturgo britannico Arthur Pinero Ala "credo che il futuro sia di nuovo il passato, che entra attraverso un altro ingresso". La memoria ha tanti risolti e talvolta presenta anche contraddizioni.
Riflettere sulla lezione della storia significa riscoprire e reinterpretare, fino a guadagnare la consapevolezza di nuove opportunità e dinamiche.
È il caso della paglia, oggetto di ricerca e di sperimentazione, che, nel confronto con altri materiali, presenta diverse proprietà spendibili. Diverse sono le buone caratteristiche riconosciute alle balle di paglia, tra le quali possiamo ricordare innanzitutto un elevato livello di resistenza alle sollecitazioni. In particolar modo, sono state effettuate delle prove in laboratorio con un setto murario, fatto di sole balle, di 3,6 m di lunghezza e 2,4 m di altezza, da cui è emerso un carico a rottura pari a circa 48.000 kg/mq, per balle posizionate di piatto (ovvero con il lato lungo delle balle parallelo al piano di posa), mentre di 13.500 kg/mq per balle posizionate di taglio (con il lato lungo ortogonale al piano di posa). Inoltre, la paglia possiede buone resistenze nei confronti del sisma, derivante dall'essere un materiale flessibile, forte, duttile e leggero, con un buon rapporto larghezza-altezza che lo rende ideale per la progettazione di edifici con alta resistenza al sisma, a patto che le connessioni tra fondazioni e tetto siano adeguatamente realizzate.
In effetti, si è notato che i muri in balle di paglia riescono ad assorbire gran parte delle scosse dovute a un sisma, tornando, dopo poco tempo, alla loro conformazione iniziale.
La paglia possiede un'ottima resistenza al fuoco, che ben si comprende con l'espressione "un fuoco di paglia", alludendo al comportamento che la caratterizza allorché sottoposta ad una sorgente di calore. Infatti, fa molto fumo, tra l'altro non inquinante, con un contenuto di circa il 4% di CO_2 rispetto ad un tradizionale muro in mattoni, perché in realtà non brucia, trattandosi di una pianta secca e quindi già morta. I test dimostrano che un muro resiste fino a 90 minuti con un'esposizione a 1000°C circa. Inoltre, gode di eccellenti proprietà termiche, offerte dalla grande massa strettamente legata alla geometria con cui è confezionata. Una balla poggiata di piatto, infatti, ha un valore di trasmittanza che si aggira intorno ai 0,13 W/mqK.
Altra considerazione importante, che ne promuove la diffusione in larga scala, è che la paglia è un materiale di scarto molto disponibile, a basso costo e intrinsecamente a chilometro zero, valori aggiunti non trascurabili in termini di sostenibilità. Abbatte, infatti, i costi di trasporto e di trasformazione da materiale di scarto a materiale edile, in quanto la trasformazione è immediata ed avviene con un costo bassissimo, sia in termini di energia che di tempo.
Richiede un basso livello tecnologico per le operazioni di costruzione, quindi permette di attivare processi di autocostruzione e "fai da te", rivelandosi quindi particolarmente efficace in quei contesti in cui è richiesta manodopera non specializzata.
Il processo di realizzazione del manufatto è molto rapido, rispetto un tradizionale edificio in calcestruzzo e, in media, sono richieste poche settimane. Infine, ma non meno importante, si è verificato che l'utilizzo della paglia comporta un risparmio di circa il 10-15% dell'intera spesa, rispetto ad un tradizionale edificio. Senza dire che questo risparmio perdura nel tempo con un decremento delle spese energetiche, in quanto un edificio in balle di paglia può essere classificato come edificio energeticamente efficiente con classe dalla A alla Gold.
Alla luce di quanto detto, si può quindi osservare che l'utilizzo della paglia offre una serie di vantaggi, contrastati, però, da un atteggiamento di diffuso scetticismo nei confronti di una tecnologia "povera", almeno per quanto attiene alla sua definizione temporale e contestuale. Sebbene sia un materiale del luogo, ed intrinsecamente a km zero, la sua scarsa diffusione può compromettere l'economia che dovrebbe caratterizzarne le applicazioni. Tuttavia, le valutazioni fatte sulle prestazioni dovrebbero costituire un incentivo che ne promuova la diffusione, specialmente in quei contesti in cui questo modo di costruire fa parte della tradizione, considerando che l'appartenenza ai luoghi costituisce un ulteriore valore aggiunto rispetto alla sostenibilità.
Riproporre oggi le tecnologie cosiddette povere significa anche ottimizzare le prestazioni, alla luce di processi sia di industrializzazione, che più o meno artigianali e a carattere locale. È questa una delle logiche più sottili dell'innovazione che guarda al passato, con la consapevolezza delle potenzialità delle tecniche attuali e dei meccanismi che governano i comportamenti indotti.

2. Classificazione dei muri di balle di paglia

Oggi, il maggiore impiego della paglia in edilizia riguarda prevalentemente la realizzazione di tamponature, più che di coperture. Si è osservato che sono diverse le soluzioni tecniche con cui le balle di paglia possono essere impiegate nelle costruzioni, a partire dalla funzione portante, e cioè senza interazioni con altri materiali di supporto, fino a quella di controfodera di tamponamento, che sicuramente trova maggiore applicazione, che, oltre a garantire migliori prestazioni, tende a semplificare i processi di approvazione dei regolamenti e delle normative edilizie ancora scettiche nei confronti delle balle impiegate con funzione portante.
Di seguito, si riportano le differenti tipologie finora sviluppate per la realizzazione di involucri murari con balle di paglia, spaziando tra quelle con funzione portante e di tamponamento e, per ciascuna delle due, tra le differenti modalità di messa in opera, a secco e in umido. Infine saranno analizzate anche le possibili soluzioni nell'esistente (cfr. tabella 1).
In particolare, per la realizzazione di una muratura portante in balle di paglia si è analizzata, per prima, una tecnologia a secco, di immediata applicazione, caratterizzata da un elevatissimo grado di facilità di posa.
La seconda, invece, relativa all'utilizzo delle balle sempre con funzione portante, in cui la messa in opera avviene in umido, è caratterizzata da una particolare lavorazione della balla, per cui ogni faccia è rivestita da un film di malta che assicura l'incollaggio tra i vari corsi.
L'impiego principale, però, è quello che vede la paglia in combinazione con intelaiature portanti in legno o in calcestruzzo armato. La soluzione è quella del tamponamento in balle di paglia a secco, rispetto ad una struttura portante che il più delle volte è in legno, che ben si combina con la paglia. In questo caso le balle sono montate a secco e, a seconda della tipologia di intelaiatura che si va a predisporre, vengono impilate o lungo un'unica verticale oppure sono sfalsate tra loro, come una

tradizionale muratura in mattoni. Altro modo per realizzare un tamponamento con le balle di paglia, e quindi una parete portata, è quella dell'antica terra-paglia, tecnologia in umido per definizione. Inoltre, non è da sottovalutare la valenza che ha ottenuto la paglia come elemento di tamponamento nelle ristrutturazioni degli edifici esistenti, nei quali sono necessari interventi allo scopo di migliorare le condizioni di comfort termico. Le balle possono essere utilizzate, a seconda dei vincoli del contesto preesistente, come cappotto esterno oppure come cappotto interno, a seconda della posizione rispetto alla chiusura originaria, con il comune obiettivo di incrementare le prestazioni energetiche dell'intero edificio e di migliorare il livello di protezione al sisma.

	Funzione della Paglia	Tipologia di posa	Disposizione dei moduli di paglia
Nuove Costruzioni	Elemento Portante	A secco	Balle impilate e sfalsate
		In umido	Balle connesse da malta
	Tamponamento	A secco	Balle tra pilastri e travi
		In umido	Paglia sciolta bagnata con acqua e argilla
Costruzioni Esistenti	Tamponamento	Cappotto interno	Isolante all'interno dell'edificio
		Cappotto esterno	Isolante all'esterno dell'edificio

3. Tipologie di muro portante

La tecnica consente di realizzare muri portanti a secco, in cui le balle sono posizionate sfalsate, o impilate lungo una verticale, e poi tenute ferme tramite tondini in legno o in altri materiali, che, non solo garantiscono la stabilità dell'intero muro, ma creano una sorta di guida da seguire per impilare i successivi corsi di balle.
Per l'esecuzione di questa tipologia strutturale e per assicurare ancora più stabilità al muro, sarà preferibile posizionare le balle con il lato lungo parallelo al piano di campagna, ovvero posizionare la balla di "piatto", in modo da rendere più stabili i muri (Fig1).
L'elemento di fissaggio dei vari corsi di balle è costituito da barre di armatura in acciaio, elementi maggiormente utilizzati, oppure da bacchette di bambù o legno, che riducono molto i costi di realizzazione del muro e meglio si sposano nei contesti rurali, più legati all'utilizzo di materie che sono proprie del luogo. Tondini generalmente caratterizzati da lunghezze di 1,5m ciascuno, posizionati nel setto con un interasse tondino- tondino che varia dai 90 ai 180 cm in funzione della luce totale da coprire e con una distanza di circa 30 cm dagli angoli e dai vani porte (Fig.2).
I tondini appena detti dovranno essere opportunamente annegati in fondazione e dovranno sporgere al di sopra dell'ultimo filare di balle di paglia in modo da consentire il successivo innesto del cordolo del tetto tramite rondella o dado. I cordoli più utilizzati con i muri di balle di paglia sono realizzati in legno con le traverse a mo' di scala; le altre tipologie di cordoli, invece, sono quelli scatolari in legno oppure quelli con travi reticolari (Fig.3).
Altra variante per l'ancoraggio del cordolo di appoggio del tetto al setto di balle è l'utilizzo di cinghie che girano introno al muro da parte a parte. Queste sono fissate a dei tondini che sporgono dalla fondazione su entrambi i lati per consentire l'aggancio dalle due parti. È importante che l'ancoraggio tra fondazione e cordolo sia ben realizzato, in modo da sopportare meglio sollecitazioni di altra natura, come quelle generate dalla forza del sisma o quelle dovute al vento, per le quali potrebbe provocarsi un distacco della copertura, sia essa capriata o solaio.
È prevedibile che il peso del tetto andrà a comprimere le balle, e quanto più sarà elevato tanto più saranno compresse le balle. Ne deriva che è necessario analizzare il livello di compressione delle balle, per tenere conto del posizionamento di porte e finestre, poiché queste creano una ripartizione delle sollecitazioni disomogenea, determinando nella parete zone a maggiore e minore compressione. Pertanto, il principale limite di questa tecnologia è la riduzione di aperture sulle facciate.
Oggi, quindi, i muri portanti in balle di paglia sono utilizzati per la realizzazione di edifici dalle geometrie molto semplici e lineari, al di sotto dei 120 mq, con poche finestre e, preferibilmente, con piccole aperture.
Tuttavia, la storia mostra che, in passato, con la tecnica del muro portante a secco sono stati costruiti edifici con cubature molto più grandi che raggiungono anche i 270-300 mq. Questa soluzione, originaria dell'America, che eredita la denominazione dallo stato del Nebraska in cui ha trovato la sua prima applicazione, presenta pareti con balle di paglia che sostengono direttamente il peso del tetto e costituiscono, quindi, l'elemento portante nel muro. Una delle prime realizzazioni che materializza questa modalità costruttiva è la "Simonton House", edificio residenziale che risale al 1908 e risulta essere ancora oggi abitato, come altri analoghi costruiti in quell'epoca (Fig.4).
La seconda tipologia per la realizzazione di muri portanti con l'utilizzo delle balle di paglia si avvale della tecnologia in umido.
In maniera simile alla soluzione precedente, si prevede che le balle vengano impilate allineandone i giunti in verticale, oppure, in alternativa, a giunti sfalsati tra filari sovrapposti, a imitazione del sistema di connessione tipico di un tradizionale muro in pietra o in mattoni. La differenzia sostanziale con la prima soluzione tipologica sta nel fatto che le balle sono rivestite su ciascuna faccia da uno strato di malta che funge da collante per l'ancoraggio con

le successive, sia dello stesso filare che di quelli superiori o inferiori. Si prevede, quindi, che ogni balla sia come isolata in una cellula, circondata cioè da malta su tutti i lati ricadenti all'interno, e inoltre rifinita poi su entrambe le facce, esterna e interna, con uno strato di intonaco della stessa natura della malta di fissaggio. È riconoscibile in questa interazione il ruolo della malta che dà struttura e forza al muro, mentre quello delle balle di paglia è di costituire il riempimento e contribuire all'isolamento. Solitamente la malta è fatta con parti di cemento e di calce, uniti alla sabbia, e può essere rinforzata con fibre di paglia sfuse che creano una sorta di macro-armatura all'interno del composto. L'impiego del cemento, di supporto alla calce, è mirato al conferimento di maggior stabilità alla miscela e all'intera muratura. L'affinità con la posa in opera dei mattoni in terra cruda è evidente, in quanto la malta che lega i singoli conci è la stessa che si impiega anche per il rivestimento e la sua funzione è quella di migliorare l'assemblaggio delle parti. Anche l'azione di fibrorinforzo della malta con la paglia è legata alla tradizione delle tecniche costruttive che ha sempre guardato all'impiego di questa fibra (Fig.5).
La messa in opera prevede che la facciata sia composta partendo dal basso verso l'alto e, a muro completato, nell'ultimo strato di malta, ancora fresco, venga sovrapposto un cordolo di legno con chiodi già fissati. In tal modo non è necessaria alcuna predisposizione per l'installazione del tetto, poiché quest'ultimo è direttamente fissato al cordolo che conclude superiormente il muro di balle di paglia. Questa tecnica, rispetto al muro portante a secco, consente una maggiore flessibilità progettuale. È possibile realizzare manufatti di dimensioni maggiori, con aperture più grandi e con tetti più pesanti, essendo questa tipologia di muro intrinsecamente più capace di assorbire carichi maggiori. Inoltre, si delinea la possibilità di poter intervenire facilmente sulle parti per future modifiche o ampliamenti.
La maggiore flessibilità è sicuramente un punto a favore rispetto alla soluzione precedente. L'intrinseca modularità connessa alle dimensioni della singola balla di paglia rende questa particolare soluzione strutturale ancor più interessante. Infatti, la singola balla di paglia si configura come materia prima seconda che esiste nell'ambiente in un certo modo e naturalmente preformata con certe dimensioni, ma l'ordine le deriva dalla disposizione delle parti che interagiscono tra loro e dalla forma del muro che va a comporre. La modularità si trasmette all'intero volume materializzato da questa soluzione e analogamente riesce a strutturare anche ogni volume aggiunto che va ad integrarsi al precedente.
In effetti, il concetto di ordine, nella sua accezione di principio che organizza fisicamente la materia, lascia convergere ordine costruttivo e ordine strutturale, l'uno partecipe dell'oggetto architettonico, l'altro più direttamente orientato alla statica. Il meccanismo elementare e ordinato tra i singoli moduli di paglia che presiede all'ordine dell'apparecchiatura muraria agevola il paragone con il concatenamento a blocco o di testa del muro in laterizi, per cui ogni balla si configura come un gigantesco mattone alleggerito, quasi una sorta di termoblocco naturale. Infatti, le balle posso essere impilate sul fianco o di taglio, e cioè con il lato lungo ortogonale al piano di campagna, il che comporta l'ulteriore risparmio in termini di ingombro di spazio.

4. Tipologie di tamponamento

La tipologia di tamponatura a secco si associa generalmente alla struttura portante intelaiata in legno, tra le cui maglie sono inserite le balle di paglia. Questa soluzione, che è quella più diffusa, materializza numerosi esempi che appaiono in tutto il mondo. Soltanto in Italia, ad oggi, si contano più di cento edifici. Ciò perché il legno è una risorsa naturale, sostenibile, riciclabile e rinnovabile mediante coltivazione. Inoltre, le strutture in legno sono funzionali e danno possibilità di modellazione che possono dirsi quasi infinite, consentendo di elaborare volumi tanto semplici quanto complessi, senza incidere negativamente sui tempi di realizzazione del manufatto. E non può dirsi certo ininfluente anche la straordinaria natura estetica che lo caratterizza. La sinergia che va a strutturare con la paglia è eccezionale anche per il connubio tra due materiali naturali. Altro valore aggiunto è una certa velocità, tipica delle soluzioni prefabbricate e delle tecnologie a secco per cui, attraverso operazioni di montaggio meccanico, diminuiscono sempre più i tempi di esecuzione e, di riflesso, anche i costi di realizzazione degli edifici stessi. La tecnologia moderna, però, ha sviluppato altri modelli, che si avvalgono anche di strutture portanti in acciaio, e piuttosto raramente in calcestruzzo, con infill di balle di paglia.
Il ruolo dei moduli di paglia nelle intelaiature in legno è quello di riempimento, che la leggerezza di questo materiale riesce a ottimizzare, cui si aggiunge quello di isolamento termico, che è una delle caratteristiche principali. Il problema dell'innesto tra balla e struttura portante è innanzitutto connesso al differente spessore di entrambi che tende a creare disomogeneità tra pilastri in legno e balle, il cui lato minore non è mai inferiore ai 35 cm. Uno dei modi più semplici è quello di uniformare le dimensioni delle due parti e disporre le aste verticali e orizzontali portanti in aderenza i moduli di paglia, in modo tale restino affiancati. Ma, in alternativa, i pilastri possono essere "immersi" nella tamponatura, tramite una lavorazione di ritaglio e di rilegatura della balla stessa. Si tratta di un'operazione che appare subito non tanto più difficile, ma di certo più laboriosa, poiché bisogna tagliare le balle di paglia in prossimità dei pilasti e dei vani di apertura. In questo modo il pilastro rimane inglobato nella sequenza di balle, che, ottenendo una continuità nel piano della facciata, consente alla struttura guadagni in termini di compattezza e di rigidezza. Questa disomogeneità che si viene a creare in prossimità dei pilasti non riguarda solo la sua prima fase di esecuzione, ma incide anche sulle successive fasi di lavorazione e di finitura. Infatti, è leggibile nell'intonaco in corrispondenza del passaggio tra superficie in paglia a superficie in legno. Proprio per questo, il più delle volte la faccia estera del muro è intonacata fino all'attacco con il pilastro, che è lasciato in vista, privo di intonaco. Questa soluzione fu elaborata in principio dall'architetto Bill Cock, che decise di inserire il pilastro d'angolo a metà circa rispetto allo spessore delle balle e di lasciarlo a vista. Il pilastro in legno ha dimensioni 15x15 cm e la balla, posizionata di "piatto", è tagliata sul bordo esterno, sottraendo un'area quadrata di 30x30 cm circa (Fig.6).

Non si generano problemi di disomogeneità nel caso del tamponamento con intelaiatura in legno, poiché le balle di paglia sono perfettamente allineate alla struttura essendo di uguale spessore. Si viene a creare una sorta di "armadio", in cui inserire le balle seguendo un'unica verticale di allineamento (Figg.7, 8).
Questa soluzione prevede una intelaiatura principale, in travi e pilastri, in cui è inserito un ulteriore telaio, in corrispondenza di porte e finestre, caratterizzato da colonne di forma scatolare, sempre della stessa larghezza delle balle. Ovviamente un'orditura di questo tipo, fatta di un'intelaiatura principale ed un'altra secondaria, conferisce ancora più stabilità all'intera costruzione e si conclude superiormente con un cordolo piuttosto robusto rispetto al resto della struttura.
Una prima variante di questa soluzione è quella di utilizzare una struttura prefabbricata, con tutti i vantaggi in termini di tempo e costi, che va ordinata secondo moduli in relazione alle dimensioni degli elementi di riempimento. Infatti, è necessario precomprimere le balle affinché possano riempire tutto lo spazio della struttura prefabbricata, in modo da non lasciare parti vuote. Quest'operazione di precompressione, resa possibile proprio grazie all'elevata duttilità e flessibilità del materiale, conferisce all'intera parete maggiori caratteristiche di resistenza.
Una seconda variante prevede una doppia intelaiatura con montanti in legno di sezione molto ridotta, con maglie di dimensioni modulari al cui interno sono collocate le balle di paglia, secondo lo schema prima detto. Di origine francese, viene spesso identificata attraverso la denominazione GREB (Fig.9).
La seconda tipologia di tamponatura con tecnologia in umido si avvale della cosiddetta terra di paglia, conglomerato che affida l'azione di coesione alla capacità dell'argilla di legare a freddo e quella di armatura alle fibre di paglia.
Questa tecnologia presiede alla realizzazione delle costruzioni più antiche al mondo, anche se si ritiene abbia origine nel XII secolo, soprattutto considerando la grande diffusione nell'Africa settentrionale e centrale e in Oriente, dove numerose sono le applicazioni, che tuttora appartengono alla tradizione del costruire. Oggi lo studio e la sperimentazione di queste miscele è oggetto di attenzione in maniera sistematica, per la sostenibilità e la riciclabilità che contraddistingue la filiera a crudo di tutte le tecnologie in terra e, più in generale, in quanto in linea con i principi di riscoperta dei materiali bio e naturali. A tutt'oggi, nonostante le buone proprietà, lo scetticismo verso questi tipi di conglomerati è ancora considerevole.
Questa tipologia di tamponatura rende possibile, mediante miscele a base di paglia sfusa e argilla, la realizzazione di apparecchi murari gettati in opera, che possono essere spessi fino a 60 cm. La riproponibilità di questa soluzione costruttiva richiede, come nelle tradizionali architetture africane di maggior pregio dal punto di vista costruttivo, una struttura portante in legno. Nei casi di maggior dosaggio dei filamenti di paglia, la tecnica prende il nome di "terra-paglia alleggerita".
Tradizionalmente la miscela semifluida era lavorata a mano, e successivamente inserita all'interno di casseforme in legno dove era poi opportunamente pressata. Attualmente, invece, la miscela viene preparata introducendo in un recipiente gli steli di paglia di lunghezze comprese tra i 35 cm e i 40 cm e mescolandoli all'argilla. In seguito, la paglia è lavorata con dei rastrelli o attrezzi simili, finché è totalmente avvolta di argilla. La miscela potrà dirsi completata nel momento in cui ogni stelo è divenuto di un colore rosso simile a quello dell'argilla. Un minimo di industrializzazione si legge in questa fase di preparazione, dopodiché per garantire migliori prestazioni, il composto deve riposare per dodici ore e poi può considerarsi pronto all'uso. Dalla descrizione, è immediata la constatazione della semplicità di questa tecnologia che richiede, infatti, abilità minime, personale non specializzato, e attrezzature elementari. Non è necessaria neppure l'imballatrice proprio perché la paglia è inserita sfusa all'interno del composto. Alcuni dei vantaggi principali di questo tipo di tamponamento si devono alla combinazione straordinariamente traspirante che la miscela paglia-argilla crea, fino a conferire al muro singolari prestazioni, quali una rilevante massa termica, un altissimo potere isolante e un'azione di accumulo e rilascio dell'umidità, che migliorano il comfort ambientale. Altro aspetto considerevole è, inoltre, che i muri in terra di paglia hanno superato le più stringenti normative antincendio europee, in quanto l'argilla attiva una reazione chimica, grazie alla quale si crea una patina di silice sugli steli di paglia che funziona come rivestimento antincendio. Ne consegue che il fuoco cuoce l'argilla impedendo alla paglia di ricevere altro ossigeno.
I limiti della cosiddetta "terra di paglia" sono imposti dai lunghi tempi di essiccazione richiesti per la maturazione del conglomerato, che, specialmente dove i climi risultano essere molto umidi e freddi tendono a diventare insostenibili. In questi contesti, infatti, l'essiccazione può raggiungere o addirittura superare l'anno solare e rallentare oltre misura l'inizio delle operazioni di finitura.

5. Prototipi di realizzazioni in Italia

L'interazione fra tamponatura in paglia e struttura in legno trova applicazione in Italia per la prima volta in un edificio, che prende il nome di "Boa", realizzato a Pramaggiore (Venezia) dall'architetto Stefano Soldati. Si tratta di una costruzione con una superficie di 320 mq circa, distribuiti su due livelli, caratterizzata da struttura portante in legno e tamponamento in balle di paglia a secco, su fondazioni in cemento armato. Per la realizzazione delle chiusure perimetrali è stata predisposta una doppia intelaiatura in legno, una portante ed un'altra con funzione di guida per l'inserimento delle balle, posate di piatto e impilate in verticale (Fig.10). Altra applicazione italiana molto interessante, emblematico esempio anche di autocostruzione, è il progetto E.V.A., Eco Villaggio Autocostruito. Realizzato durante la ricostruzione che ha fatto seguito al terremoto de L'Aquila del 9 aprile 2009, ad opera del gruppo B.A.G. (Beyond Architecture Group), ha contribuito a dare nuova dimora ai cittadini di Pescomaggiore. L'area di 1150 mq che ospita il complesso residenziale è stata messa a disposizione gratuitamente. Le costruzioni sono caratterizzate da un basamento in calcestruzzo armato, al di sopra del quale si eleva la struttura portante in legno, che funge non soltanto da fondazione a platea, ma costituisce anche una soluzione in difesa dall'umidità del terreno per la fila inferiore di balle che può essere danneggiata (Figg.11, 12).

Altro esempio di edilizia sostenibile ad alte prestazioni è rappresentato dal complesso di villette a schiera a Fano nelle Marche, opera dello studio di progettazione Archêtica. Tre villette a schiera, indipendenti su due livelli, di circa 120 mq ciascuna, sono state realizzate con struttura portante in legno, il cui montaggio a secco ha velocizzando i tempi di realizzazione (Figg.13, 14).
Alla paglia è affidato sia la funzione di tamponatura che di isolamento termico-acustico. Le finiture hanno previsto intonaco in argilla internamente e a base di calce esternamente. Costituiscono un emblematico prototipo di abitazione di qualità a basso impatto ambientale ed economicamente sostenibile, e inoltre l'obiettivo della sostenibilità ha perseguito anche vantaggi economici al confronto con costruzioni convenzionali. Infatti, le balle di paglia, materia prima, sono state fornite da un commerciante del paese e sono quindi a km zero.
Ma non è solo il legno a materializzare la struttura intelaiata per le balle. Anche il calcestruzzo si ritaglia un suo posto. A tal proposito valga l'esempio della biblioteca comunale sita nel comune di Rosignano Marittimo (LI), edificio caratterizzato da una struttura portante in calcestruzzo armato, mentre il tamponamento è interamente realizzato con balle di paglia pressate. Sulla superfice interna è stato posato un intonaco a base di argilla ed esternamente un intonaco a base di calce, a supporto di un rivestimento in scandole di legno (Fig.15).
Altro esempio che predilige il telaio in calcestruzzo, sia pur ben lontano dal nostro paese, è l'attuale segreteria della SBCA (Straw Bale Construction Association) in America, progettata dall'architetto Beverley Spears. La struttura della casa è costituita da balle di paglia di tamponamento con struttura intelaiata in calcestruzzo gettato in blocchi di cemento di 40 cm circa. Per intonaco interno è stato utilizzato una miscela di gesso e fibra ricoperta con uno strato di finitura di terra micacea che conferisce suggestivi effetti di luccichio.

6. Efficientamenti energetici

Contemporaneamente al campo delle nuove costruzioni, per le quali si matura un interesse sempre maggiore, si sperimenta l'impiego della paglia anche nelle strutture esistenti. In Italia, da qualche anno, diversi progettisti si cimentano nella ristrutturazione e nella riqualificazione di vecchi edifici con efficientamenti energetici fondati sull'utilizzo di materiali bio e naturali. Le varie tipologie di intervento si basano sulla realizzazione di una controfodera continua in balle di paglia, posta preferibilmente all'esterno della chiusura preesistente, che, per la capacità di isolamento termico del materiale, migliora il comportamento termico, perseguendo l'obiettivo congiunto del comfort e del risparmio energetico. Questa soluzione è applicabile nei casi di strutture in cemento, in acciaio, in mattoni e anche in legno. La posa a secco è certamente un valore aggiunto che, peraltro, caratterizza anche le applicazioni con altri materiali isolanti.
Nello specifico, nel primo caso, il cappotto termico posto all'esterno ottimizza il comportamento, riducendo non soltanto le dispersioni ma anche i ponti termici localizzati in corrispondenza degli elementi strutturali verticali e orizzontali. È necessario creare delle fondazioni portatompagno per la controparete in balle di paglia, da collegare opportunamente alla struttura preesistente, che hanno anche la funzione di protezione del primo filare di balle dal contatto con il terreno, evitando di pregiudicarne l'efficacia prestazionale. Nel secondo caso, quello del cosiddetto cappotto interno, la controparete in paglia va inserita all'interno degli ambienti, e, pur non risolvendo i problemi dei ponti termici, contribuisce a migliorare i livelli di isolamento e di protezione al sisma. Nel ripristino degli edifici esistenti, però, la balla di paglia, avendo uno spessore notevole, porta con sé il "difetto" di limitare determinate applicazioni.
Dunque, nei contesti in cui sia possibile intervenire all'esterno del perimetro degli edifici, la paglia è sicuramente un materiale da prediligere rispetto ad altri. Oggi, però, esistono imballatrici che consentono di confezionare le balle con geometrie molto più piccole rispetto a quelle convenzionali, in modo da risolvere il tipico inconveniente del cappotto interno che determina una sensibile riduzione della superficie utile.
A titolo esplicativo si riportano, quindi, le applicazioni più significative nel campo del recupero edilizio con l'utilizzo di tale materiale. Il primo intervento realizzato in Italia è stato condotto dall'architetto Alessandro Fassi nel 2009 a Cinzano, in provincia di Torino, che ha preferito la paglia per realizzare un cappotto esterno, un isolamento nella copertura e del solaio contro terra. Questa scelta tecnica non solo abbassa notevolmente i costi di fornitura del materiale e di realizzazione dell'intervento, ma in più garantisce ottime prestazioni, senza allontanarsi dall'approccio sostenibile. All'esterno, nello strato isolante in balle di paglia sono infissi dei tondini di acciaio, perfettamente paralleli alla muratura preesistente, che stabilizzano i corsi successivi. Alla base viene installata una fondazione/basamento in legno di 15 cm di altezza circa, che assicura la necessaria protezione. L'intervento si completa con un intonaco naturale, che ben si abbina alla paglia e permette al muro stesso di mantenere un alto grado di traspirabilità (Fig.16).
Spostandoci nel contesto europeo, gli esempi di recupero edilizio sostenibile si fanno più numerosi.
È il caso di citare l'esempio dell'architetto austriaco Georg Bechtel, che, per migliorare le prestazioni energetiche di un edificio preesistente ha proposto di effettuare un cappotto esterno costituito da balle di paglia. L'innovazione sta nel fatto di aver progettato ad hoc una struttura intelaiata in legno, in cui sono state inserite le balle di paglia come in un "armadio". In tal modo è stata aggiunta una vera e propria fodera esterna al muro perimetrale, che, in origine, aveva uno spessore di circa 35 cm e che, dopo l'inserimento della paglia di 45 cm, ha raggiunto uno spessore di più di 80 cm. Interessante lo studio dei telai delle finestre e delle porte che, conseguentemente all'aumento della sezione del muro, sono stati rastremati verso l'esterno per garantire la penetrazione della radiazione solare, a vantaggio del riscaldamento naturale e di un buon livello di illuminazione. In aggiunta, per proteggere la paglia dagli agenti atmosferici e dagli attacchi degli animali, sono state scelte delle scandole di legno, fissate mediante chiodi direttamente alle balle di paglia. Per le superfici intonacate, invece, si è adottata una rete porta-intonaco per irrigidire il rivestimento e garantirne la continuità e la stabilità (Figg.17, 18).

7. Un futuro sostenibile

L'innovazione della paglia saprà raccontare domani i luoghi del costruire sostenibile, in quanto sa rileggere la lezione di un passato senza tempo e l'esperienza della tradizione, e sa anche guardare avanti.
Come?
Ma il come è di dominio della tecnica, che, sensibile al fascino del nuovo, riesce ad attingere alla contemporaneità con la capacità di inglobare in forma attiva anche il passato. Perché la tecnica, come dice Gregotti, deve porsi "come terreno che ci sorregge, non davanti agli occhi come meta".[1]
Le soluzioni costruttive analizzate per le murature portanti e le tamponature interpretano questo spirito e tendono a dimostrare come il costruire sostenibile non sia una filosofia di incerti programmi, tantomeno un insieme di possibilità di azione, piuttosto una pratica perseguita da pochi coraggiosi, ma non incauti.
Nella valutazione dell'intero ciclo di vita dell'edificio ci sono diversi fattori da considerare per la scelta dei materiali e delle relative tecniche, quali i costi di pre-produzione, produzione, uso, riciclo o dismissione. Questi, rapportati alla paglia, evidenziano diversi vantaggi che tenderebbero a far prediligere questo materiale rispetto ad altri. Infatti, si nota che i costi di produzione del materiale sono inesistenti, in quanto può essere immesso sul mercato senza particolari lavorazioni e trattamenti, risparmiando, quindi, l'ambiente da processi impattanti. Inoltre, per quanto attiene alla distribuzione, si tratta di un materia prima seconda largamente disponibile nel nostro paese, e, in quanto materiale del luogo, è sostanzialmente a chilometro zero, col vantaggio di non incidere neanche sui costi di trasporto dal luogo di stoccaggio al cantiere. Per quanto attiene all'uso e alla manutenzione, invece, può paragonarsi ad un edificio tradizionale dotato però di più alti livelli di isolamento termico e acustico. In più, la paglia, pur nascendo come materiale di riciclo, è riutilizzabile molteplici volte. Pertanto, una volta dismesso l'edificio, è possibile rimuovere le balle di paglia e riciclarle tanto per il riutilizzo in altre costruzioni, quanto per altre applicazioni come, ad esempio, l'utilizzo della biomassa della paglia per la produzione di energia elettrica. L'uso della paglia appartiene alla storia e alla terra, da cui trae origine. È in questo appartenere ai luoghi che si fondano le ragioni per una riproposizione, che recupera un passato intrinsecamente sostenibile e ne fa il suo elemento trainante. Sostenibilità e appropriatezza, dunque, convergono in una congiunzione di passato e futuro che rigenera e attualizza significati culturali e identitari. E se oggi, case in paglia è sinonimo di case sostenibili, le soluzioni tecnologiche che l'attenzione e la sperimentazione rendono disponibili materializzando la riproposizione di questo materiale, promettono molte potenzialità al costruire sostenibile. Oggi, "la paglia sembra leggera e fragile; la maggior parte della gente non sa quanto pesante essa sia. Se la gente conoscesse il vero valore della paglia, si potrebbe verificare una rivoluzione che diventerebbe abbastanza potente da cambiare il mondo".[2]

References - Bibliografia

[1] Jones B. (2014) Costruire con le Balle di Paglia, Manuale pratico per la progettazione e la costruzione. Terra Nuova Ed. Firenze
[2] Rogora A., Lo Bartolo D. (2013) Costruire Alternativo. Materiali e Tecniche alternative per un'architettura sostenibile. Wolters Kluwer Italia, Milano
[3] Swentzell Steen A., Steen B., Baindbridge D., Eisenberg D. (2013) Le Case in Paglia. Arianna Ed., Bologna
[4] Lacinski P., Bergeron M. (2013) Serious Straw Bale: A Home Construction Guide for All Climates. Chelsea Green Pub, Vermont
[5] Norberg-Schulz C. (2005) Genius Loci. Paesaggio Ambiente Architettura. Electa, Milano
[6] Magwood C., Mack P. (2003) Straw Bale Details: a manual for designers and builders. New Society Publishers, Canada
[7] Gregotti V. (2002) Architettura, tecnica, finalità. Laterza, Bari-Roma
[8] Magwood C. Mack P. (2000) Straw Bale Building: How to Plan, Design and Build with Straw. New Society Pub, Canada
[9] Zevi B. (1995) Paesaggi e città. Newton, Roma
[10] Rudofsky B. (1979) Le meraviglie dell'architettura spontanea. Laterza, Bari
[11] Guidoni E. (1979) Architettura primitiva. Electa, Milano
[12] Norberg-Schultz C. (1975) Esistenza, Spazio, Architettura. Officina, Roma
[13] Rudofsky B. (1977) Architettura senza architetti. Editoriale Scientifica, Napoli
[14] Rossi P. a cura di (1970) Il concetto di cultura. I fondamenti teorici della scienza antropologica. Einaudi, Torino
[15] Guidoni E. (1968) Etnologiche culture. In Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica, Vol. III, Ist. Ed. Romano, Roma
[16] Zevi B. (1960) Architettura in nuce. Istituto per la collaborazione culturale, Venezia-Roma
[17] Loos A. (1999) Parole nel vuoto. Adelphi, Milano
[18] Pane R. (1936) Architettura rurale campana. Rinascimento del libro, Firenze

Sitography/Sitografia

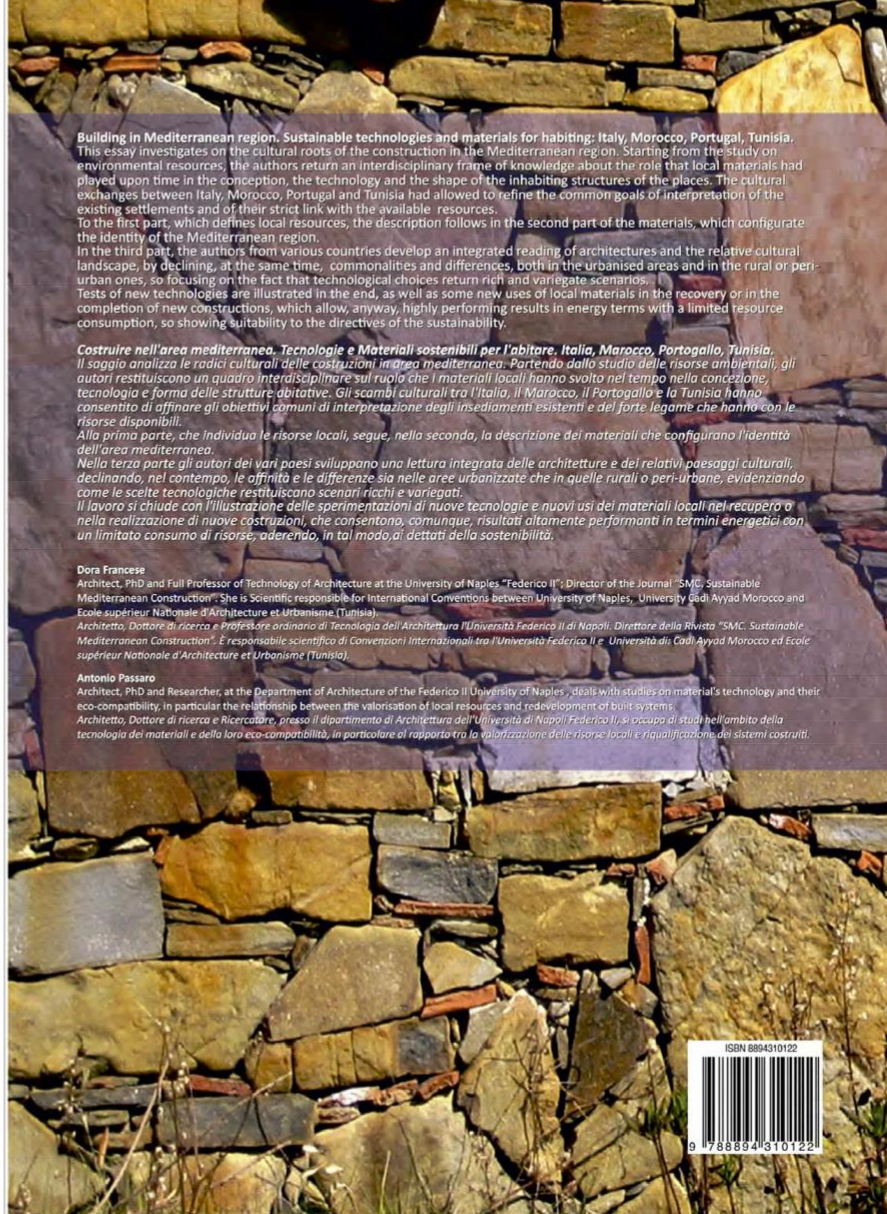
[19] www.architetturaecosostenibile.it
[20] www.bagstudio.org
[21] www.bioarchitettura.it
[22] www.caseinpaglia.it
[23] www.edilpaglia.it
[24] www.laboa.org

[25] www.la-maison-en-paille.com
[26] www.lifegate.it
[27] www.pantarei-cea.it
[28] www.strawbalebuildingassociation.org
[29] www.strawhomes.com
[30] www.terranuova.it

Illustration sources– Fonti delle illustrazioni

Fig. 1 from http://tg24.sky.it/cronaca/2011/04/06/l_aquila_pescomaggiore_ecovillaggio.html
Figg. 2, 5 from Swentzell Steen A., Steen B., Baindbridge D., Eisenberg D. (2013) Le Case in Paglia. Arianna Ed., Bologna
Figg. 4, 16, 17, 18 from www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/paglia
Fig. 10 from http://www.terranuova.it/var/terranuova/storage/images/convegni-e-conferenze/case-in-balle-di-paglia/572390-1-ita-IT/Case-in-balle-di-paglia_articleimage.jpg
Fig. 11 from https://www.marraiafura.com/eva-eco-villaggio-autocostruito-progettazione-e-costruzione-partecipata-a-pescomaggiore-aq/
Fig. 12 from https://divisare.com/projects/255185-paolo-robazza-eva-eco-villaggio-autocostruito
Fig. 13 from https://www.caseinpaglia.it/
Fig. 14 from https://www.pinterest.se/pin/307511480781222253/
Fig. 15 from http://www.archilovers.com/projects/5595/gallery?1220832

[1] Vittorio Gregotti, in Saper credere in architettura. Cinquanta domande a Vittorio Gregotti, a cura di Antonello Marotta, Clean, Napoli, 2002, p. 65.
[2] Masanobu Fukuoka in La rivoluzione del filo di paglia, in Swentzell Steen A., Steen B., Baindbridge D., Eisenberg D. (2013) Le Case in Paglia. Arianna Ed., Bologna, p.5.



Building in Mediterranean region. Sustainable technologies and materials for habiting: Italy, Morocco, Portugal, Tunisia.
This essay investigates on the cultural roots of the construction in the Mediterranean region. Starting from the study on environmental resources, the authors return an interdisciplinary frame of knowledge about the role that local materials had played upon time in the conception, the technology and the shape of the inhabiting structures of the places. The cultural exchanges between Italy, Morocco, Portugal and Tunisia had allowed to refine the common goals of interpretation of the existing settlements and of their strict link with the available resources.
To the first part, which defines local resources, the description follows in the second part of the materials, which configurate the identity of the Mediterranean region.
In the third part, the authors from various countries develop an integrated reading of architectures and the relative cultural landscape, by declining, at the same time, commonalities and differences, both in the urbanised areas and in the rural or peri-urban ones, so focusing on the fact that technological choices return rich and variegate scenarios.
Tests of new technologies are illustrated in the end, as well as some new uses of local materials in the recovery or in the completion of new constructions, which allow, anyway, highly performing results in energy terms with a limited resource consumption, so showing suitability to the directives of the sustainability.

Costruire nell'area mediterranea. Tecnologie e Materiali sostenibili per l'abitare. Italia, Marocco, Portogallo, Tunisia.
Il saggio analizza le radici culturali delle costruzioni in area mediterranea. Partendo dallo studio delle risorse ambientali, gli autori restituiscono un quadro interdisciplinare sul ruolo che i materiali locali hanno svolto nel tempo nella concezione, tecnologia e forma delle strutture abitative. Gli scambi culturali tra l'Italia, il Marocco, il Portogallo e la Tunisia hanno consentito di affinare gli obiettivi comuni di interpretazione degli insediamenti esistenti e del forte legame che hanno con le risorse disponibili.
Alla prima parte, che individua le risorse locali, segue, nella seconda, la descrizione dei materiali che configurano l'identità dell'area mediterranea.
Nella terza parte gli autori dei vari paesi sviluppano una lettura integrata delle architetture e dei relativi paesaggi culturali, declinando, nel contempo, le affinità e le differenze sia nelle aree urbanizzate che in quelle rurali o peri-urbane, evidenziando come le scelte tecnologiche restituiscano scenari ricchi e variegati.
Il lavoro si chiude con l'illustrazione delle sperimentazioni di nuove tecnologie e nuovi usi dei materiali locali nel recupero o nella realizzazione di nuove costruzioni, che consentono, comunque, risultati altamente performanti in termini energetici con un limitato consumo di risorse, aderendo, in tal modo,ai dettati della sostenibilità.

Dora Francese
Architect, PhD and Full Professor of Technology of Architecture at the University of Naples "Federico II"; Director of the Journal "SMC. Sustainable Mediterranean Construction". She is Scientific responsible for International Conventions between University of Naples, University Cadi Ayyad Morocco and Ecole supérieur Nationale d'Architecture et Urbanisme (Tunisia).
Architetto, Dottore di ricerca e Professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura l'Università Federico II di Napoli. Direttore della Rivista "SMC. Sustainable Mediterranean Construction". È responsabile scientifico di Convenzioni Internazionali tra l'Università Federico II e Università di: Cadi Ayyad Morocco ed Ecole supérieur Nationale d'Architecture et Urbanisme (Tunisia).

Antonio Passaro
Architect, PhD and Researcher, at the Department of Architecture of the Federico II University of Naples , deals with studies on material's technology and their eco-compatibility, in particular the relationship between the valorisation of local resources and redevelopment of built systems.
Architetto, Dottore di ricerca e Ricercatore, presso il dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II, si occupa di studi nell'ambito della tecnologia dei materiali e della loro eco-compatibilità, in particolare al rapporto tra la valorizzazione delle risorse locali e riqualificazione dei sistemi costruiti.

ISBN 8894310122
9 788894 310122