

ENVIRONMENT ASSESSMENT OF PRODUCTS IN RAW EARTH

Patrizia Milano

1. Raw earth in the life cycle

Raw earth is a low-energy, renewable, easily disposable, local, zero kilometer, the raw earth is a material almost unlimited and does not become waste at the end of life.

The sustainable yield of E. Daly teaches that “the speed of withdrawal of the resources must be equal to the speed of regeneration” then with the absorption capacity sustains that “the rate of waste production must be equal to the natural absorption capacity of the ecosystems in which the waste is placed”. Raw earth does not pose any problem in all these aspects.

In its various techniques of implementation is a material with a closed cycle of life, controlled throughout the construction process, fully recoverable and recyclable. The specific level of embodied energy is extremely low. Then, operators involved on the site do not incur any risk or impact. No processing or special waste is produced.

Now we know that 50% of consumed raw materials are used to build and heat our buildings, and not insignificant is the amount of inert waste products¹. But still we analyze what are the environmental costs and gross consumption of materials during the extraction, the processing, the production of goods and building components. And which toxic emission develop during these stages; which materials are discarded to produce a kilogram of aluminium, a kilogram of copper or a kilogram of any other metal. Instead when we go to dig 1 cubic meter of earth, we use all this².

Not only, we use a material that is beneath our feet, at zero kilometres, immediately available around the site or a few kilometres away. This is a material resource that collects in it the most common parameters of sustainability. It is totally environmentally friendly, uses little energy during the extraction and the processing, it is put in place and has no toxic emission, and it's totally recyclable to dispose.

Raw earth is, then, a natural material, renewable in additional production cycles. But to declare the degree of environmental sustainability it's necessary to measure the level. Frequently materials are defined sustainable when they are considered naturals like wood because it is considered a renewable resource, regardless of the chemical treatments used to glue the fibers or regardless of the surface finishing processes implemented with synthetic materials. Or materials such as glass or aluminium because recycled or recyclable. Sometimes you forget that the ecology of one or more requirements is not the only condition to declare the

sustainability of the material. A material is sustainable if it is at every stage of the cycle. Requires that the environmental damage has occurred in every phase of the construction process, from sourcing of resources matter until the end of life. Only in this way is truly tangible if a material such as natural raw earth, is more or less sustainable than a renewable material such as wood, or recycled materials, like steel, glass, cardboard, and other.

Often happens that transport for the supply of primary resources are significant. The resources can not come from local context, and this aspect weighs predominantly on the overall environmental profile of the enormous distances in kilometres travelled. The wood is an obvious example, especially in those organizations which do not have a resource forest or a heritage certificate, so they must to find it elsewhere. For the raw earth material that does not happen, the resource can be found locally near the site or in a neighboring site, can also be extracted from the ground bulk excavation or land derived from excavation of foundations.

We often do not realize the movement that the

2. Verification of environmental sustainability with LCA Methodology

Environmental sustainability must be verified at every stage of life cycle³. In this regard shall be the method LCA (Life Cycle Assessment – UNI EN ISO 14040). With this Methodology Tips we analyze, by means of indicators, the environmental load components, construction techniques and systems in manufacturing raw earth in every phase of the life cycle⁴. To restore a balance of the damage produced.

Products and construction techniques in raw earth evaluated in the life cycle

Products and building techniques in raw earth evaluated with LCA method are:

- Products and **traditional** construction techniques: these are the benchmarks of sustainability.
- Products and construction techniques in the **implementation of tradition**: they realize the attempt to actualize the tradition, combining tradition and industrial production.

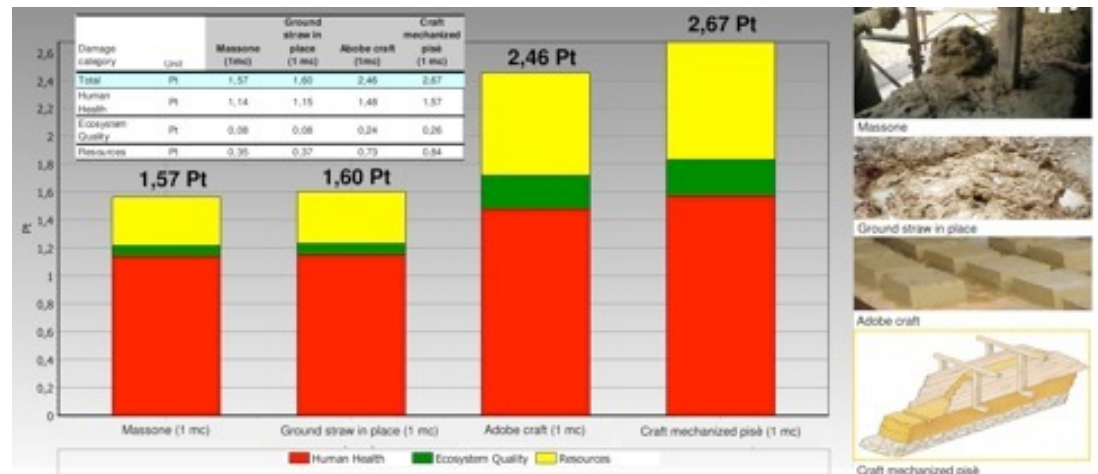


Fig. 1 - The traditional production of raw earth. Assessment LCA.

materials undergo before arriving on the manufacturing site. Market globalization has amplified even further this aspect. This displacements beyond the boundaries of the nation, the bigger markets have reduced the balance of local sourcing and use of resources in the same context. Raw earth is outside instead of these aspects. It closes in a circle all the cyclical phases of the construction process. If not stabilized the land is not waste, it can generate new productive cycles or it is compostable to return to mud or arable land.

Regarding the first point, namely the *traditional production*, with the LCA (functional unit 1 mc) are analyzed:

- the construction technique of massone⁵
- the earth straw technique
- the construction technique of handicraft adobe
- the construction technique of the handicraft mechanized pisè

From this LCA analysis is evident that of the four techniques tested that with less environmental damage is the technique of construction of massone. All, in any case, are environmentally friendly, so much so that we can consider them for comparison of the maximum sustainable. For the massone construction technique you have an eco-score of 1.57 Pt. Follows an eco-score of 1.60 Pt for the construction of the earth straw technique; 2,46 Pt for the construction technique and of handicraft adobe and 2,67 Pt for the mechanized pisè.

Environmental profiles show that the damage indicator "human health" is more interested. Affect this result, and this unites the outcome of the four building techniques, not so much the steps of pre-production and production, nor of installation, but the end of life phase because of the machinery used in the operation of dismantling, for the powders and for the pollutants emitted by machinery during the same work.

It is detected in the second round, the damage indicator "resources" also has a visible result. This, once again for the end of life phase, again for the demolition operation of the technical element but due to the consumption of the fuel used by the machinery employed in the intervention.

Regard, however, the actualization of production, with the LCA (functional unit 1 mc) are examined:

- Prefabricated earth straw
- Industrialized adobe
- Prefabricated pisè

The chart above shows the results of this second analysis. Eco-scores are a little higher. These are products that come from an implemented chain within a manufacturing facility when it comes to crude bricks (industrial "adobe"). The manufacture achieved with the aid of machinery requires a higher consumption of energy resources and pours a higher amount of emissions into the environment. Components in raw earth, even if made with advanced systems, not being subjected to the process of cooking, as with the brick obtained from the irreversible transformation of the clay in blast furnace, show eco-basically low scores, and sustainable environmental balance.

As for the construction techniques of the tradition, also in this case the budget shows that a good portion of damage is attributed to the machinery used in the operation of dismantling, most relevant with respect to the operations of the same recycling (crushing, and processing of the material). But whatever the setting is, once completed the useful life whether it is disposed of, reused or recycled, raw earth at the end of life presents a value added. Once demolished the technical element, if not longer utilized, the degree of **reusability** and **recyclability** is high and depends on the type of product. We can summarize as follows.

Massone: the technical elements made with this system can be wetted and reused. And though preferable, on site, mix the dough with new mixes to get new products featuring

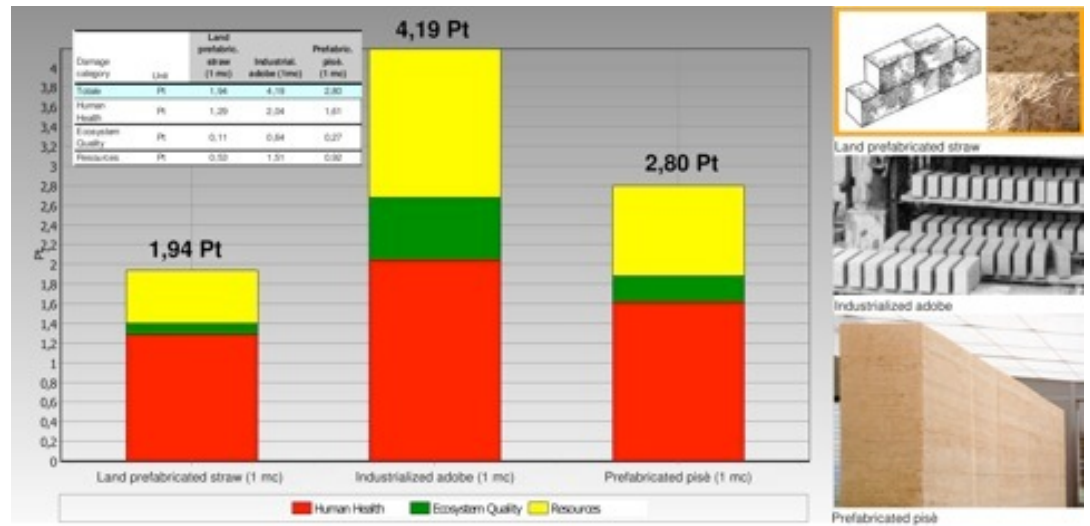


Fig. 2 - Industrial production in raw earth.

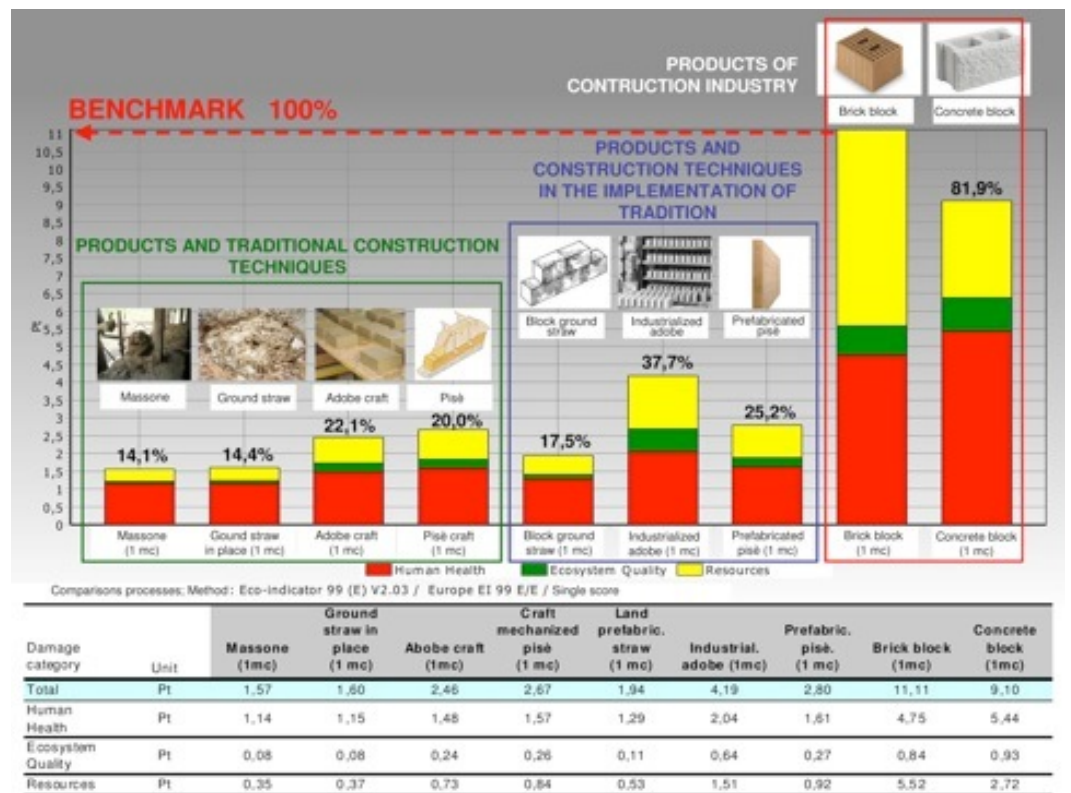


Fig. 3 - The results of the LCA: a comparative analysis. Functional unit of reference: 1 mc ptechniques in raw earth.

performances similar to those made with raw materials. It is not advisable to submit the fibers

of straw to multiple cycles of realization, because it would lose their tubular structure and large part of their characteristics of tensile strength decrease.

Earth straw: reusability and recyclability depends on the type of processing. The earth straw placed in work can be moistened and used as the massone, mixing the dough recycled with new compounds for optimal performance. It is instead possible to reuse the blocks, which can be easily disassembled, cleaned by the layers of mortar-based earth. It can also be crushed, mixed and recycled.

Adobe: blocks, both artisanal and industrial, if not stabilized, in the event of disposal may be dissolved and the material can be brought back into agricultural land. If the wall is not homogeneous, for example because provided with thermal insulation, before the sale is necessary to separate the different components. If installed in place with mortar of earth can be easily disassembled, cleaned and reused. Even the dust of mortar can be moistened and used in its place.

Pisè: the characteristics of recyclability of the earth in this technique are amplified by the fact that the walls pisè consist of a single material. Therefore there are no problems for the separation of the earth from other materials and the walls demolished can be reused directly for

other purpose or after humidification, for the construction of new artifacts.
 To better understand the eco-sustainability of the examples in unfired raw earth, we compare these last, the traditional and discounting ones, with examples of current productions, such as those of the:

- block brick
- concrete block

Analysis of the comparison gives an adequate scale reading. The results are read in the order of presentation and type of cases analyzed. As is evident from the results of the evaluation (graph above) products and building techniques in raw earth have a "sustainable" environmental impact. Generate a more environmental approach to reconstruction. With eco-scores whose percentages ranging from 14.1% to 20.0%. Prefabricated elements compared to the systems in place cause more damage, because they are marked by a fully mechanized production process. But that does not compromise the ecological aspect, as clearly shown by the graph of benchmarking. It is possible to detect an environmental impact with an average percentage difference of 62.3% compared to the manufacture of brick blocks. For the latter the most responsible for the environmental damage are the processes of the supply chain, especially

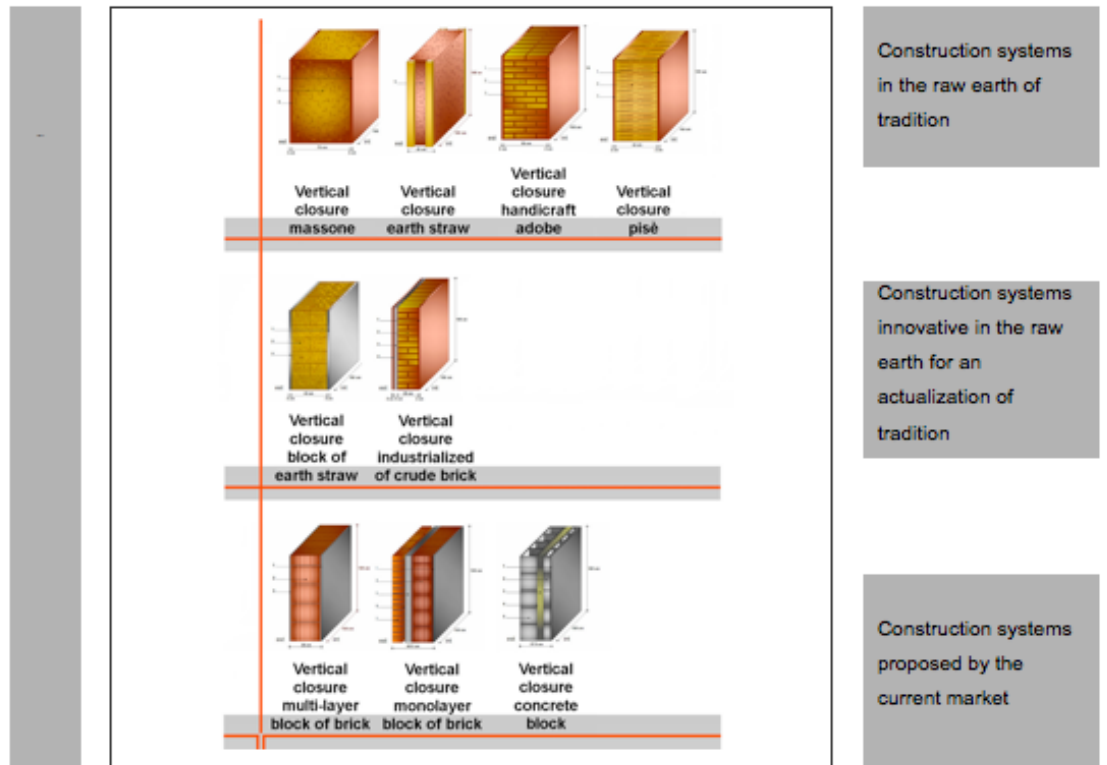


Fig. 4 - Building systems examined.

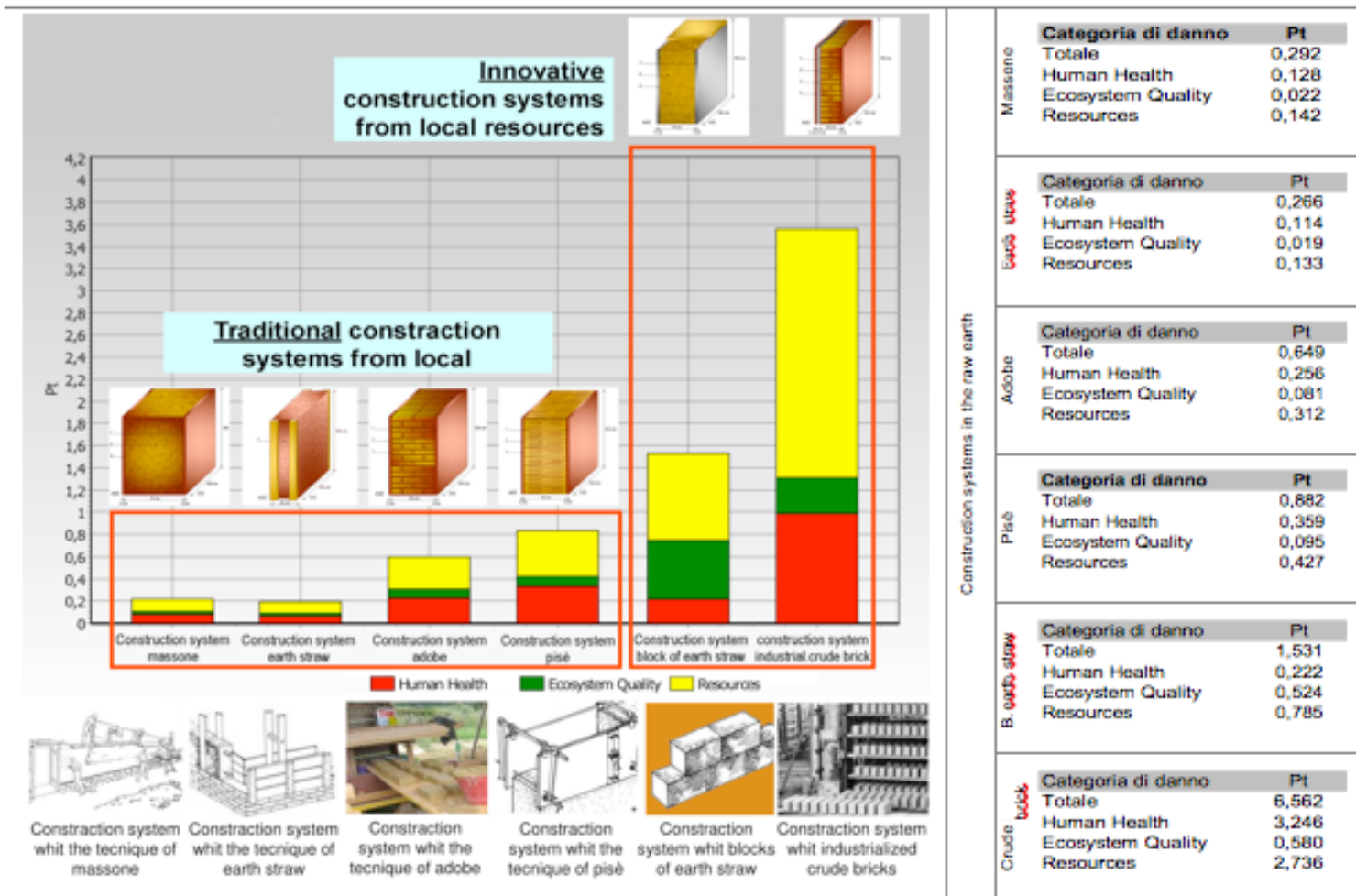


Fig. 5 - Comparison between case studies of building tradition and case studies of traditional discount, both in raw earth.

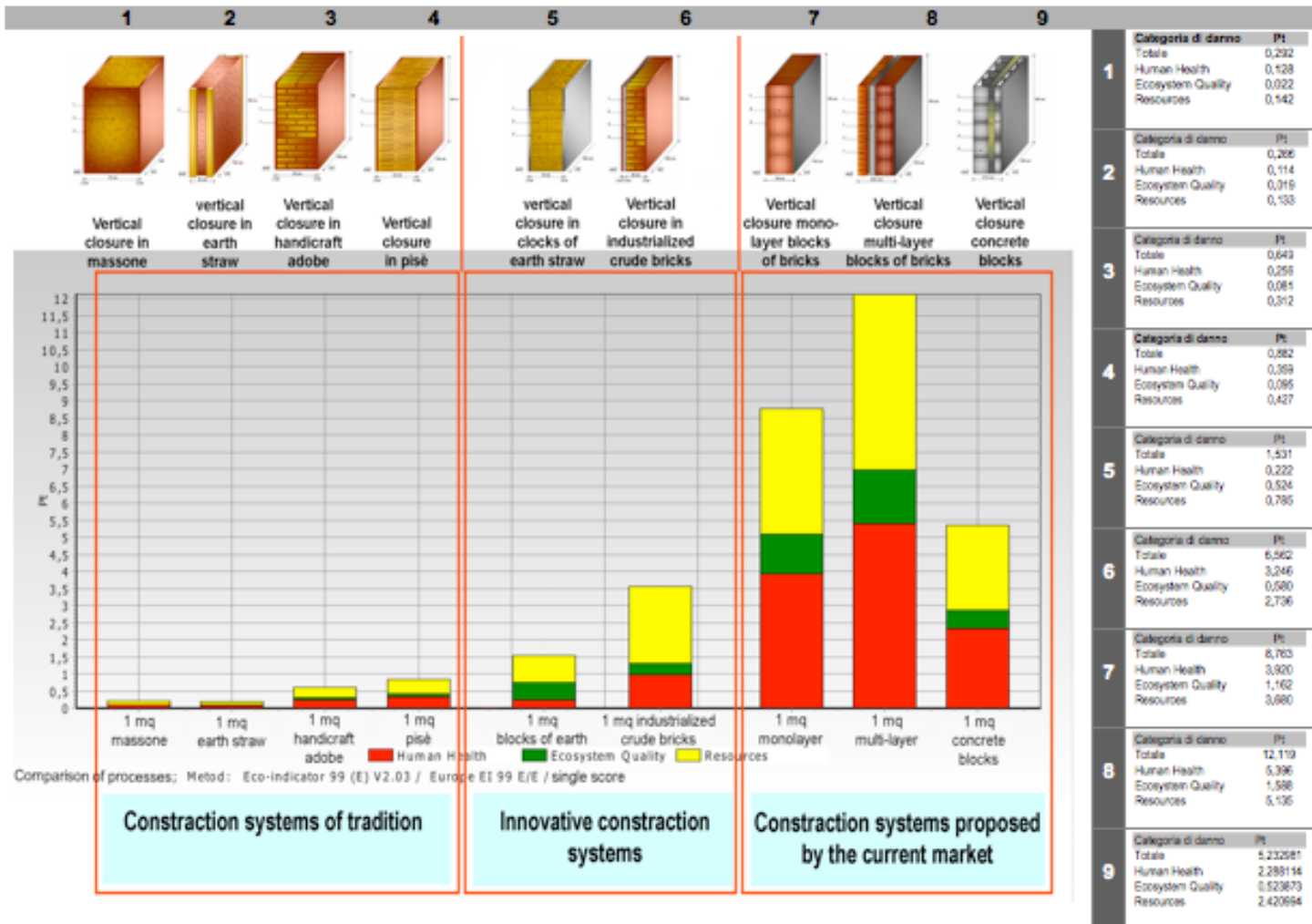


Fig. 6 - Overall comparison of the case studies.

for the processing/cooking of the product, which give higher values of impact. Raw earth to be a local material, available at zero distance, low energy content to be mined, produced, transported, handled and disposed of once

completed the useful life if used in the life cycle, is a benchmark for environmentally sustainable choices. These requirements are in addition to the low hazard of the yards and the absolute harmlessness of the material. This is, in essence, a resources material "bold" in the circle that close the cycle of natural resources extracted, energy consumed and waste generated at the end of life but in this case (and should be stressed) are not waste but new material, workable and reusable. Another important aspect is the avoided landfill, a value added that few materials donate.

Construction systems in the raw earth measured in life cycle

Finally, we examine with the methodology of LCA, vertical closures made with **construction systems in raw earth**. Shall be also analyzed the construction systems proposed by the **current market**, the latter considered the benchmark for comparative analysis. Are considered the thermal transmittance of the technical elements. In particular, for opaque vertical closure in raw earth, shall be analyzed:

- opaque vertical closure in massone
- opaque vertical closure in earth straw
- opaque vertical closure in handcraft adobe
- opaque vertical closure in pisè

that represent the construction systems proposed by the tradition

- opaque vertical closure in industrialized crude bricks
- opaque vertical closure in blocks earth straw

that represent the construction systems innovative for an actualization of tradition

For closures made of opaque vertical products and components of the current market, shall be analyzed:

- monolayer closure into blocks of brick
- multi-layer closure in blocks of bricks
- multi-layer closure in blocks of vibrated cls

that constitute the construction systems proposed by the current market

LCA analysis of comparison that acquires construction system with the least damage product is made with the technique of earth straw. Follows that realized with massone with a

slightly greater damage. Both are considered as a comparison of the maximum possible sustainability. Handmade adobe construction system shows a higher percentage of impact exceeded the one made of pisè. Are traditional construction systems, characterized by a low incidence of energy consumption. Moreover they do not need specialized labor and do not require sophisticated equipment at the production stage. For all the impact is detected in the categories of "human health" and "resources depletion" damage. And the most important phases are those for energy *production* equipment used in crushing and processing ground, and especially that of the *end of life* for the operation of demolition and recycling, particularly for the fuel consumed and pollutants emitted by machinery used in the activity of demolition.

The innovative construction systems, based on the use of crude brick industrial production, made in a factory on a chain parallel to the production and brick, generate a greater injury than the other. The impact is due in part to the energy consumption of the machinery of the industrial chain, but not quite, the most liable, it is attributed to the production of insulation interposed between the exterior plaster and crude brick⁶.

It is a material by chemical synthesis, derived from petroleum, and its production processes affect in a negative way on the environmental balance. The overall comparison is essential to

have an overview. Ecology of the primary resource, the sustainability of production processes, the zero distance, the easy recycling of the material at the end of life are factors that affect positively on the environmental performance of building systems in raw earth. Between these systems and standards of the current construction market, a gap exists of considerable percentage in favour of the former, as is evident from the graph proposed.

Examples in crude extracts from tradition are models of sustainability. They are handcrafted manufacturing techniques, energy-consuming at all. Examples in crude extracts from tradition are models of sustainability. They are handcrafted manufacturing techniques, energy-consuming at all.

Are characterized by a predominantly artisan work, so do not require sophisticated equipment or highly specialized machinery.

The supply of land can be carried by hand or by means of excavators when the site has some importance. The production is based on simple operation and is carried out on the site of construction site. Each stage of the life cycle is characterized by zero distance, trips are reduced, the only materials that undergo transport include sand, straw and equipment to assist the shipyard. The complete recycling of the material at the end of life creates a sort of feedback, a closed circuit for which the material can be reshaped into the ground or crushed and processed for further production cycles.

The discounted raw earth products, as manufactures in the factory or in a mechanical workshop, requiring greater energy input into the procurement phase of supplying and especially of production. The chain has machinery to assist that require energy to be moved, but in any case since it is naturally dried products, uncooked, are less energy-intensive instead of the brick that absorbs thousand degrees of blast furnace. Also in this case the products at the end of life are easily disposable. The clay turned to raw is reversible at 100%, it avoids much of being left with a mass of material irreversible to be disposed⁷.

Standard systems of the current construction market have a total damage score also increased by 65%. The impact is found predominantly in the production phase of the products and elements that make up the functional layers. The cause is in the process of industrial production of crops, mainly for the consumption of energy resources, air emissions released from burning during processing activities, and total energy consumption required by the handling operations of the plants of line during all stages of production. It is clear from these results that with building system in the raw earth you get an environmental compatibility of 65% and more than 90% with the technique of massone and earth straw. Finally it should be noted that comparing the systems with raw standard systems of the current market (bricks, concrete, blocks) we can make a very interesting sustainability report. The clay is extracted from open quarries, the production chain of bricks continues with steps ranging from the crushing operation carried out with shredder machines,

refining of the material by means of rolling mills. The dough is prepared by kneading machine, forming with extruders, the drying systems with dryers, high cooking oven, the packaging machines for packing. It is a chain that everyone knows and as optimized it consumes energy and emits pollutants. Moreover, as space can be the location of the production site, the globalization of the market makes possible the movement of products in any place. And this weighs on transport emissions significantly⁸. In all these aspects, systems in the raw, instead show a more sustainable process, a more environmentally sustainable and adequate response performance during operation.

NOTES

1. This aspect is very important. We have a huge problem of waste disposal.
2. It is discarded only the organic layer surface.
3. Stages of the life cycle ranging from extraction of primary resources, working of materials, production of semifinished products and products, construction on site, management and maintenance until the end of life (considering the possible scenarios of recycling, reuse, landfill).
4. The valuation method used for the LCA is the echo Indicator 99. Easy to read, because it returns the data of LCA analysis in sizes easy to understand and use, the so-called-eco-indicators or eco points (Pt). The method evaluates the impact associated with LCA analysis solely based on 3 "heads of damage":
 - *Human Health*: it is the idea that all human beings, presents and future, are free of disease, disability and premature deaths caused by surrounding environment;
 - *Ecosystems Quality*: it implies that the animal and plants species involved are not disadvantage by the changes induced by human activity;
 - *Depletion of Resources*: embodies the concept that the supply of substances essential for the development of our society may also be available for future move generation.

Each group some "impact categories" that are 11 total: carcinogens, allergens, breathing, organic, inorganic respiratory allergens, climate change, depletion of the ozone layer, ionizing radiation, acidification/eutrophication, ecotoxicity, land use, minerals, fossil fuels. This, in turn, are configured by the aggregation of all substances (which are drawn and issued during the processes under study) responsible for the impact and the corresponding damage.

5. Type of construction of the "terra impilata" (massone/bauge/cob/wellerbau) for load-bearing walls made from a mixture of ground and thick straw, stacked and/or thrown up, molded by hand without shuttering. The technique varies from region to region taking on different terms. In Abruzzo, the mixture is extracted and then

handmade almost like bread adding another straw and carrying loaves or "Masons" which are then thrown to those who are over the wall to compact (Forlani, 2001). Hence the term "massone".

6. To improve the Energy response of the constructive package and to return in terms of transmittance, in the values set by the law.
7. We think of concrete, the concrete and brick that can be reduced to inert.
8. The transport wheel is one most used because it allows the distribution over area, but is even more impactful.

REFERENCES

- [1] Baldo G.L. 2005. *Analisi del ciclo di vita LCA*. Edizioni Ambiente. Milano (Italy)
- [2] Campioli A., Lavagna M. 2009. *Raccomandazioni per la progettazione di edifici energeticamente efficienti. Prestazioni energetiche e comportamento ambientale di soluzioni tecniche d'involucro in laterizio finalizzate all'efficienza energetica degli edifici*. Edizioni Laterservice (Italy)
- [3] De Santoli L. 2006. *Analisi del ciclo di vita del sistema edificio-impianto*. Palombi Editore. Roma (Italy)
- [4] Forlani M.C. 2001. *Costruzione e uso della terra*. Maggiori Editore. Rimini (Italy)
- [5] Forlani M.C. 2009. *L'Università per il terremoto*. Alinea Editrice. Firenze (Italy)
- [6] Forlani M.C. 2010. *Cultura tecnologica e progettazione sostenibile*. Alinea Editrice. Firenze (Italy)
- [7] Giordano R. 2010. *I prodotti per l'edilizia sostenibile*. Sistemi Editoriali. Napoli (Italy)
- [8] Lavagna M. 2008. *Life cycle assessment in edilizia*. Hoepli. Milano (Italy)
- [9] Neri P. 2008. *Verso la valutazione ambientale degli edifici*. Alinea Editrice. Firenze (Italy)
- [10] Scudo G., Narici B., Talamo C. 2001. *Costruire con la terra. Tecniche costruttive, campi di utilizzo e prestazioni*. Gruppo Editoriale Esselibri. Napoli (Italy)

LA VALUTAZIONE AMBIENTALE DEI PRODOTTI IN CRUDO

1. La terra cruda nel ciclo di vita

A basso consumo energetico, rinnovabile, facilmente smaltibile, locale, a chilometro zero, la terra cruda è un materiale pressoché illimitato e non diventa rifiuto a fine vita. Il rendimento sostenibile di E. Daly insegna che "la velocità del prelievo delle risorse deve essere pari alla velocità di rigenerazione", in più con la capacità di assorbimento sostiene che "la velocità di produzione dei rifiuti deve essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono immessi". La terra cruda non pone nessun problema in tutti questi aspetti.

Nelle sue varie tecniche di messa in opera è un materiale dal ciclo di vita chiuso, controllabile durante tutto il processo edilizio, perfettamente recuperabile e riciclabile. Estremamente basso è lo specifico livello di embodied energy. Non solo, a nessun rischio o impatto incorrono gli operatori coinvolti sul cantiere e nessuna lavorazione o rifiuto speciale viene prodotto. Attualmente sappiamo che il 50% delle materie prime consumate servono a costruire e riscaldare i nostri edifici, e tutt'altro che trascurabile è la quantità di rifiuti inerti prodotti¹. Ma non ancora si analizzano quali sono i costi ambientali e il consumo al lordo dei

materiali durante l'estrazione, la lavorazione, la produzione di prodotti e componenti edili. Oppure quali emissioni tossiche si sviluppano durante queste fasi; quali materiali vengono scartati per produrre un chilogrammo di alluminio, un chilogrammo di rame o un chilogrammo di qualsiasi altro metallo. Invece quando andiamo a scavare 1 metro cubo di terra, tutto questo lo utilizziamo².

Non solo, usiamo un materiale che è sotto i nostri piedi, a chilometro zero, immediatamente disponibile intorno al luogo della costruzione o a pochi chilometri di distanza. Si tratta di una risorsa materica che raccoglie in se i parametri più ricorrenti della sostenibilità. E' totalmente ecologica, consuma poca energia durante l'estrazione e la lavorazione, viene messa in opera e non ha emissioni tossiche, e per smaltirla è totalmente riciclabile.

La terra cruda è, dunque, un materiale naturale, rigenerabile in ulteriori cicli produttivi. Ma per dichiarare il grado di sostenibilità ambientale occorre misurarne il livello. Frequentemente vengono definiti sostenibili materiali semplicemente considerati naturali come il legno, perché ritenuto una risorsa rigenerabile, a prescindere dai trattamenti chimici utilizzati per incollare le fibre, o a prescindere dai processi di finitura superficiale attuati con materiali sintetici. Oppure materiali come il vetro o l'alluminio in quanto riciclati o riciclabili. A volte si dimentica che l'ecologia di uno o più requisiti non è condizione unica per dichiarare la sostenibilità di un materiale. Un materiale è sostenibile se lo è in ogni fase del ciclo di vita. Occorre che il danno ambientale sia verificato in ogni fase del processo edilizio, dall'approvvigionamento delle risorse materiche sino allo scenario di fine vita. Solo così è veramente tangibile se un materiale, naturale come la terra cruda, è più o meno sostenibile di un materiale rinnovabile come il legno, o di materiali da riciclo, come l'acciaio, il vetro, il cartone, ed altri.

Accade spesso che i trasporti per l'approvvigionamento delle risorse primarie siano notevoli. La risorsa può non provenire dal contesto locale, e questo aspetto pesa in maniera preponderante sul profilo ambientale complessivo per le enormi distanze chilometriche percorse. Il legno ne costituisce un esempio palese, soprattutto in quelle realtà le quali non disponendo di una risorsa boschiva o di un patrimonio boschivo certificato, devono approvvigionarsi altrove. Per il materiale terra cruda ciò non accade, la risorsa è approvvigionabile localmente vicino il cantiere o in un sito limitrofo, può essere anche terra estratta da opere di sbancamento o terra da riporto proveniente da scavi di fondazioni.

Spesso non ci si rende conto degli spostamenti che subiscono i materiali prima di arrivare sul sito produttivo di lavorazione. La globalizzazione del mercato ha amplificato ancora di più questo aspetto. Gli spostamenti oltre i confini della nazione, i mercati allargati hanno ridotto l'equilibrio locale di approvvigionamento e utilizzo delle risorse nel medesimo contesto. La terra cruda esula invece da questi aspetti. Chiude in un cerchio ciclico tutte le fasi del processo edilizio. Se non stabilizzata la terra non è un rifiuto, può generare nuovi cicli produttivi oppure è compostabile per tornare ad essere fango o terra coltivabile.

2. La verifica della sostenibilità ambientale con la metodologia LCA

La sostenibilità ambientale va verificata in ogni fase del ciclo di vita³. A tal riguardo si ricorre al metodo LCA (Life Cycle Assessment - UNI EN ISO 14040). Con questa metodologia si analizza, per mezzo di indicatori, il peso ambientale di componenti, tecniche costruttive e sistemi realizzativi in terra cruda in ogni fase del ciclo di vita⁴, per restituire un bilancio del danno prodotto. Prodotti e tecniche costruttive in crudo valutati nel ciclo di vita I prodotti e le tecniche costruttive in terra cruda valutati con il metodo LCA sono:

- a. **Prodotti e tecniche costruttive tradizionali:** questi costituiscono il benchmark di riferimento della sostenibilità.
- b. **Prodotti e tecniche costruttive nell'attualizzazione della tradizione:** realizzano il tentativo di attualizzare la tradizione, coniugando tradizione e produzione industriale.

Per quanto riguarda il primo punto, ossia la produzione tradizionale, con la valutazione LCA (unità funzionale 1 mc) si analizzano:

- la tecnica costruttiva del massone⁵
- la tecnica costruttiva della terra paglia in opera
- la tecnica costruttiva dell'adobe artigianale
- la tecnica costruttiva del pisè artigianale meccanizzato

Da questa prima analisi LCA è evidente che delle quattro tecniche analizzate quella con danno ambientale minore è la tecnica costruttiva del massone. Tutti, in ogni caso, risultano a basso impatto ambientale, tanto è che li possiamo considerare elementi di paragone massimo della sostenibilità. Per la tecnica costruttiva del massone si ha un eco-punteggio di danno di 1,57 Pt. Segue un eco-punteggio pari a 1,60 Pt per la tecnica costruttiva della terra paglia in opera; 2,46 Pt per la tecnica costruttiva dell'adobe artigianale e 2,67 Pt per quella in pisè meccanizzato.

Dai profili ambientali si rileva che l'indicatore di danno "salute umana" è quello maggiormente interessato. Incidono su tale risultato, e questo accomuna l'esito delle quattro tecniche costruttive, non tanto le fasi di pre-produzione e produzione, né di messa in opera, ma la fase di fine vita a causa del macchinario impiegato nell'operazione di demolizione, sia per le polveri, sia per le sostanze inquinanti emesse dal macchinario stesso durante i lavori. Si rileva in seconda battuta, che l'indicatore di danno "risorse" presenta anch'esso un risultato visibile. Ciò, ancora una volta per la fase del fine vita, sempre per l'operazione di demolizione dell'elemento tecnico ma a causa del consumo del carburante utilizzato dal macchinario impiegato nell'intervento.

Per quanto riguarda, invece, l'attualizzazione della produzione, con la valutazione LCA (unità funzionale 1 mc) si esaminano:

- la terra paglia prefabbricata
- l'adobe industrializzato
- la terra battuta prefabbricata

Il grafico sopra mostra l'esito di questa seconda analisi. Gli eco-punteggi sono un po' più alti. Si tratta di prodotti che nascono da una filiera meccanizzata, addirittura da una filiera implementabile all'interno di uno stabilimento produttivo quando parliamo di mattoni crudi ("adobe" industriale). La fabbricazione conseguita con l'ausilio di macchinari richiede un maggior consumo di risorse energetiche ed effonde una quantità più alta di emissioni nell'ambiente. I componenti in terra cruda, anche se realizzati con sistemi progrediti, non essendo sottoposti al processo di cottura, come avviene per il laterizio ottenuto dalla trasformazione irreversibile dell'argilla in altoforno, mostrano eco-punteggi fondamentalmente bassi, e un bilancio ambientale sostenibile. Come per le tecniche costruttive della tradizione, anche in questo caso dal bilancio emerge che una buona quota di danno è attribuito al macchinario utilizzato nell'operazione di demolizione, maggiormente incidente rispetto alle operazioni stesse di riciclaggio (frantumazione, e lavorazione del materiale). Ma qualsiasi sia lo scenario una volta conclusa la vita utile, sia che venga smesso, riciclato o riutilizzato, la terra cruda presenta a fine vita un valore

aggiunto. Una volta demolito l'elemento tecnico, se non smesso, il grado di **riutilizzabilità** e **riciclabilità** è alto e dipende dalla tipologia del prodotto. Possiamo sintetizzare come segue.

Massone. Gli elementi tecnici realizzati con questo sistema possono essere riutilizzati e riutilizzati. E' però preferibile, in cantiere, miscelare gli impasti riciclati con impasti nuovi per ottenere manufatti caratterizzati da prestazioni analoghe a quelli realizzate con materie prime. Infatti è sconsigliabile sottoporre le fibre di paglia a più cicli realizzativi, perché perderebbero la loro struttura tubolare e si vedrebbe diminuire gran parte delle loro caratteristiche di resistenza a trazione.

Terra paglia. La riutilizzabilità e la riciclabilità dipende dal tipo di lavorazione. La terra paglia posata in opera può essere riutilizzata e riutilizzata come il massone, miscelando gli impasti riciclati con composti nuovi per ottenere ottime prestazioni. E' invece possibile riutilizzare i blocchi, che possono essere facilmente disassemblati, ripuliti dalla malta di allettamento a base di terra. Ugualmente quest'ultima può essere rifrantumata, reimpastata e quindi riciclata.

Adobe. I blocchi, sia artigianali che industriali, se non stabilizzati, in caso di dismissione possono essere sciolti e il materiale può tornare ad essere terra coltivabile. Qualora la parete non sia omogenea, ad esempio perché provvista di isolamento termico, prima della dismissione è necessario separare i diversi componenti. Se posati in opera con malta di terra possono essere facilmente disassemblati, ripuliti e riutilizzati. Anche la polvere di malta può essere riutilizzata e riutilizzata sul posto

Pisè. Le caratteristiche di riciclabilità della terra sono amplificate in questa tecnica dal fatto che le murature in pisè sono costituite da un unico materiale. Non vi sono dunque problemi per la separazione della terra da altri materiali e le murature demolite possono essere riutilizzate direttamente per altri scopi o, previa umidificazione, per la costruzione di nuovi manufatti. Per meglio comprendere la eco-sostenibilità degli esempi proposti in terra cruda, si confrontano questi ultimi, sia quelli della tradizione che quelli dell'attualizzazione, con esempi di produzioni correnti, quali quelli del:

- blocco in laterizio
- blocco in cls vibrocompresso

L'analisi del confronto ci fornisce un'adeguata scala di lettura. I risultati sono letti nell'ordine di presentazione e per tipologia dei casi analizzati.

Come si evince dal risultato della valutazione (grafico sopra) i prodotti e le tecniche costruttive in terra cruda presentano un impatto ambientale "sostenibile". Generano un approccio alla costruzione in "chiave ecologica", con eco-punteggi i cui valori percentuali vanno dal 14,1% al 20,0%. Gli elementi prefabbricati rispetto ai sistemi in opera determinano un danno maggiore, perché contraddistinti da una filiera produttiva completamente meccanizzata. Ma questo aspetto non ne compromette l'ecologia, come chiaramente visibile dal grafico di analisi comparativa. E' possibile rilevare un impatto ambientale con uno scarto percentuale medio inferiore del 62,3% rispetto alla fabbricazione dei blocchi di laterizio. Per questi ultimi i maggiori responsabili del danno ambientale sono i processi della filiera, soprattutto la trasformazione/cottura del prodotto, che conferiscono valori di impatto alti.

La terra cruda per la caratteristica di essere un materiale "locale", approvvigionabile a chilometro zero, a basso contenuto energetico per essere estratto, prodotto, trasportato, gestito e smesso una volta conclusa la vita utile, se analizzato nel ciclo di vita, costituisce un riferimento per scelte progettuali eco-

sostenibili. A questi requisiti si aggiungono la bassa pericolosità dei cantieri e l'assoluta innocuità del materiale. Si tratta, in sostanza, di una risorsa materica "ardita" che chiude nel cerchio il ciclo delle risorse naturali prelevate, delle energie consumate e dei rifiuti prodotti a fine vita ma che in questo caso (ed è bene sottolinearlo) non sono rifiuti ma nuova materia, rilavorabile e riutilizzabile. Un altro aspetto degno di nota è la evitata discarica, un valore aggiunto che pochi materiali elargiscono.

Sistemi costruttivi in crudo valutati nel ciclo di vita
Per concludere si esaminano, con la metodologia LCA, le chiusure verticali opache realizzate con i **sistemi costruttivi in terra cruda**. Sono analizzati anche i sistemi costruttivi proposti dal mercato corrente, questi ultimi considerati il benchmark di riferimento per l'analisi comparativa. Sono considerate le trasmittanze termiche degli elementi tecnici. In particolare, per le chiusure verticali opache in terra cruda, sono analizzati:

- chiusura verticale opaca in massone
- chiusura verticale opaca in terra paglia
- chiusura verticale opaca in adobe artigianale
- chiusura verticale opaca in terra battuta

che costituiscono i sistemi costruttivi della tradizione

- chiusura verticale opaca in mattoni crudi industrializzati
- chiusura verticale opaca in blocchi di terra paglia prefabbricati

che costituiscono i sistemi costruttivi innovativi per una attualizzazione della tradizione.

Per le chiusure verticali opache realizzate con prodotti e componenti del mercato attuale, sono analizzati:

- chiusura monostrato in blocchi di laterizio
- chiusura pluristrato in blocchi di laterizio
- chiusura pluristrato in blocchi di cls vibrocompreso

che costituiscono i sistemi costruttivi proposti dal mercato attuale.

Dall'analisi LCA di confronto si acquisisce che il sistema costruttivo con il minor danno prodotto è quello realizzato con la tecnica della terra paglia. Con un danno di poco maggiore segue quello realizzato con il massone. Entrambi sono considerati come termine di paragone massimo della sostenibilità possibile. Il sistema costruttivo in adobe artigianale mostra una percentuale di impatto più alto superato da quello realizzato in terra battuta. Sono sistemi costruttivi tradizionali, caratterizzati da una bassa incidenza dei consumi energetici. Per di più, non hanno bisogno di manodopera specializzata e non necessitano di macchinari sofisticati nella fase di produzione. Per tutti l'impatto è rilevabile nelle categorie di danno "salute umana" ed "esaurimento delle risorse". E le fasi più impattanti sono quelle della produzione, per il consumo energetico dell'attrezzatura impiegata nella frantumazione e lavorazione della terra, e soprattutto quella del fine vita per l'operazione di demolizione e riciclo, in particolare per il carburante consumato e le sostanze inquinanti emesse dal macchinario adoperato nell'attività di demolizione. Il sistema costruttivo innovativo, basato sull'impiego di mattoni crudi⁶ di produzione industriale, realizzati in uno stabilimento produttivo su una filiera parallela alla produzione dei

laterizi, genera un danno di gran lunga superiore rispetto agli altri. L'impatto è da imputare in parte ai consumi energetici dei macchinari della filiera industriale, ma non del tutto, il maggior responsabile del danno prodotto è attribuito alla produzione dell'isolante interposto tra l'intonaco esterno e i mattoni crudi. Si tratta di un materiale di sintesi chimica, derivante dal petrolio, e i suoi processi di produzione incidono in modo negativo sul bilancio ambientale. Il confronto complessivo è fondamentale per avere una visione d'insieme. L'ecologia della risorsa primaria, la sostenibilità dei processi produttivi, il chilometro zero, la facile riciclabilità del materiale a fine vita sono i fattori che incidono positivamente sul bilancio ambientale dei sistemi costruttivi in terra cruda. Tra questi e i sistemi standard del mercato edile corrente, intercorre uno scarto percentuale notevole a favore dei primi, come è evidente dal grafico proposto. **Gli esempi in crudo estratti dalla tradizione** sono modelli della sostenibilità. Sono tecniche realizzative artigianali, per niente energivori. Come confermato dall'analisi LCA, molto basso è infatti il contenuto energetico richiesto nelle varie fasi del ciclo di vita. Sono caratterizzati da un lavoro prevalentemente artigianale, per cui non richiedono maestranze altamente specializzate né macchinari sofisticati. L'approvvigionamento della terra può essere effettuato a mano o per mezzo di escavatori quando il cantiere ha una certa importanza. La produzione è basata su operazioni semplici ed è effettuata sul sito di cantiere. Ogni fase del ciclo di vita è caratterizzata dal chilometro zero, gli spostamenti sono ridotti, gli unici materiali che subiscono il trasporto sono la sabbia, la paglia e le attrezzature di ausilio al cantiere. La completa riciclabilità del materiale a fine vita crea una sorta di feedback, un circuito chiuso per cui il materiale può essere riplasmato nel suolo o frantumato e lavorato per ulteriori cicli produttivi.

I prodotti in terra cruda attualizzati, poiché realizzati all'interno dello stabilimento o in una officina meccanizzata, richiedono un apporto energetico maggiore nella fase di approvvigionamento e soprattutto di produzione. La filiera dispone di macchinari di ausilio che richiedono energia per essere movimentati, ma in ogni caso trattandosi di prodotti asciugati naturalmente, non cotti, risultano meno energivori del laterizio che invece assorbe migliaia di gradi di altoforno. Anche in questo caso i prodotti a fine vita sono smaltibili facilmente. L'argilla trasformata a crudo è reversibile al 100%, evita decisamente di ritrovarci con una mole di materiale irreversibile da smaltire⁷.

I sistemi standard del mercato edile corrente hanno un punteggio di danno complessivo maggiore anche del 65%. L'impatto prevalente si riscontra nella fase di produzione dei prodotti ed elementi che compongono gli strati funzionali. La causa è nei processi di produzione delle filiere industriali, soprattutto per il consumo delle risorse energetiche, per le emissioni aeree rilasciate dalla combustione durante le attività di lavorazione, e per i consumi energetici richiesti complessivamente dalle operazioni di movimentazione degli impianti di linea durante tutte le fasi della produzione. Si evince da questi risultati che con i sistemi costruttivi in terra cruda si arriva ad ottenere una convenienza ambientale del 65% ma anche oltre il 90% con la tecnica del massone e della terra paglia. Infine va precisato che confrontando i sistemi in crudo con i sistemi standard del mercato corrente (laterizi, blocchi in cls) riusciamo a realizzare un bilancio della sostenibilità molto interessante. L'argilla viene estratta da cave a cielo aperto, la filiera produttiva del laterizio prosegue con fasi operative che vanno dalla frantumazione effettuata con macchine rompizolle, alla raffinazione del materiale per mezzo di laminatoi. L'impatto è preparato con macchina impastatrice, la formatura con estrusori, la essiccazione

con impianti essiccatoi, la cottura in altoforno, il confezionamento con macchine per imballaggio. E' una filiera che tutti conoscono e che per quanto ottimizzata consuma energia ed emette sostanze inquinanti. Inoltre, per quanto locale possa essere la dislocazione del sito produttivo, la globalizzazione del mercato rende possibile lo spostamento dei prodotti in ogni luogo. E ciò grava sulle emissioni da trasporto in modo notevole⁸. In tutti questi aspetti, i sistemi in crudo mostrano invece una maggiore sostenibilità di processo, una maggiore sostenibilità ambientale ed una adeguata risposta prestazionale in fase di esercizio.

NOTE

1. Questo aspetto è estremamente importante. Abbiamo un problema di smaltimento dei rifiuti inerti grandissimo.
2. Viene scartato solo lo strato organico superficiale.
3. Le fasi del ciclo di vita vanno dall'estrazione delle risorse primarie, alla lavorazione dei materiali, alla produzione di semilavorati e prodotti, alla costruzione in cantiere, alla gestione e manutenzione sino al fine vita (considerando i possibili scenari tra riciclo, riuso, discarica).
4. Il metodo di valutazione utilizzato per l'analisi LCA è l'Eco Indicator 99. Di semplice lettura, poiché restituisce i dati dell'analisi LCA in grandezze di facile comprensione ed utilizzo, i cosiddetti eco-indicatori o eco-punti (Pt). Il metodo valuta l'impatto associato all'analisi LCA esclusivamente sulla base di 3 "categorie di danno":
 - Salute Umana: racchiude l'idea che tutti gli esseri umani, nel presente e nel futuro, siano esenti da malattie, invalidità o morti premature causate dall'ambiente circostante;
 - Qualità Ecosistemica: implica che le specie animali e vegetali coinvolte non siano penalizzate dai cambiamenti indotti dall'azione dell'uomo;
 - Esaurimento delle Risorse: racchiude il concetto che la scorta di sostanze essenziali per lo sviluppo della nostra società possa essere disponibile anche per le generazioni future.

Ognuna raggruppa delle "categorie di impatto" che in totale sono 11: Sostanze Cancerogene, Allergeni Respiratori Organici, Allergeni Respiratori Inorganici, Cambiamenti Climatici, Impoverimento dello Strato di Ozono, Radiazioni Ionizzanti, Acidificazione/Eutrofizzazione, Ecotossicità, Uso del territorio, Minerali, Combustibili Fossili. Questi a loro volta risultano configurati dall'aggregazione di tutte le sostanze (prelevate ed emesse durante i processi in esame) responsabili dell'impatto e quindi del relativo danno.

5. Tipologia costruttiva della "terra impilata" (massone/bauge/cob/wellerbau) per murature portanti realizzate con un impasto di terra paglia denso, impilato e/o gettato a costituire una muratura spessa, modellata a mano senza casseformi. La tecnica varia da regione a regione assumendo termini diversi. In Abruzzo l'impasto viene estratto e poi lavorato a mano quasi come il pane aggiungendo altra paglia ed eseguendo pagnotte o "massoni" che vengono poi gettati a chi sta sopra il muro per compattarli (Forlani, 2001). Da qui il termine "massone".
6. Per migliorare la risposta energetica del pacchetto costruttivo e per rientrare, in termini di trasmittanza, nei valori prefissati dalla normativa.
7. Pensiamo al cemento, al cls e al laterizio che possono essere ridotti giusto ad inerti.
8. Il trasporto su ruota è quello più utilizzato perché consente la distribuzione capillare sul territorio, ma è anche il più impattante.