

# Processi virtuosi: sistemi di copertura in bio-composito per la rigenerazione del territorio

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Vittorio Fiore<sup>a</sup>, Stefania De Medici<sup>b</sup>, Carla Senia<sup>b</sup>,

<sup>a</sup>Dipartimento di Scienze Umanistiche, Università degli Studi di Catania, Italia

<sup>b</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, SDS Architettura, Università degli Studi di Catania, Italia

vitfiore@gmail.com

sdemedi@unicit.it

c.senia@tin.it

**Abstract.** L'articolo illustra gli esiti della ricerca FIR 2014, sul tema dello sviluppo sostenibile dell'area urbano-industriale del dipolo Augusta-Siracusa. La coltivazione di canapa per la fitodepurazione dei suoli consente di attivare un processo di rigenerazione multiscalare, che introduce nuove attività produttive per la trasformazione delle biomasse in bio-materiali per l'edilizia. Le esigenze di competitività del sistema produttivo hanno indotto a elaborare il progetto di un nuovo sistema di copertura in lastre di bio-composito, utilizzando materie prime a km0. Ciò contribuisce a ridurre l'inquinamento, incrementare i posti di lavoro, incentivare il recupero del patrimonio architettonico, con componenti a basso costo prodotti in loco, compatibili con i sistemi costruttivi della tradizione locale.

**Parole chiave:** Lastre di copertura; Composti canapa-calce; Fitodepurazione; Aree urbano-industriali; Rigenerazione.

Quando un prodotto può generare sviluppo? Quando consente di attivare nuove filiere produttive o di sistematizzare ed integrare filiere esistenti, nell'intento di modificare e migliorare l'assetto di un territorio.

Questa la tematica affrontata nel progetto pluridisciplinare FIR 2014, finanziato dall'ateneo di Catania, che ha analizzato il caso del dipolo Siracusa-Augusta<sup>1</sup>, un territorio che ha subito – a partire dagli anni '50 del Novecento – profonde trasformazioni determinate dall'insediamento del polo petrolchimico più grande d'Europa. Il falso benessere dello sviluppo industriale passato, che aveva portato nell'immediato posti di lavoro, ha riservato nel lungo periodo una scia di distruzione, malattia, abbandono e negazione delle risorse disseminate sul territorio.

Periferie urbane, cave, raffinerie, industrie dismesse, campi agricoli, zone archeologiche, spiagge, si alternano oggi in un paesaggio compromesso, all'apparenza irrimediabile (Cfr. report

ricerca). Un contesto territoriale affastellato e sconnesso tra residui sottoutilizzati e aree liminali inaccessibili: la trama costituita dal sistema infrastrutturale –tre assi longitudinali paralleli al mare– si intreccia ad un ordito omogeneo, costituito da sei assi fluviali trasversali, che nel progetto di ricerca a scala territoriale assumono ruolo di 'corridoi ecologici' (Fig. 1). I 'nodi' di tale griglia sono destinati ad accogliere luoghi dedicati alla ricerca e all'innovazione, in una posizione privilegiata, che beneficia dell'interscambio con la rete di trasporto locale e nazionale per semilavorati e prodotti finiti.

Questo recente passato permette di delineare la *mission* per un progetto che, evocando visioni organiciste di processo, attivi "ri-generazione" intesa come "ri-produzione", attraverso una strategia unitaria (Capuano, 2014).

La ricerca multi-scalare è condotta su più tagli disciplinari: urbanistica, progettazione architettonica, agraria, tecnologia, scienze antropologiche, economia; obiettivo comune: riconfigurare i frammenti del paesaggio agricolo, i resti archeologici, l'edilizia rurale abbandonata, quali elementi resilienti, che possano ospitare modelli di produzione agricola sostenibile connessi a nuovi cicli industriali, nell'ottica di invertire un destino apparentemente già segnato.

Il segmento di studio sperimentale qui sintetizzato, curato dal gruppo di lavoro afferente all'area della Tecnologia, è dedicato all'innovazione; partendo dagli obiettivi di bonifica dei suoli e delle acque, propone una nuova filiera industriale, con un progetto di elementi tecnici in bio-composito.

Virtuous processes:  
biocomposite roofing  
systems for territorial  
re-generation

**Abstract.** The article illustrates the outcomes of FIR 2014 Research on the topic of sustainable development of the urban-industrial areas of Augusta and Siracusa – meant as a single hub. Hemp farming for soil phytodepuración allows to activate a multi-scale process of regeneration that introduces new production activities for the transformation of biomass into building bio-materials. The need for competitiveness led to draft a project about a new roofing system constituted by biocomposite slabs, using raw materials produced locally. This allows to reduce pollution, to increase jobs and to promote the renovation of the building stock thanks to low-cost components produced on site and compatible with construction systems belonging to the local tradition.

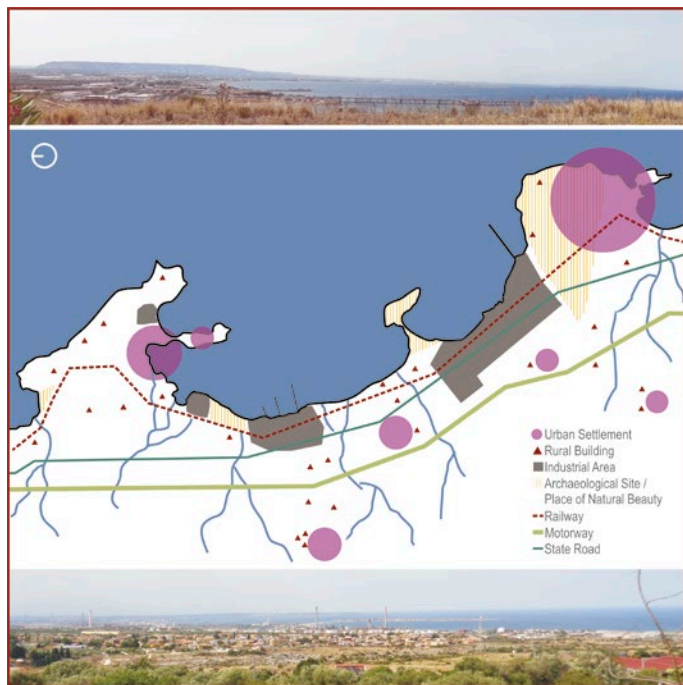
**Keywords:** Roofing slabs; Hemp-lime composites; Phytodepuración; Urban-industrial areas; Regeneration.

When can a product generate development? When it allows to start new production chains, to systematise and integrate already existing production chains, in the attempt to change and improve the set-up of a territory.

This is the topic addressed by the multidisciplinary project FIR 2014, funded by the University of Catania, that has analysed the case of Siracusa-Augusta<sup>1</sup>, whose territory has undergone – starting from the 1950s on – deep transformations caused by the establishment of the largest petrochemical site in Europe. At the beginning, the pretended well-being brought by past industrial development created jobs but in the long period it has been causing destruction, diseases, abandonment and the rejection of resources scattered around this area.

The landscape features suburbs, quarries, refineries, industries fallen into

disuse, agricultural land, archaeological sites, beaches; and it looks so damaged it seems irredeemable (See Research report). It is a very fragmented and complex environment, characterised by under-used facilities and inaccessible areas. The infrastructural network is basically formed by three longitudinal axes that are parallel to the sea, interconnected with six transversal axes represented by rivers, that in the research project on a territorial scale are assigned the role of "ecological corridors" (Fig. 1). In such a grid, the hubs are to host premises dedicated to research and innovation, since they are located in privileged positions, taking advantage of the interchange between the local and national transport network in order to manage semi-processed products and end products. This recent past history allows to affirm the mission at the core of a project



L'innovazione di prodotto, relativa a un singolo componente edilizio, è assunta quale motore di sviluppo, in grado di determinare ricadute sui processi di rigenerazione dell'intero sistema insediativo. Tale strategia indica la strada per una nuova fase di vita delle aree industriali in dismissione: l'uso e il ruolo degli elementi di un sistema territoriale sono lo specchio della relazione tra fattore socio-economico e forme costruite, frutto del sovrapporsi di culture e processi trasformativi passati e presenti.

Dal punto di vista economico l'innescò di tale azione ha visto concretizzarsi le possibilità di recupero del patrimonio rurale, terriero ed edilizio, verificando la disponibilità di terreni privati ad una coltivazione intensiva *no food* e le potenzialità d'uso degli edifici agricoli abbandonati. L'alternanza di coltivazioni – canapa e girasole – perseguendo antiche prassi agrarie, consente

that, evoking an organic vision of the implemented processes, should be able to activate a “regeneration” that is conceived as a “re-production” through a common strategy (Capuano, 2014).

This multi-scale research is carried out in several disciplines: urban planning, architectural designing, agriculture, technology, anthropological sciences, economics. The common goal is to give a new configuration to the fragments of this agricultural landscape, to archaeological remains, to abandoned rural buildings; these are resilient elements that could host sustainable models of agricultural production connected with new industrial cycles, in a perspective aimed at reversing their destiny despite the fact that it appears already determined.

The present paper resumes a portion of the experimental study that was carried out by the working team be-

longing to the field of Technology, and focussing on innovation; starting from the goals of soil and water remediation, it suggests a new industrial production chain thanks to a project on biocomposite technical elements.

An innovative product, referred to a single building component, is the driving force of such development, able to determine positive effects on regeneration processes that would affect the whole inhabited context. Such a strategy leads the way to a new life for industrial areas that are being dismantled: the use and role of elements within a territorial system mirror the relationship between socio-economic factors and the building stock, resulting from the overlapping of cultures and transformation processes - both past and present ones.

From an economical point of view, the start of such action saw some tangible

di procedere a una graduale bonifica e di preservare nel tempo la fertilità dei suoli (Freeman et al., 2004). Investire sui sistemi di trasporto, potenziando soprattutto l'infrastruttura ferroviaria – oggi sottoutilizzata e con gran parte del patrimonio edilizio abbandonato – mira a coinvolgere anche tali risorse in una rigenerazione a tutto campo.

Infine, la fattibilità dell'ipotesi di ricerca è funzione dell'efficacia del nuovo sistema produttivo delineato: le materie prime, i semi-lavorati e i prodotti finiti che derivano dalla canapa coltivata nell'area oggetto di bonifica risultano competitivi sul mercato locale, in quanto capaci di azzerare i costi di trasporto tra sito di produzione e sito di vendita; la competitività su mercati più ampi è vincolata, invece, alla capacità di offrire un prodotto innovativo, dalle prestazioni più vantaggiose rispetto a quanto attualmente in produzione.

## Obiettivi

Le attività di ricerca sono riconducibili a tre obiettivi-cardine, che concorrono a rendere fattibile e competitiva la proposta.

Il primo obiettivo, il più importante, riverbera a scala territoriale: l'attivazione di nuove filiere produttive, consente di riconquistare terreni all'agricoltura, individuando nuove direttrici di sviluppo. L'introduzione di coltivazioni di specie che contribuiscono alla bonifica dei suoli mediante fitodepurazione, tra le quali la *cannabis sativa*, alimenta l'insediamento di nuove attività di trasformazione, determinate dall'esigenza di riutilizzare la biomassa prodotta dalla coltivazione della canapa. Questo macro-obiettivo attiva un incremento della qualità nei sistemi fisico, sociale ed economico, riducendo la presenza di fattori inquinanti e garantendo nuovi posti di lavoro richiesti dalle attività primarie e secondarie.

possibilities to regenerate the rural heritage, both in terms of land and buildings; it was carried out a verification of the availability of private lots to start no food intensive cultivation and the potential use of abandoned rural buildings. Alternate farming – hemp and sunflowers – according to ancient agricultural practices, allows to carry out a gradual remediation and to preserve soil fertility in the course of time (Freeman et al., 2004). Investments on the transport network, focussing on railway infrastructures in particular – nowadays under-used and whose building stock in mostly abandoned – would involve these resources as well, providing a 360-degree regeneration. Last, feasibility of the research hypothesis is a function of the effectiveness of the new production system: raw materials, semi-processed and end products deriving from hemp cultivated in the

area to be remediated are competitive on the local market, since they are able to eliminate transportation costs from the production site to the selling site; competitiveness on larger markets depends, instead, on the ability to propose an innovative product, providing better performances than what is being currently produced.

## Objectives

Research activities are aimed at three core objectives that make this proposal feasible and competitive.

The first objective – and most important one – reflects on a territorial scale: the start of new production chains allows to retrieve more land to be destined to agriculture while identifying new development opportunities. Introducing the cultivation of species contributing to soil remediation through phytodepuration, among which is *cannabis sativa*

Nelle aree interessate da inquinamento e abbandono, si riattivano vocazioni primigenie trasformando le condizioni di degrado in opportunità di sviluppo, ideando ed attivando potenziali usi su risorse preesistenti. Tale fase di ricerca si colloca nell'ambito degli studi sul concetto di "appropriatezza", verificato in rapporto a tutte le realtà contestuali che definiscono il rapporto fra architettura e luogo (Gangemi, 1988).

Il secondo obiettivo è il progetto di nuovi componenti compatibili con i sistemi edilizi della tradizione costruttiva locale, che possano essere utilizzati per attività manutentive, riqualificazione e riuso degli edifici rurali e per la riconversione delle architetture industriali dismesse. La biomassa, che deriva dalla coltivazione della canapa, viene reimpiegata come materia prima in numerosi processi di produzione: biocombustibili, prodotti tessili, carta, feltro, bio-plastiche, farine e olii vegetali, cosmetici, lubrificanti, resine, cere, detergenti e vernici. In particolare, il residuo legnoso (canapulo) è sempre più frequentemente utilizzato nella produzione di materiali e componenti per l'edilizia, con legante minerale ed acqua.

Il terzo obiettivo si colloca in quei segmenti produttivi che offrono ancora spazio all'innovazione: realizzare un prodotto competitivo nel mercato della produzione per l'edilizia. Tale impostazione ha guidato la fase applicativa della ricerca verso la progettazione di elementi di copertura, ancora non disponibili sul mercato, dispositivi tecnici di finitura considerati "deboli" perché soggetti all'azione ripetuta di agenti atmosferici. Realizzare un elemento di copertura che, da solo, assolva le funzioni di manto (protezione) e isolamento (ambientale) consente di ridurre i carichi che gravano sulle strutture e lo spessore del pacchetto di copertura, incrementando economicità, semplicità

*nabis sativa*, stimulates the creation of new transformation activities, determined by the need to reuse the biomass produced by hemp farming. This macro-objective activates an increase in the quality of physical, social and economic systems, reducing the presence of polluting factors and ensuring the creation of new jobs thanks to primary and secondary activities.

In areas affected by pollution and abandonment, it is an occasion to reactivate a territory's earliest vocation, and to turn degradation into development opportunities by planning and implementing some possible uses by taking advantage of pre-existing resources. Such research phase is included within the studies about the concept of "appropriateness", verified according to all the situations in the context that help define the relationship between architecture and a spe-

cific place (Gangemi, 1988).

The second objective is the project about new components compatible with the typical building systems belonging to local tradition, that could be used for maintenance activities, requalification and re-use of rural buildings, and for the reconversion of industrial facilities fallen into disuse. Biomass deriving from hemp farming can be reused as a raw material in several production processes: biofuels, textile products, paper, felt, bioplastics, flours, vegetable oils, cosmetics, lubricants, resins, waxes, detergents and varnishes. In particular, the wooden residues (shive) are used more and more in the production of materials and components for building, with mineral binders and water.

The third objective is referred to those production segments that are still promoting innovation: the aim is to create

and velocity of pose in opera-removal-replacement. This typology of component can be used also for temporary works to protection of buildings or sites (structures for emergency, covering of spaces open-air, protection of existing buildings that have immediately collapsed or the removal of elements of covering, protection of areas of excavation in archaeological sites, etc.). This is connected to the second objective: in the case of the examined territory, the use of components suitable to a rapid renovation of roofing allows to use some abandoned rural buildings (palmenti, traditional premises for vinification, and abandoned facilities) in a short time and with minor costs, in order to cultivate the fields that have become productive again. These buildings could host all the activities in connection with hemp farming, the earliest processes before semi-processed products are included in industrial processes.

#### **Gli attori: università/ imprese/amministrazione**

La ricerca propone un modello di sviluppo locale incentrato sul sistema di relazioni tra università,

settore imprenditoriale e pubblica amministrazione, ispirato alla Tripla Elica di Etzkovitz e Leydersdorff (Etzkovitz e Leydersdorff, 2000), interpretando il passaggio dalla Società Industriale, dominata dalla diade industria/governo, ad una Società della Conoscenza, nella quale le attività di ricerca e formazione universitaria assumono un ruolo dominante. Lo sviluppo di saperi che derivano dalla ricerca e il trasferimento di competenze in ambito locale attraverso la formazione, infatti, alimentano l'innovazione, che a sua volta genera sviluppo, con effetti positivi crescenti sulla qualità di vita nel territorio. L'efficacia di tale modello richiede una configurazione bilanciata della triade, capace di alimentare intuizioni per l'innovazione attraverso la collabo-

ration areas in archaeological sites, etc.). This is connected to the second objective: in the case of the examined territory, the use of components suitable to a rapid renovation of roofing allows to use some abandoned rural buildings (palmenti, traditional premises for vinification, and abandoned facilities) in a short time and with minor costs, in order to cultivate the fields that have become productive again. These buildings could host all the activities in connection with hemp farming, the earliest processes before semi-processed products are included in industrial processes.

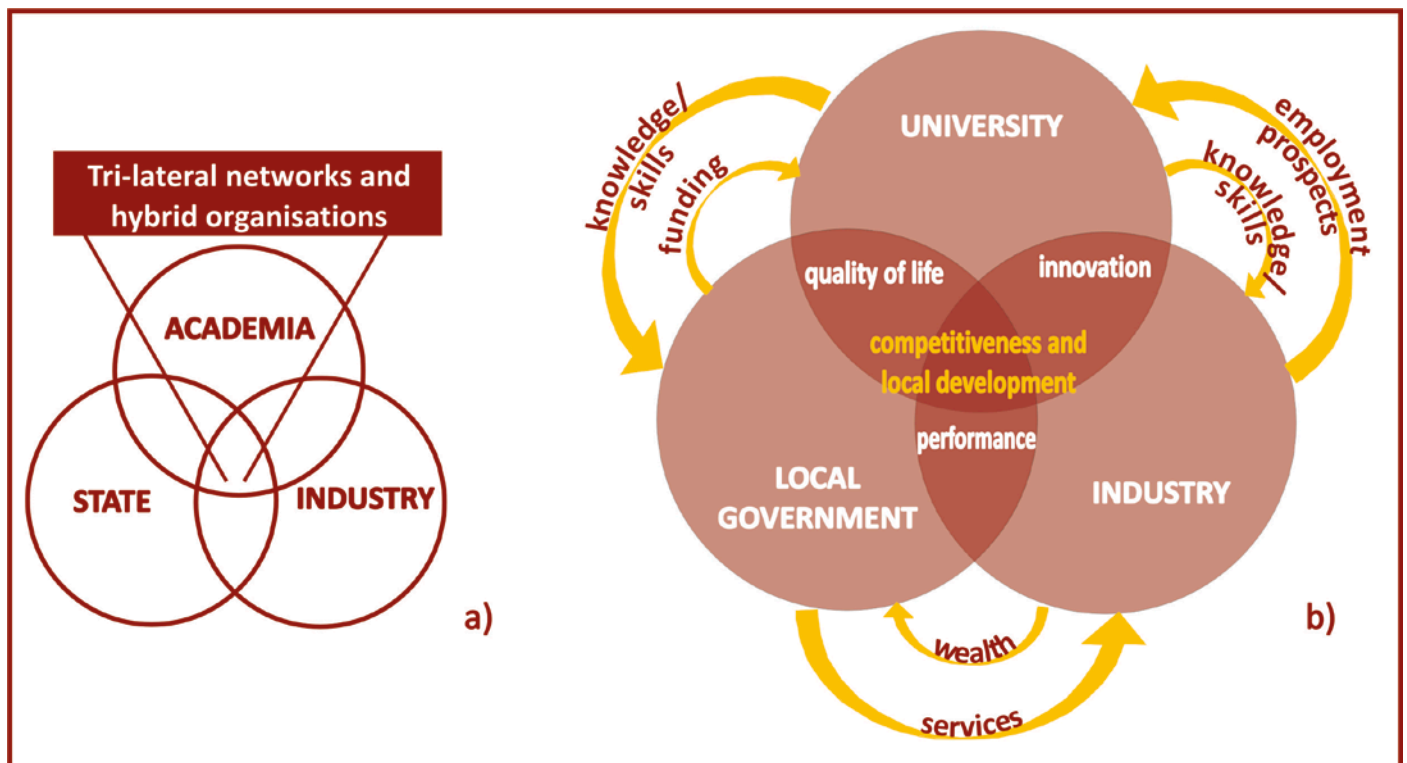
**The actors: academia/industry/government**  
The research proposes a local development model based on the relationships among University, the entrepreneurial sector and the public administration,

razione tra le tre sfere istituzionali e l'attuazione di iniziative congiunte (Ranga e Etzkowitz, 2013) (Fig. 2a). Tale interpretazione ha richiesto una rappresentazione in cui siano indicati i contenuti dell'interazione tra gli elementi della triade e i risultati di competitività e di sviluppo locale, conseguibili nelle aree di sovrapposizione (Fig. 2b). Sono infatti gli incroci delle sfere gli ambienti più favorevoli ad alimentare un continuo rinnovamento creativo, in cui la sinergia industria/governo sostiene la produttività, quella università/governo incrementa la qualità di vita attraverso una efficace definizione delle strategie di sviluppo, mentre quella università/industria produce innovazione. L'università ha il ruolo di incrementare e mettere a sistema saperi pluridisciplinari, trasferendoli sul territorio e contribuendo a determinare la qualità delle trasformazioni, in una prospettiva evolutiva improntata sulla sostenibilità nel lungo periodo; l'università valuta scenari alternativi, individua le risorse (fisiche, produttive, sociali, culturali) da immettere nel processo di innovazione, cura la regia del progetto. Lo *step* decisionale è supportato da una visione coerente di quanto potrebbe avvenire in futuro (Ringland, 1998); non una previsione, ma un possibile sviluppo, avendo individuato i possibili cambiamenti del contesto attraverso indicatori da cui decifrare necessità e tempi di modifica del processo (Porter, 1985; Pellicelli, 2005).

La pubblica amministrazione gioca un ruolo di responsabilità, con gli obiettivi di: governare, determinando un sistema di regole e controllandone il rispetto; programmare le strategie di sviluppo e le priorità di intervento, in funzione dei diversi caratteri del sistema di patrimoni presenti nell'area; coordinare un programma coerente, che coinvolga i differenti attori, facilitandone gli step organizzativi e finanziari (Dioguardi, 2007).

L'industria, infine, acquisisce conoscenze e competenze dall'interazione con l'Università, migliorando la qualità dei prodotti, e alimenta le condizioni di benessere della comunità producendo reddito. La sua capacità competitiva deriva dalla capacità di innovazione, che richiede l'apporto di tutti gli attori della triade.

**Il materiale bio-composito** Dalla fine degli anni '90 sono numerose le sperimentazioni relative all'uso della canapa (*cannabis sativa*) per la fitodepurazione di suoli inquinati da contaminanti organici e da metalli pesanti (tra gli altri, Ahmad et al., 2016). La canapa tende ad accumulare sostanze inquinanti nelle cellule epidermiche delle foglie (Linger et al., 2002), consentendo l'uso delle fibre e delle componenti legnose (canapulo) senza rischi per la salute. Oltre all'uso per la produzione di biocombustibili, la biomassa viene impiegata in diverse filiere di produzione.



L'ipotesi della fitodepurazione di suoli contaminati da metalli pesanti con *cannabis sativa* apre la strada a nuove direttrici di sviluppo nell'area industriale siciliana: la biomassa può essere reimpiegata per la realizzazione di componenti per l'edilizia, destinati sia al settore delle nuove costruzioni, sia al recupero del patrimonio costruito. Ciò contribuisce a incrementare la qualità di vita dell'area, favorendo la nascita di nuove imprese e la loro competitività grazie a una produzione a chilometro zero. Allo stesso tempo, il benessere socio-economico alimenta processi di riqualificazione e riuso, grazie alla rinnovata capacità di attrazione dell'area e alla disponibilità di un componente edilizio compatibile con il patrimonio costruito locale e a basso costo.

Nel mercato delle costruzioni, l'uso di bio-materiali si sta diffondendo rapidamente: il conglomerato di canapa è un bio-composito, costituito da canapulo e da un legante minerale, miscelati con acqua. Esso è realizzato con materiali rinnovabili e consente di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera sia durante la coltivazione della canapa (per la fotosintesi clorofilliana), sia durante la carbonatazione del legante (Florentin et al., 2017). Il composito, variando le proporzioni dei suoi componenti, può garantire prestazioni differenziate (Elfordy et al., 2008), che ne permettono molteplici usi in edilizia (tamponamenti, rivestimenti, isolamenti, intonaci, ecc.). L'elevata porosità (dovuta al canapulo) gli conferisce leggerezza e bassa conduttività termica (Cérézo, 2005), consente un'alta permeabilità, quindi un elevato assorbimento acustico (Glé et al., 2011), ma può comprometterne la resistenza meccanica.

inspired to the Triple Helix by Ektowitz and Leidersdorff (Ektowitz and Leidersdorff, 2000), interpreting the transition from the Industrial Society, dominated by the couple industry/government, to a Society of Knowledge, where activities such as research and university education hold a dominating role. The development of knowledge deriving from research and the transfer of competences within a local environment through training, as a matter of fact, promotes innovation, that in its turn generates development along with growing positive effects on a territory's quality of life. In order to be effective such model requires a balanced configuration of the three actors in the relationship, able to suggest innovation through the collaboration among the three institutional entities and the implementation of shared initiatives (Ranga and Etkowitz, 2013)

(Fig. 2a). This interpretation required a representation indicating the contents of such interaction, as well as the results in terms of competitiveness and local development, attainable in the areas where overlapping takes place (Fig. 2b). As a matter of fact, where overlapping occurs there are the most favourable environments for a continuous creative renewal, where the synergy industry/government supports productivity, while the synergy University/government improves the quality of life through an effective definition of development strategies, while the synergy University/industry produces innovation.

The University's task is to increase and systematise multidisciplinary knowledge, transferring them to the territory and helping determine the quality of transformations, in a perspective of evolution based on sustainability over

## Il progetto S[h]emper. Metodologia di ricerca

In questo scenario è maturata l'idea fondante della ricerca, che mixando "cicli biologici" di prodotti di consumo con "cicli tecnici" di prodotti d'uso, elabora un complesso sistema di processi, capace di attivare concrete dinamiche di rigenerazione del sistema insediativo (Fig. 2).

La sperimentazione condotta è partita dalla filiera agricola, puntando su un elemento biologico – la canapa – con finalità rigenerative per i suoli, ne ha esteso la vita in altre forme, progettando un sistema di componenti non ancora presente sul mercato – lastre di copertura con la duplice funzione di manto e strato isolante – da utilizzare nel recupero e nella nuova costruzione.

Con riferimento alla normativa tecnica, sono stati individuati i requisiti del componente, per la verifica prestazionale da effettuare sui prototipi, e sono state definite le caratteristiche morfologico-dimensionali delle lastre, formulando ipotesi sui dosaggi per la composizione del materiale. Per l'impiego delle lastre in copertura è stato indispensabile introdurre prestazioni di stabilità morfologica, impermeabilità ai liquidi e permeabilità ai fluidi aeriformi. Tale esigenza ha condotto alla sperimentazione degli effetti di additivi sintetici e naturali per impermeabilizzazione, valutandone gli effetti dell'impiego nell'impasto o mediante applicazione superficiale.

La metodologia di ricerca è stata articolata nelle seguenti fasi:

1. Elaborazione dello schema di processo (Fig. 3);
2. Analisi delle caratteristiche del bio-composito per l'edilizia;
3. Metaprogetto: individuazione dei requisiti del nuovo sistema di copertura in bio-composito; i requisiti utili per un protocollo di verifica<sup>2</sup> sono raccolti in una tabella sinottica elaborata a partire dalle Norme UNI (8289:1981; 8290-2:1983; 8627:2012), integrando requisiti di nuova definizione finaliz-

the long term. University considers alternative situations, identifies resources (whether physical, productive, social, cultural) to be included in the innovation process, and takes charge of project direction. The decisional step is supported by a consistent vision about what could occur in the future (Ringland, 1998); it is not a prediction, but a possible development, after having identified possible changes in the context through indicators able to report the needs and time requirements to change the process (Porter, 1985; Pellicelli, 2005).

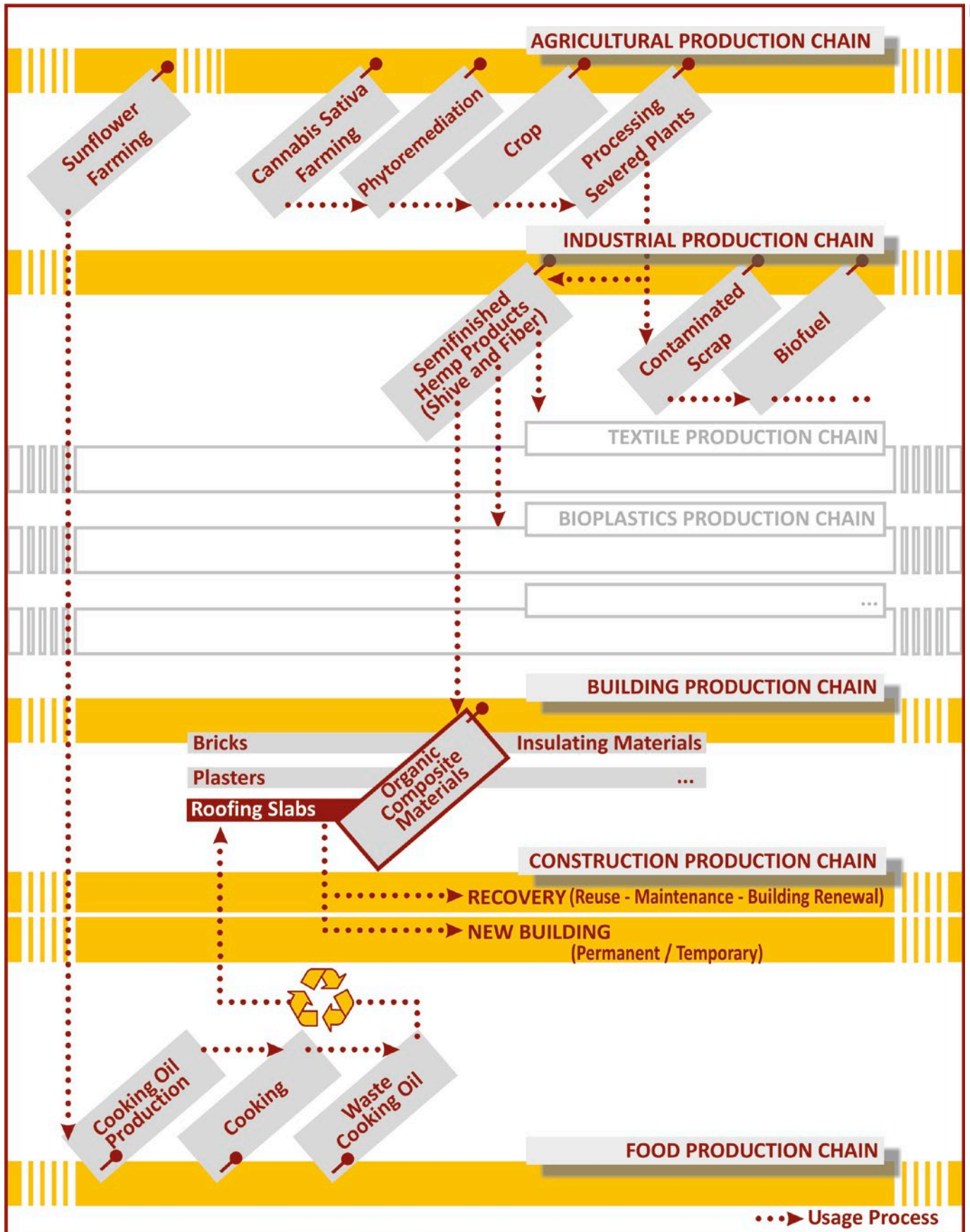
Public administration has a responsibility and the tasks to: govern, determining a system of rules and its respect; plan development strategies and action priorities depending on the different features of heritage falling within a specific area; coordinate a consistent operation programme, involving the several

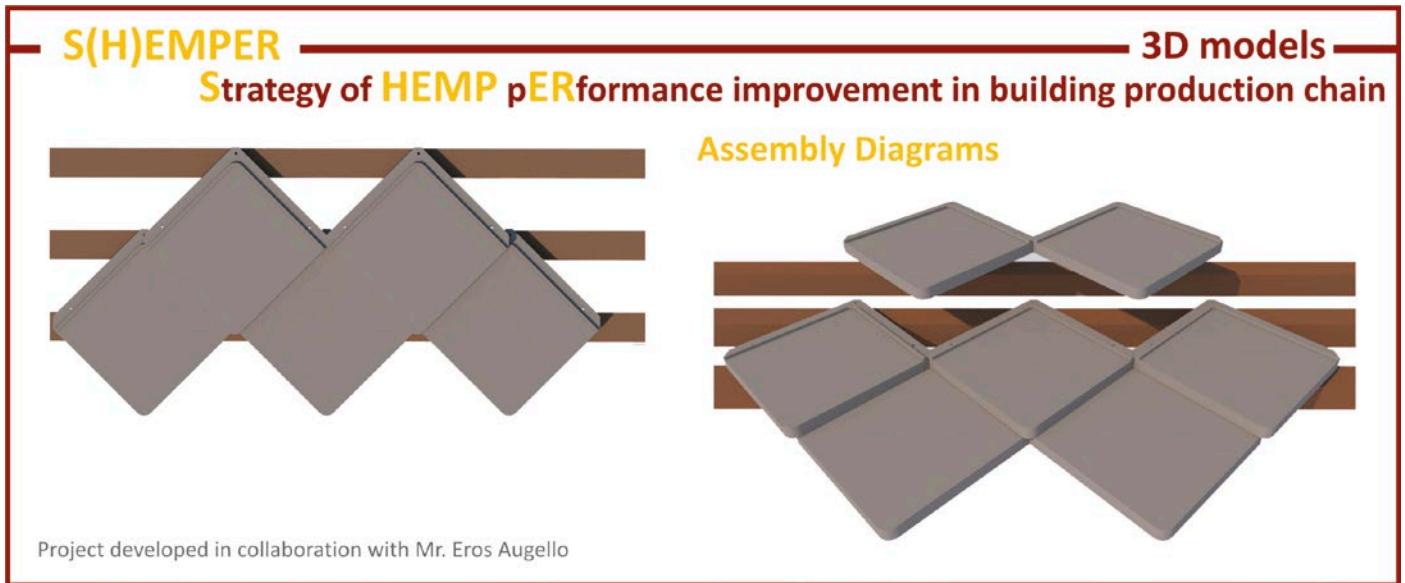
actors, facilitating organisational and financial steps (Dioguardi, 2007).

Last, industry acquires knowledge and competences from the interaction with University, improving the quality of products, and promotes the wellbeing of the community by producing income. Its competitive ability derives from the ability to innovate, that requires a contribution by all the actors of this tri-lateral network.

### The biocomposite material

Starting from the late 1990s, several experimentations on the use of hemp (*cannabis sativa*) were carried out for phytodepuraton of soils contaminated by organic pollutants and heavy metals (among others, Ahmad et al., 2016). Hemp tends to accumulate polluting substances in epidermal cells of leaves (Linger et al., 2002), allowing the use of fibre and wooden parts (shive) without





- zati a migliorare il comportamento dell'intero sub-sistema;
4. Sperimentazione: realizzazione di provini e verifica prestazionale sui prototipi in laboratorio<sup>3</sup>;
  5. Progetto: costruzione di un abaco degli elementi costituenti il nuovo sistema di copertura (modulo base, dispositivi tecnici, pezzi speciali, modalità di assemblaggio/posa in opera). La forma del modulo base è quadrata e piana, scelta dettata dalla semplicità di una regola di montaggio già presente in architettura (Fig. 4); non è da escludere la reinterpretazione in altre forme. La dimensione è funzionale al passo dell'orditura delle travi, in modo da consentire con pochi pezzi la realizzazione di vaste aree coperte,

health risks. Besides its use for the production of biofuels, biomass is used in several production chains. The hypothesis of phytodepuration of soils contaminated by heavy metals through *cannabis sativa* leads the way to new development opportunities in this Sicilian industrialised area: biomass can be reused to carry out components for building, destined both to brand-new buildings and to the renovation of existing buildings. This contributes to improve the area's quality of life, favouring the creation of new enterprises and promoting their competitiveness thanks to a strictly local production. At the same time, socio-economic prosperity promotes processes such as requalification and reuse, thanks to this renewed ability to attract that will characterise such an area, and to the availability of a building component that is compatible with

the existing buildings and low-cost. The use of biomaterials in the field of building is spreading rapidly: hemp conglomerate is a biocomposite, consisting of shive and a mineral binder, mixed with water. It is made with renewable materials and allows to reduce CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere, both during hemp cultivation (thanks to photosynthesis) and during carbonation of the binder (Florentin et al., 2017). By varying the dosage of its components, the composite can guarantee different performances (Elfordy et al., 2008) that allow multiple uses in construction (infills, coating, insulation, plasters, etc.). Its high porosity (due to shive) conveys lightness and low heat conduction (Cérézo, 2005), ensures high permeability and therefore a high acoustic absorbance (Glé et al., 2011), but can hinder its mechanical resistance.

6. Validazione: verifica della versatilità (Integrabilità) tra recupero, manutenzione e nuova costruzione (temporanea e permanente).

#### Sperimentazione sul biocomposito canapa-calce


Il prototipo di lastra di copertura ha richiesto una verifica prestazionale riconducibile ai requisiti di stabilità morfologica, impermeabilità ai liquidi e ai

#### The S[h]emper project: research methodology

In such a context, the basic idea at the core of this research has come to life: mixing biological cycles of consumption products with technical cycles of usage products, leads to a complex system constituted by several processes, able to activate tangible actions for regeneration of the inhabited system (Fig. 2). The experimentation started with the agricultural production chain, focusing on a natural element – hemp – with the aim to regenerate soils; its life was extended by producing new products out of it, designing a system of components that are not on the market yet: roofing slabs with a double function: mantle and insulation layer, to be used in restoration works and in the construction of new buildings.








With reference to technical norms, the component's requirements have been identified – concerning the performance verification to be carried out on the prototypes; and the morphological-dimensional characteristics of the slabs have been defined, making hypotheses on dosages for the material's composition. In order to use the slabs as coverings, it was indispensable to introduce performances of morphological stability, impermeability to liquids and permeability to gaseous fluids. Such need led to experiment the effects of synthetic and natural additives to obtain impermeability, evaluating their effects when they are included in the mixture or through application on surfaces. The research methodology was carried out in the following phases:

1. Elaboration of the scheme process (Fig. 3);







## Sample Preparation

### Materials





 Water (a)  Cement (b)  Air Lime (c)	 Hydraulic Lime NHL 3.5 (d)  Hemp Shive (3.5 mm) (e)  Hemp Shive (1.0 mm) (f)  Hemp Fiber (g)
---	--


### First Phase







1 2

Samples





### Second Phase


1

2

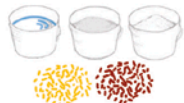
3


4

5





a,b,d,e,f



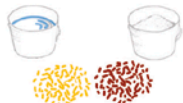



a,d,e,f



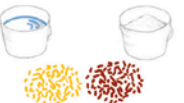



a,d,e,f






a,d,e,f





a,c,d,e,f



2. Analysis of the biocomposite characteristics for construction;
3. Metaproject: identifying the new covering system's requirements in the biocomposite; requirements useful for a verification protocol<sup>2</sup> are collected in a table elaborated according to UNI Norms (8289:1981; 8290-2:1983; 8627:2012), integrating newly-defined requirements aimed at improving the behaviour of the whole sub-system;
4. Experimentation: carry out some

testing and verify performances on the prototypes in lab<sup>3</sup>;

5. Project: elaboration of a chart of elements constituting the new roofing system (basic module, technical devices, special parts, assembly/installation mode). The basic module is squared and flat, following an assembly rule already established in architecture thanks to its simplicity (Fig. 4); other possible shapes are not excluded. Size is functional to the pattern of the roof frame, in

order to allow to cover wide areas with a limited number of pieces; fixing system is simple and quick in order to give immediate covering and availability for use. The element's lightness is fundamental in the project of temporary regeneration;

6. Validation: verifying versatility (ability to integrate) in terms of regeneration, maintenance and new buildings (temporary and permanent).

**Experimentation on the hemp-lime biocomposite**  
The prototype of roofing slab required a performance verification linked to the requirements of morphological stability, impermeability to liquids and gaseous fluids in order to ensure adequate indoor comfort conditions. The mechanical behaviour and insulation ability of the biocomposite is strongly conditioned by the presence of vegetable aggregates of hemp shive and fibre (Arnaud and Gourlay, 2012;



fluidi aeriformi, al fine di garantire adeguate condizioni di comfort indoor. Il comportamento meccanico e di isolamento termo-igrometrico del bio-composito risulta fortemente condizionato dalla presenza degli aggregati vegetali del canapulo e della fibra di canapa (Arnaud e Gourlay, 2012; Benfratello et al., 2013) che, insieme alla matrice di leganti minerali e acqua, costituiscono il conglomerato di canapa (Fig. 5).

Nella prima fase di sperimentazione, è stata effettuata la verifica prestazionale relativa alla stabilità morfologica del provino. Attraverso l'esecuzione di campioni del bio-composito è stato possibile definire i dosaggi dei componenti del conglomerato in funzione dei requisiti da soddisfare. Gli aggregati vegetali utilizzati in questa fase sono costituiti da canapulo – con due diverse granulometrie – e fibra di canapa. Per garantirne la coesione, sono stati impiegati leganti idraulici (cemento bianco e calce idraulica NHL 3,5) e calce aerea.

Per i primi due campioni è stato utilizzato esclusivamente canapulo con granulometria di 3,5 mm. Il primo campione, costituito da canapulo, cemento, acqua e rinforzato con fibra di canapa, ha evidenziato scarsa coesione tra i componenti e scarsa resistenza alle azioni meccaniche.

Per questo motivo è stata modificata la composizione del legante, dimezzando la concentrazione di cemento bianco e sostituendolo con ugual concentrazione di calce idraulica naturale, senza tuttavia raggiungere livelli prestazionali adeguati. Tali risultati sono principalmente riconducibili alla scarsa compatibilità tra cemento e canapulo e all'elevata porosità del composito in funzione della granulometria dell'aggregato.

Nei successivi campioni sono state utilizzate granulometrie di canapulo da 1 mm, riducendo la porosità del bio-composito e in-

crementando la resistenza meccanica (Arnaud e Gourlay, 2012), con una matrice costituita esclusivamente da calce idraulica. La nuova composizione non ha risolto, tuttavia, i problemi di coesione tra legante e aggregati vegetali. Per questo motivo si è scelto di introdurre calce aerea in quantità doppia rispetto a quella idraulica, con un duplice beneficio: l'utilizzo di un materiale prodotto in loco e gli effetti di volano termico e controllo dell'umidità determinati dalle capacità igroscopiche e di traspirabilità del legante aereo. Il campione realizzato con calce aerea ha mostrato adeguati livelli di stabilità morfologica e di traspirabilità.

La seconda fase di sperimentazione ha affrontato la verifica delle prestazioni di comfort indoor (impermeabilità ai liquidi e ai fluidi aeriformi). La ricerca è stata orientata all'individuazione di trattamenti idrofobi del bio-composito, attraverso l'impiego di prodotti idrorepellenti sia sulla superficie, che nell'impasto. Le verifiche di laboratorio sui film impermeabilizzanti dei provini hanno confermato alti livelli di impermeabilità ai liquidi e di permeabilità al vapore acqueo. Tuttavia, tale soluzione richiede un significativo incremento della frequenza degli interventi manutentivi, con elevati costi di esercizio.

Pertanto, è stato vagliato l'impiego di idrorepellenti naturali nell'impasto: recenti studi sull'utilizzo di malte idrofobiche a base di calce, addizionate con olii vegetali (Fang et al., 2014; Nunes e Slížková, 2014), hanno orientato la sperimentazione verso l'uso di olii della filiera alimentare (Beracca e Fichera, 2013) e, in particolare, di olii esausti da cucina da riciclare (Pahlavan, 2017). I campioni (calce aerea ed idraulica, aggregati di granulometria differente di canapulo, acqua) sono addizionati con due diversi tipi di olii esausti (olio alto-oleico e olio alto-linoleico), in differenti percentuali nell'impasto (1,5% e 13%), per valutarne il

Benfratello et al., 2013) that along with the complex of mineral binders and water, constitute the hemp conglomerate (Fig. 5).

In the first phase of experimentation, the performance about morphological stability was tested in the models. Some samples of this biocomposite were carried out in order to define the dosage of its components according to the requirements. Vegetable aggregates used in this phase are represented by hemp shive – with two different granulometries – and fibre. In order to ensure cohesion, hydraulic binders were used (white cement and hydraulic lime NHL 3.5) and air lime.

With the first two samples, only 3.5-mm granulometry shive was used. The first sample, constituted by shive, cement, water, and reinforced with hemp fibre, proved poor cohesion among its components and poor resistance to

mechanical actions.

For this reason, the binder composition was modified, putting half the concentration of cement, while the other half was natural hydraulic lime; however, the performance level was not appropriate. Such results are mainly caused by the poor compatibility between cement and shive and the high porosity of the composite according to the aggregate's granulometry.

In the following samples, 1-mm shive was used, reducing the biocomposite's porosity and increasing mechanical resistance (Arnaud and Gourlay, 2012), with a matrix constituted only by hydraulic lime. The new composition, however, did not solve the cohesion issues between binder and vegetable aggregates. For this reason, it was chosen to use the double amount of air lime compared to hydraulic lime, with a double benefit: the use of a material

produced locally and the positive effects in controlling temperature and humidity, determined by hygroscopic abilities and transpirability of the air binder. The sample carried out with air lime showed appropriate levels of morphological stability and transpirability. The second testing phase dealt with the verification of indoor comfort performances (impermeability to liquids and gaseous fluids). The research was aimed at finding some hydrophobic treatments for the biocomposite, through water-repellent products used both on surface and in the mixture. Lab verification on water-proof films of the models have confirmed the high level of impermeability to liquids and permeability to water vapour. However, such a solution requires a significant increase in the frequency of maintenance works, causing a high running cost.

Therefore, the use of natural water-repellent substances in the mixture was tested: recent studies on the use of lime-based hydrophobic mortar, with the addition of vegetable oils (Fang et al., 2014; Nunes and Slížková, 2014), have directed testing towards the use of oils derived from the food production chain (Beracca and Fichera, 2013) and, in particular, waste oils from cooking to be recycled (Pahlavan, 2017).

The samples (air and hydraulic lime, aggregates with shive in different granulometry, water) are added with two different types of waste oil (high oleic oil and high linoleic oil), with different percentages in the mixture (1.5% and 13%), in order to evaluate their hydrophobic degrees. Verifications on such samples are still ongoing, but the hydrophobic degrees acquired by the biocomposite look promising, without any significant alteration of mechanical properties.

grado di idrofobicità. Le verifiche su tali campioni sono tuttora in corso, ma promettenti risultano i livelli idrofobici acquisiti dal bio-composito, senza significative alterazioni delle proprietà meccaniche.

## Conclusioni

La “rigenerazione” è un progetto complesso, multiscalare, che copre un arco temporale lungo, implicando un concetto fondamentale: quello della “continuità”. Si intende, infatti, non solo far rinascere a nuova vita i luoghi, ma anche riconnettere le potenzialità in essere in un processo virtuoso, che ricostruisca relazioni tra qualità, risorse e identità del territorio, individuando tra le opportunità dell’ambiente (*strategic fit*) gli elementi trainanti per la sperimentazione e l’innovazione produttiva, sociale e culturale. L’innovazione conseguita attraverso la sperimentazione del bio-composito costituisce l’avvio di percorsi di progettazione a diverse scale:

- il progetto dell’interazione tra i soggetti coinvolti e, in particolare, del ruolo dell’Università nei processi di rigenerazione territoriale fondati sulla costruzione di una nuova Società della Conoscenza;
- il progetto dell’integrazione tra le filiere produttive (agricola, alimentare, industriale ed edilizia), che determina la fattibilità del processo di riconversione dell’area industriale e conferisce competitività al nuovo prodotto;
- il progetto del suo uso nel recupero, nella manutenzione e nella nuova costruzione (per strutture temporanee e permanenti), che richiede il dialogo con sistemi costruttivi e tecnologie della tradizione e offre l’opportunità di creare nuovi linguaggi architettonici;

## Conclusions

Regeneration is a complex project, on a multiple scale, that occupies a long period of time, implying a fundamental concept: continuity. The aim is, as a matter of fact, to give a new life to some places but also reconnect the potentials within those places in a virtuous process, that should rebuild high-quality relationships, resources and identity in a territory, identifying among local opportunities those elements which could boost experimentation and product innovation, as well as from a social and cultural point of view. Innovation obtained through the testing of bio-composite represents the start of designing projects on different scales:

- interaction among the involved actors: in particular, University has a key role in the processes of territory regeneration based on the construc-

tion of a new Society of Knowledge;

- the project aimed at integrating production chains (in agriculture, food, industry and building), that determines feasibility of the reconversion process for the industrial sites and provides competitiveness to this new product;
- the project of using through reuse, maintenance and new buildings (for permanent and temporary facilities), that needs to take into account traditional construction systems and technologies and provides the opportunity to create new architectural languages;
- the project of the component that will be carried out with the new bio-composite.

## NOTES

<sup>1</sup> The research titled “Sustainable regeneration of urban-industrial ter-

- il progetto del componente che sarà realizzato con il nuovo bio-composito.

## NOTE

<sup>1</sup> La ricerca dal titolo “La rigenerazione sostenibile dei territori urbano-industriali: conoscenza, strategie e pratiche”, coordinata dal prof. Marco Navarra, ha coinvolto numerosi settori scientifico-disciplinari. L’articolo illustra il contributo del Laboratorio ManUrba dell’Università degli Studi di Catania. Alla sperimentazione hanno partecipato: il Prof. Vittorio Fiore, la Prof. Stefania De Medici, la Ph.D. Arch. Carla Senia, con la collaborazione del dott. Eros Augello e della Società Cooperativa Guglielmino di Catania per la realizzazione dei provini.

<sup>2</sup> Per la classe di esigenza Sicurezza, la Comodità d’Uso e Manovra consente di verificare le modalità di messa in opera. Per il Benessere: Impermeabilità ai Liquidi, Impermeabilità ai Fluidi Aeriformi, Tenuta all’Aria, Stabilità Morfologica costituiscono requisiti necessari per tutti gli elementi dell’involucro. Per l’Aspetto e la Gestione si introducono requisiti di nuova definizione relativi alla durata degli esiti architettonici, produttivi e manutentivi (Controllo del Fattore Cromatico, Controllo della Finitura Superficiale, Valenza Architettonica della Texture, Disponibilità sul Mercato, Sostituibilità).

<sup>3</sup> Per i dettagli della sperimentazione si rinvia ai report della ricerca FIR 2014, menzionata nella nota 1.

## REFERENCES

Ahmad, R., Tehsin, Z., Tanvir Malik, S., Ahmad Asad, S., Shahzad, M., Bilal, M., Maroof Shah, M. and Khan, S.A. (2016), “Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes”, *CLEAN - Soil Air Water*, Vol. 44, No. 2, pp. 195-201.

Arnaud, I. and Gourlay, E. (2012), “Experimental study of parameters influencing technical properties of hemp concretes”, *Construction and Building Materials*, Vol. 28, pp. 50-56.

ritories: knowledge, strategies and practices”, coordinated by Prof. Marco Navarra, has involved many scientific-disciplinary sectors. The article illustrates the contribution provided by lab ManUrba of the University of Catania. To the experimentation have also participated: Prof. Vittorio Fiore, Prof. Stefania De Medici, Ph.D. Architect Carla Senia, with the collaboration of Mr. Eros Augello and the company Società Cooperativa Guglielmino from Catania for the construction of models.

<sup>2</sup> As of the need class of Safety, Comfort of Use and Manoeuvring allows to verify the installation modes. As of the need class of Comfort: Impermeability to liquids, Impermeability to Gaseous Fluids, Resistance to air, Morphological Stability all constitute necessary requirements for all elements of the casing. As of the need class of Aspect

and Management, newly-defined requirements are introduced and related to the duration of architecture, production and maintenance results (Control of Chromatic Factor, Control of Surface Finish, Architectural Value of Texture, Availability on the market, Replaceability).

<sup>3</sup> The details of the experimentation can be found in the research report FIR 2014, mentioned in note 1.

- Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G. and Sorrentino, G. (2013), "Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite", *Construction and Building Materials*, Vol. 48, pp. 745-754.
- Beracca, F. and Fichera, C.R. (2013), "Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation", *Energy Build.*, Vol. 62, pp. 507-513.
- Capuano, A. (2014), *Paesaggi di rovine, paesaggi rovinati*, Quodlibet Studio, Macerata.
- Cérézo, V. (2005), "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique", Ph.D. thesis, MEGA INSA de Lyon.
- Dioguardi, G. (2007), *Le imprese rete*, Bollati Boringhieri, Turin.
- Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y. and Goudet, L. (2008), "Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process", *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 2116-23.
- Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000), "The dynamics of innovation: From national systems and "mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations", *Research Policy*, Vol. 29, No. 2, pp. 109-123.
- Fang S., Zhang, B. and Li, G. (2014), "A study of Tung oil lime putty: a traditional lime based mortar", *Int. J. Adhes*, Vol. 48, pp. 224-230.
- Florentin, Y., Pearlmutter, D., Givoni, B. and GalJacob, E. (2017), "A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials", *Energy and Buildings*, Vol. 156, pp. 293-305.
- Freeman, J.L., Persans, M.W., Nieman, K., Albrecht, C., Peer, W., Pickering, I.J. and Salt, D.E. (2004), "Increased glutathione biosynthesis plays a role in nickel tolerance in *Thlaspi nickel hyperaccumulators*", *Plant Cell*, Vol. 16, pp. 2176-2191.
- Gangemi, V. (1988), *Architettura e tecnologia appropriata*, FrancoAngeli, Milan.
- Glé, P., Gourdon, E. and Arnaud, L. (2011), "Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity", *Appl Acoust*, Vol. 72, pp. 249-59.
- Linger, P., Mussig, J., Fischer, H. and Kobert, J. (2002), "Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential", *Ind. Crop. Prod.*, Vol. 16, pp. 33-42.
- Nunes, C. and Slízková, Z. (2014), "Hydrophobic lime based mortars with linseed oil: characterization and durability assessment", *Cem. Concr. Res.*, Vol. 61-62, pp. 28-39.
- Pahlavan, P., Manzi, S., Rodriguez-Estrada, M.R. and Bignozzi, M.C. (2017), "Valorization of spent cooking oils in hydrophobic waste-based lime mortars for restorative rendering applications", *Construction and Building Materials*, Vol. 146, pp. 199-209.
- Pellicelli, G. (2005), *Strategie d'impresa*, Egea, Milan.
- Porter, M.E. (1985), *Competitive Advantage*, The Free Press, Boston, MA, USA.
- Ranga, M. and Etzkowitz, H. (2013), "Triple Helix Systems: An Analytical Framework for Innovation Policy and Practice in the Knowledge Society", *Industry and Higher Education*, Vol. 27, No. 4, pp. 237-262.
- Ringland, G. (1998), *Scenario Planning. Managing for the Future*, Wiley, New York, USA.
- Tran Le, A.D., Maalouf, C., Mai, T.H., Wurtz, E. and Collet, F. (2010), "Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope", *Energy Build*, Vol. 42, pp. 1797-1806.