

Emilio Antoniol, Margherita Ferrari,
Dipartimento Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

antoniolemilio@iuav.it
margheritaf@iuav.it

Abstract. Contesti di crisi come l'area MENA permettono di prefigurare scenari efficaci di sviluppo sostenibile, basati su sistemi di produzione locale supportati dall'innovazione digitale. Il costante scambio di *know how* tra l'area MENA e il continente europeo si pone come uno strumento fondamentale in cui i processi di trasferimento tecnologico contribuiscono ad accelerare e rendere più efficaci i processi di trasformazione in atto. Il contributo indaga l'efficacia dell'utilizzo di risorse locali per la produzione di componenti edili attraverso l'impiego di tecnologie innovative inserite in processi di economia circolare. Obiettivo di tale analisi è valutare le possibilità di trasferimento di tecnologie abilitanti dal contesto italiano a quello MENA quale strumento per la riattivazione economica in un'ottica di circolarità.

Parole chiave: MENA region; Ricostruzione; Economia circolare; Trasferimento tecnologico; Tecnologie abilitanti.

Le Afriche e la transizione circolare

Negli ultimi anni, l'interesse di ricerca verso "le Afriche" (Albrecht, 2014) si è intensificato,

non solo in riferimento al recupero di tecniche costruttive tradizionali ma, in contesti come quello nordafricano e del Medio Oriente (MENA – *Middle East and North Africa*), anche per le frequenti crisi socio-politiche che hanno causato la distruzione di patrimoni architettonici e produttivi facendo emergere la necessità di individuare soluzioni più sostenibili ed efficienti per la ricostruzione (Felwine, 2018; Albrecht, 2019).

Nei contesti di crisi si possono infatti prefigurare scenari di sviluppo particolarmente efficaci basati su sistemi di produzione locale e circolare, e supportati dall'innovazione tecnologica offerta dalle tecnologie dell'industria 4.0. Da questo punto di vista il costante scambio di *know how* tra l'area MENA e il continente europeo si pone come un necessario volano di crescita per entrambi i contesti offrendo possibilità di sviluppo economico e

aprendo nuovi scenari di mercato per le imprese. Se in ambito MENA sono numerose le ricerche di innovazione della produzione edilizia secondo modelli di economia circolare, volti soprattutto al recupero di rifiuti o al riutilizzo di scarti di origine vegetale per la realizzazione di materiali edili (Antoniol, 2021), a livello europeo l'interesse per queste regioni è progressivamente cresciuto nell'ottica di costruire strategie condivise per lo sviluppo futuro.

Nel 2014 la mostra *Big Change Big Chance* portò alla Triennale di Milano una riflessione sull'architettura africana e sul suo impatto internazionale, raccogliendo esperienze e progetti su diversa scala, dai piccoli centri abitati alle infrastrutture territoriali, a testimoniare una continua evoluzione nelle soluzioni progettuali, ma anche una costante attenzione alle mutate condizioni climatiche (Albrecht, 2014). Lo scenario descritto dalla mostra si confronta anche con una tecnologia in evoluzione, presentata mediante "cataste" realizzate con materiali e prodotti innovativi per l'edilizia, come i profili in acciaio sagomato a freddo o quelli pultrusi in fibra di vetro (Ferrari, 2014). Un'evoluzione tecnologica che si muove verso una sempre più diffusa digitalizzazione, accrescendo la capacità di adattamento delle tecniche costruttive tradizionali e aprendo contestualmente nuovi filoni di sperimentazione, specialmente in contesti di crisi (Gramazio and Kohler, 2014).

Nel 2019 la ricerca "Esportare la ricostruzione, componentistica innovativa e nuovi mercati per il sistema produttivo veneto. Tecnologie costruttive sostenibili per la ricostruzione postbellica nei paesi MENA"¹ ha svolto un'ulteriore indagine riferita agli scenari di sviluppo sostenibile in cui tecnologie innovative di matrice europea e tecniche costruttive locali dell'area MENA fossero in-

From crisis to a sustainable future. Processes of technology transfer from Europe to the MENA region

Abstract. Crisis contexts such as the MENA region allow us to envision effective scenarios of sustainable development based on local production systems supported by digital innovation. The constant exchange of *know-how* between the MENA area and the European continent represents a fundamental tool in which processes of technology transfer help to accelerate the transformation processes currently underway and make them more effective. This paper investigates the effectiveness of using local resources for producing building components by means of innovative technologies based on circular economy processes. The objective of this analysis is to evaluate the possibilities of transferring enabling technologies from the Italian context to that of MENA as a tool for economic reactivation directed towards circularity.

Keywords: MENA region; Reconstruction; Circular economy; Technology transfer; Enabling technologies.

The Africas and the circular transition

In recent years, research interest in the "Africas" (Albrecht, 2014) has intensified, not only in reference to the recovery of traditional construction techniques but, in contexts such as Middle East and North Africa (MENA), also because of the frequent socio-political crises that have caused the destruction of architectural and productive heritage, highlighting the need to identify more sustainable and efficient solutions for reconstruction (Felwine, 2018; Albrecht, 2019).

In crisis contexts, in fact, particularly effective development scenarios can be envisaged based on local and circular production systems, which can also be supported by the technological innovation offered by the technologies of industry 4.0. From this point of view, the constant exchange of *know-how*

between the MENA area and the European continent is a necessary driver of growth for both contexts, offering opportunities for economic development and opening up new market scenarios for companies. While in the MENA region a lot of research is being carried out into innovation in building production according to circular economy models, aimed above all at recovering waste or reusing plant-based leftovers for the construction of building materials (Antoniol, 2021), at European level the interest in these regions has progressively grown with a view to building shared strategies for future development.

In 2014, the *Big Change Big Chance* exhibition brought a reflection on African architecture and its international impact to the Milan Triennale, gathering experiences and projects on different scales, from small towns to

tegrate in processi produttivi circolari. In particolare, la ricerca ha condotto un'analisi su sistemi costruttivi sviluppati in Italia e applicabili nei processi di ricostruzione dei paesi MENA colpiti dalla guerra. Lo studio ha individuato tecnologie costruttive volte a rispondere a specifiche esigenze del contesto geografico di riferimento, come la scarsità di risorse o il collasso del sistema produttivo, partendo da alcune esigenze strategiche per lo sviluppo di plausibili scenari di ricostruzione. Tra questi particolare rilievo hanno assunto l'uso efficiente e sostenibile delle risorse locali, specie quelle di scarto, in un'ottica di economia circolare, e l'attivazione di processi di produzione sostenibili mediante il trasferimento di tecnologie abilitanti dal contesto europeo a quello MENA.

Le nuove tecnologie nei processi di ricostruzione

Una tra le principali sfide che ci attendono nel prossimo futuro è quella di ripensare i modelli di produzione per attivare processi più sostenibili e circolari in cui il consumo di risorse e la produzione di rifiuti siano minimizzate. Se a livello europeo azioni di transizione verso questi processi sono sostenute da strategie come quella del *Green Deal* Europeo e da programmi di ricerca come *Horizon 2021-2027*, in ambiti come l'area MENA tali azioni trovano meno supporto. Tuttavia proprio in contesti di crisi, dove la disponibilità di mezzi e risorse sono limitati, tale transizione risulta fondamentale e necessaria per la riattivazione di un tessuto socio-economico fragile e instabile. Il contributo intende per questo indagare l'efficacia dell'uso di risorse locali per la produzione di componenti edili attraverso l'impiego di processi di economia circolare e di tecnologie innovative: tale indagine è elaborata negli scenari plausibili per la

territorial infrastructures, to shed light on a continuous evolution in design solutions, while also paying constant attention to changing climatic conditions (Albrecht, 2014). The scenario described by the exhibition is also confronted with evolving technology, presented through "stacks" made with innovative building materials and products, such as cold-formed steel profiles or pultruded fibreglass profiles (Ferrari, 2014). This technological evolution moves towards an increasingly widespread digitisation, improving the adaptability of traditional construction techniques and simultaneously opening up new lines of experimentation, especially in crisis contexts (Gramazio and Kohler, 2014). In 2019, the research "Exporting reconstruction, innovative components and new markets for the Veneto production system. Sustainable construc-

tion technologies for post-war reconstruction in MENA countries"¹ carried out a further investigation by referring to sustainable development scenarios in which innovative technologies of European origin and local construction techniques from the MENA area were integrated within circular production processes. In particular, the research conducted an analysis on construction systems developed in Italy and applicable to the reconstruction processes of the MENA countries affected by war. The study identified construction technologies aimed at responding to the specific needs of the geographical context of reference, such as a scarcity of resources or the collapse of the production system, starting from various strategic needs for the development of plausible reconstruction scenarios. Among these, particular importance was given to the

ricostruzione dei centri urbani dell'area MENA caratterizzata negli ultimi decenni da ripetuti conflitti che hanno provocato ingenti danni alle città e ai territori della regione. La ricostruzione diviene in tali ambiti condizione in cui riformulare il valore stesso della sostenibilità (Albrecht, 2019), ridefinendo anche quello di "tecnologia 4.0" e i processi di trasferimento tecnologico in relazione a sistemi costruttivi e materiali delle tradizioni locali. Il carattere flessibile rende queste tecnologie adattabili al contesto specifico, consentendo di valorizzare le risorse disponibili.

Testimonianza di questo approccio, che integra nuove tecnologie, progettazione parametrica e tecniche tradizionali, è il progetto *African Fabbers School* a cura di Paolo Cascone e CODESIGN-LAB, tra i più consolidati in questo contesto. Nato nei primi anni del Duemila come progetto formativo itinerante, toccando vari Paesi dell'Africa come Senegal e Marocco, dal 2018 ha sede a Douala in Camerun. Nei laboratori della scuola trovano spazio varie stampanti 3D FDM e una macchina a controllo numerico, oltre ad altre macchine utensili. Nel 2019, ad esempio, proprio in questi spazi hanno preso forma le parti edilizie che compongono la *African Fabbers House*, realizzata con un telaio strutturale ligneo, pannelli fresati con macchine a controllo numerico ed elementi in argilla stampati e lavorati a mano. La scuola, che accoglie studenti e artigiani del luogo, affianca alla progettazione parametrica la valorizzazione della cultura vernacolare, comprendente i materiali e le tecniche costruttive tipiche del territorio, ponendo le basi per sviluppare un modello economico e produttivo differente, capace di valorizzare le risorse, sia umane che materiali² (Fig. 1).

In senso più ampio i processi di trasferimento tecnologico, sia tra settori e ambiti differenti che tra contesti socio-economici diversi, risultano uno strumento fondamentale per accelerare

efficient and sustainable use of local resources, especially waste, from the perspective of a circular economy, and the activation of sustainable production processes through the transfer of enabling technologies from the European context to that of MENA.

New technologies in reconstruction processes

One of the main challenges facing us in the near future is to rethink production models in order to activate more sustainable and circular processes that minimise the consumption of resources and the production of waste. While transition actions towards these processes are supported at European level by strategies such as that of the European Green Deal and by research programmes such as *Horizon 2021-2027*, in areas such as the MENA region these kinds of actions find less

support. However, this transition is especially fundamental and necessary for the reactivation of a fragile and unstable socio-economic fabric in the context of crises, where the availability of means and resources are limited.

To this end, this article intends to investigate the effectiveness of using local resources for the production of building components through circular economy processes and innovative technologies. This investigation is elaborated through plausible scenarios for the reconstruction of urban centres in the MENA area that have been characterised by repeated conflicts in recent decades that have caused extensive damage to the region's cities and territories. In these areas, reconstruction becomes a condition in which the very value of sustainability can be reformulated (Albrecht, 2019), while also redefining that of "technology 4.0"

01 | All'interno della scuola a Douala, Camerun, si realizzano gli elementi che compongono la Fabbers House, alcuni fatti a mano altri con strumenti digitali, come la lavorazione sui pannelli lignei fresati con una CNC. Paolo Cascone

Inside the school in Douala, Cameroon, the elements that make up the Fabbers House are created, some hand-made, others with digital tools, such as processing on wooden panels milled with a CNC. Paolo Cascone

e rendere più efficaci le ricadute di nuovi sistemi o metodi di produzione (Sinopoli, 2002). Tali processi rientrano nella sfera più ampia dell'innovazione tecnologica e sono strettamente connessi all'impiego efficiente delle risorse. Le tecnologie contemporanee possono essere distinte in due macrocategorie connesse l'una con l'altra: da un lato la tecnologia informatica costituita da dati, dall'altro quella strumentale caratterizzata da mezzi di lavorazione sempre più sofisticati. Senza la digitalizzazione queste tecnologie innovative non sarebbero tali, ma soprattutto non potrebbero integrarsi l'una con l'altra. L'innovazione si manifesta quindi dall'integrazione di queste due componenti e consente oggi di adattare gli strumenti di lavoro allo specifico campo d'impiego e della destinazione d'uso. Infine, questa adattabilità rende possibile trasferire tecnologie in diversi contesti geografici, andando incontro alle criticità specifiche di un luogo o alle peculiari esigenze dei processi di ricostruzione.

Il trasferimento tecnologico per la ricostruzione. Il caso dell'area MENA

Partendo dalle riflessioni sviluppate dalla già citata ricerca "Esportare la ricostruzione" il contributo intende analizzare alcune strategie per la ricostruzione basate su processi di tipo circolare e su sistemi di produzione innovativa derivante dalle nuove tecnologie 4.0. Obiettivo di tale analisi è valutare le possibilità di trasferimento di tecnologie abilitanti da contesti come quello europeo – e in particolare quello italiano – a quello MENA. Tale processo non si pone come semplice trasferimento fine a sé stesso ma come strumento per la riattivazione di economie locali in un'ottica di innovazione e circolarità.

and processes of technology transfer in relation to construction and material systems from local traditions. Their flexible nature makes these technologies adaptable to a specific context, allowing the available resources to be fully exploited.

This approach, which integrates new technologies, parametric design and traditional techniques, is demonstrated by the *African Fabbers School* project overseen by Paolo Cascone and CODESIGNLAB, which is one of the most well-established in this context. Created in the early 2000s as an itinerant training project involving various African countries such as Senegal and Morocco, it has been based in Douala in Cameroon since 2018. The school workshops contain various FDM 3D printers and a CNC machine, as well as other machine tools. In 2019, for example, the building parts that make up

the African Fabbers House took shape in these spaces, made with a wooden structural frame, panels milled with CNC machines and moulded, hand-worked clay elements. The school, which welcomes both students and local artisans, combines parametric design with the enhancement of vernacular culture, including the materials and construction techniques typical of the area, laying the foundations for the development of a different economic and production model that is capable of enhancing both human and material resources² (Fig. 1).

In a broader sense, both the processes of technology transfer between different sectors and spheres and those between different socio-economic contexts are a fundamental tool for accelerating new production systems or methods and making their outcomes more effective (Sinopoli, 2002).



Prima di procedere con la definizione delle strategie è necessario delineare le principali esigenze che caratterizzano il settore della ricostruzione nell'area MENA, al fine di tracciare soluzioni costruttive efficaci, che possano portare a una progressiva transizione circolare dei processi di ricostruzione. Le principali esigenze individuate sono:

1. Uso efficiente delle risorse locali, in particolare l'uso di materie prime riciclate o il riuso di materie prime seconde in un'ottica di economia circolare (Bompan and Brambilla, 2016). La capacità di usare risorse locali, poco costose, di recupero o di scarto consente di massimizzare il beneficio economico della ricostruzione attivando filiere parallele che generano occupazione e ricchezza sul territorio (Carra *et al.*, 2016).
2. Attivazione di processi di produzione dal ridotto impatto energetico eseguibili *in situ* o in impianti produttivi *off-grid*, autoalimentati e con caratteristiche di flessibilità tali da consentire il loro spostamento e adattamento alle specifiche esigenze del progetto (Antoniol and Villani, 2019).
3. La valorizzazione del capitale umano, attraverso l'attivazione di processi di ricostruzione *bottom-up*, privilegiando soluzioni costruttive tradizionali e l'impiego di manodopera

These processes fall within the broader sphere of technological innovation and are closely related to the efficient use of resources. Contemporary technologies can be divided into two macro-categories that are connected to each other: on the one hand, information technology consisting of data, and on the other, instrumental technology characterised by increasingly sophisticated means of production. Without digitisation, these innovative technologies would not be innovative, and most significantly, they would not be able to integrate with each other. Innovation is, therefore, manifested by the integration of these two components and thus makes it possible to adapt the work tools to the specific area of application and intended use. Finally, this adaptability makes it possible to transfer technologies to different geographical contexts, meeting the specific critical

issues of a place or the particular needs of the reconstruction processes.

Technology transfer for reconstruction. The case of the MENA region

Starting from the reflections developed by the aforementioned research "Exporting reconstruction", this paper intends to analyse various strategies for reconstruction based on circular processes and innovative production systems which derive from new 4.0 technologies.

The objective of this analysis is to evaluate the possibilities of transferring enabling technologies from contexts such as that of Europe – and in particular that of Italy – to that of MENA. This process is not a simple transfer intended as an end in itself but rather as a tool for the reactivation of local economies with a view to innovation and circularity.

02 | Le macerie degli edifici distrutti dalla guerra costituiscono una risorsa economica per contesti di crisi. Il loro utilizzo in processi circolari di produzione di nuovi componenti edilizi costituisce una soluzione allo smaltimento delle macerie e permette di riattivare filiere produttive e generare occupazione

The rubble of the buildings destroyed by the war constitute an economic resource for crisis contexts. Their use in circular production processes of new building components constitutes a solution to the disposal of rubble and allows the reactivation of the production chains and the generation of employment

locale, per incentivare l'occupazione e la riattivazione economica.

4. L'attivazione di processi di digitalizzazione dei sistemi produttivi. La crescente accessibilità alle nuove tecnologie, sia informatiche che meccaniche, consente di integrare sistemi di monitoraggio e automazione ai processi di produzione, sfruttandone al meglio le potenzialità e riducendo al minimo la dispersione di risorse. Si tratta per lo più di strumenti volti a integrare processi già in atto, la cui flessibilità consente un rapido adattamento a contesti differenti e la cui accessibilità, in termini di configurazione e gestione, ne permette un impiego versatile (Carpo, 2014).

All'interno del quadro di esigenze appena definito il contributo propone in particolare due strategie volte a favorire la transizione circolare nei processi di ricostruzione grazie al supporto di tecnologie 4.0. Per farlo vengono presentate alcune *best practice* sviluppando un confronto critico tra tecnologie innovative sviluppate in ambito italiano e loro possibili applicazioni in area MENA al fine di verificare la possibile trasferibilità di conoscenze, competenze e strumenti tra i due contesti di indagine.

Risorse locali per strategie globali

Una prima strategia individua nello sfruttamento delle "risorse locali" il principale focus di intervento. Per risorse locali si intendono sia materiali tipici del processo edilizio che sottoprodotti derivanti da altre lavorazioni che possono essere introdotti nelle filiere della produzione edilizia. In particolare, la strategia prevede lo sfruttamento di una materia prima seconda quasi sempre presente nei contesti di crisi e ottenuta dalla demolizione degli edifici esistenti semidistrut-

ti: le macerie. Tale risorsa si presenta come una "naturale" conseguenza di eventi di crisi e offre la possibilità di riutilizzare un materiale che andrebbe altrimenti smaltito. Triturando e ricompattando le macerie si possono ottenere mattoni e blocchi dall'elevata resistenza meccanica, impiegabili direttamente *in loco* per la ricostruzione, riducendo l'uso di nuovi prodotti. La produzione può avvenire *in situ* mediante la pressatura a freddo di una miscela di macerie tritate e leganti cementizi, polimerici o di origine organica (Fig. 2).

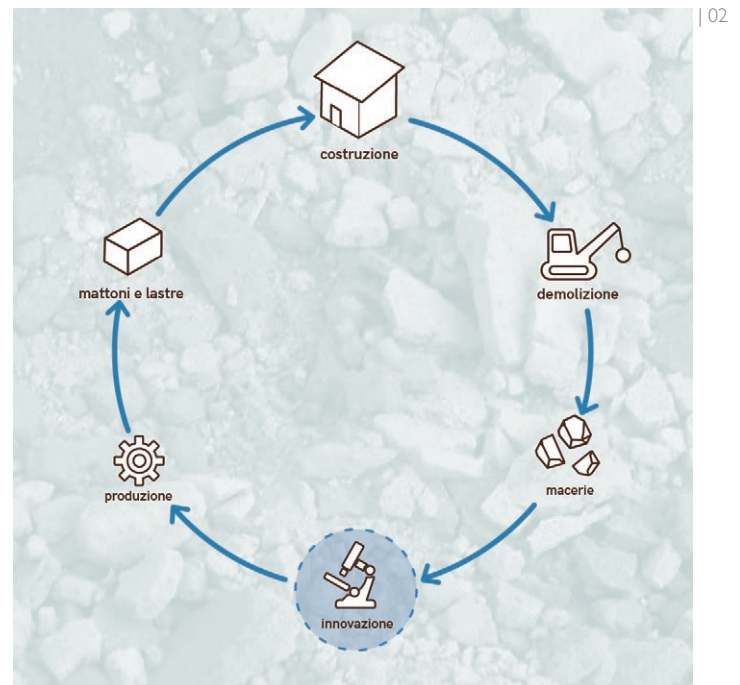
Before going on to define the strategies, it is necessary to highlight the main needs which characterise the reconstruction sector in the MENA area, in order to outline effective construction solutions that can lead to a progressive circular transition of reconstruction processes. The main needs identified are:

1. Efficient use of local resources, in particular the use of recycled raw materials or the reuse of secondary raw materials with a view to a circular economy (Bompan and Brambilla, 2016). The ability to use local, inexpensive, recovered or waste resources makes it possible to maximise the economic benefit of reconstruction by activating parallel supply chains that generate employment and wealth in the area (Carra *et al.*, 2016).
2. Activation of production processes with a reduced energy impact that can

be carried out *on site* or in *off-grid* production plants that are self-powered and have flexible characteristics, allowing them to be moved and adapted to the specific needs of the project (Antoniol and Villani, 2019).

3. The enhancement of human capital through the activation of *bottom-up* reconstruction processes, favouring traditional construction solutions and the use of local labour, to encourage employment and economic reactivation.

4. The activation of digitisation processes for production systems. The increasing accessibility of new technologies, both computer-based and mechanical, allows monitoring and automation systems to be integrated into production processes, making the most of their potential and minimising the wastage of resources. These are mostly tools aimed at integrating pro-



cessi che are already in place, whose flexibility allows rapid adaptation to different contexts and whose accessibility, in terms of configuration and management, allows for versatile usage (Carpo, 2014).

Within the framework of the needs defined above, this paper proposes two strategies in particular aimed at fostering a circular transition in reconstruction processes thanks to the support of 4.0 technologies. To do this, some *best practices* are presented by developing a critical comparison between innovative technologies developed in Italy and their possible applications in the MENA area, in order to verify the potential transferability of knowledge, skills and tools between the two contexts under consideration.

Local resources for global strategies
A first strategy identifies the main fo-

cus of intervention as the exploitation of "local resources". The term "local resources" refers to both materials typical of the building process and by-products derived from other processes that can be introduced into the building production chains. In particular, the strategy envisages the exploitation of a secondary raw material that is almost always present in crisis contexts and is obtained by demolishing existing semi-destroyed buildings: rubble. This resource appears as a "natural" consequence of crisis events and offers the possibility of reusing a material that would otherwise be disposed of. By shredding and recompacting rubble, bricks and blocks with high mechanical strength can be obtained, which can be used directly *on site* for reconstruction, reducing the use of new products. Production can take place *in situ* by cold pressing a mixture

ti: le macerie. Tale risorsa si presenta come una "naturale" conseguenza di eventi di crisi e offre la possibilità di riutilizzare un materiale che andrebbe altrimenti smaltito. Triturando e ricompattando le macerie si possono ottenere mattoni e blocchi dall'elevata resistenza meccanica, impiegabili direttamente *in loco* per la ricostruzione, riducendo l'uso di nuovi prodotti. La produzione può avvenire *in situ* mediante la pressatura a freddo di una miscela di macerie tritate e leganti cementizi, polimerici o di origine organica (Fig. 2).

Lo scenario proposto dalla prima strategia trova già alcune interessanti applicazioni sia in area MENA che a livello nazionale. In Italia la start-up fiorentina Catalyst, propone una tecnologia innovativa per l'impiego delle macerie ottenute da processi di demolizione per la produzione *in loco* di nuovi blocchi. Pensato per la ricostruzione di città colpite dal sisma, il mattone Ri-Block

di Catalyst è ottenuto tritutando e compattando a freddo con presse automatizzate – quindi senza l'utilizzo di forni – macerie da demolizione preventivamente selezionate. Il mattone rettificato è pensato per la posa con colla, contiene il 75-80% di riciclato ed è riciclabile al 100%.

Si tratta di un processo circolare in cui le macerie, a fine vita di un edificio, costituiscono la risorsa principale per la fabbricazione di nuovi prodotti da re-inserire nella filiera edilizia mediante processi di innovazione che riguardano sia le modalità di produzione che quelle di posa in opera, e trasferibili anche in altri contesti come quello MENA.

In quest'area è significativa l'esperienza di Green Cake, start-up palestinese che produce blocchi impiegando le macerie derivate dagli incendi dovuti ai bombardamenti sulla città di Gaza. Sviluppati dall'ingegnere edile Majd Mashharawi, i blocchi sono costituiti da una ridotta quantità di cemento per legare tra loro macerie di calcestruzzo e cenere derivanti dalla demolizione degli edifici distrutti dalla guerra, attivando un processo di riuso circolare e sostenibile. Più leggeri e più economici dei tradizionali blocchi in calcestruzzo, sono prodotti con un impiego ridotto di materie prime e con la manodopera locale, in particolare femminile, bisognosa di occupazione, attraverso semplici presse manuali o a movimento meccanico (Figg. 3, 4). La combinazione di queste pratiche produttive locali con nuove tecnologie trasferite dal contesto europeo può quindi innescare in questi contesti processi di innovazione basati sui principi della transizione circolare.

La seconda strategia individua nell'introduzione di tecnologie avanzate un acceleratore di sviluppo dei processi circolari, sia nella gestione di informazioni, che nella lavorazione materiale.

Tecnologie come droni per il rilevamento o macchine per la manifattura additiva come la stampante 3D costituiscono ambiti di elevata applicabilità in contesti come quello MENA caratterizzati da una scarsità di infrastrutture produttive e di trasporto. In questo scenario l'innovazione di processo che si manifesta mediante l'uso di tecniche avanzate non si configura solo come un miglioramento del sistema produttivo ma anche come una possibilità per l'ottimizzazione dello stesso, rendendo più efficiente l'uso delle risorse. In particolare, la strategia analizzata prevede lo sfruttamento di una materia prima quasi sempre presente nei contesti di studio: l'argilla.

Sono infatti numerose le architetture realizzate negli ultimi anni in Africa con sistemi in argilla o terra cruda (Firrone, 2008) che evidenziano come questa tecnica tradizionale sia ancora fortemente diffusa. Opere quali la scuola a Gando (2001) di Diébédo Francis Kéré in Burkina Faso, la Community School (2011) di Emilio Caravatti in Mali (Caravatti, 2013) o il più recente Ospedale chirurgico pediatrico di Entebbe in Uganda completato nel 2020 da RPBW (TAMassociati, 2020) sono la dimostrazione di come le tecnologie tradizionali in terra cruda abbiano ritrovato un notevole interesse nelle costruzioni contemporanee in Africa. Le motivazioni di tale "riscoperta" possono essere rintracciate proprio nelle caratteristiche di sostenibilità di queste tecnologie, dove non ci si riferisce solo a un uso efficiente delle risorse locali ma anche ad aspetti di sostenibilità sociale ed economica, mediante il coinvolgimento delle comunità locali.

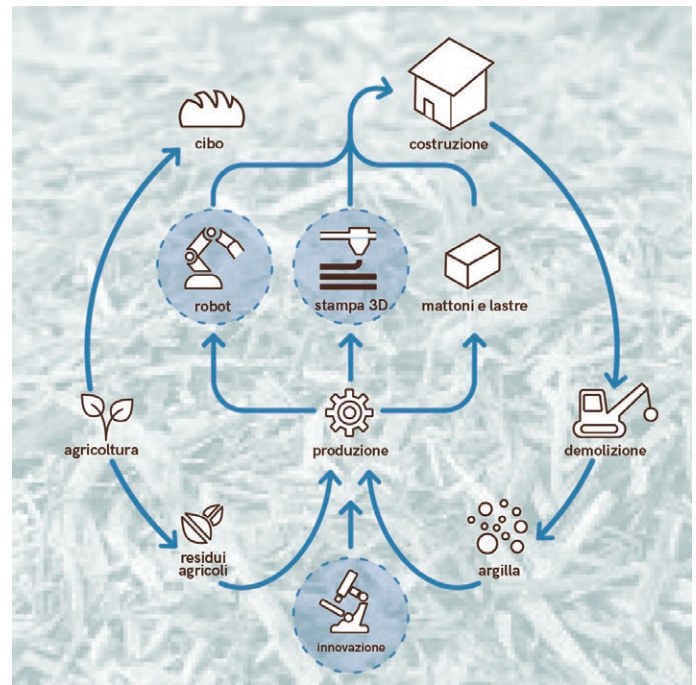
A partire da queste tecniche costruttive tradizionali è possibile delineare un ulteriore scenario di sviluppo sostenibile per queste aree attraverso l'applicazione di strumenti di innovazione tecnologica, come ad esempio la stampa tridimensionale (Fig. 5).



05 | Materiali del luogo, come l'argilla, combinati con altri materiali di scarto del settore agricolo consentono di ottenere impasti utili per la realizzazione di prodotti finiti o la sperimentazione con nuove tecnologie in ambito edilizio. Questo processo, supportato dalle tecnologie 4.0, offre nuove possibilità per la ricostruzione basata su un uso sostenibile delle risorse

Local materials, such as clay, combined with other waste materials from the agricultural sector make it possible to obtain mixtures useful for the creation of finished products or experimentation with new technologies in the construction sector. This process, supported by 4.0 technologies, offers new possibilities for reconstruction based on the sustainable use of resources

Questa tecnologia assume un ruolo rilevante, in particolar modo il *Liquid Deposition Modeling* (LDM) che consiste nell'estrusione di materia in uno stato semifluido attraverso un ugello mosso da bracci meccanici. Questa tipologia di stampa apre a un ampio spettro di applicazioni, legato alla variabilità degli ugelli impiegabili e alle differenti miscele stampabili definite in funzione delle destinazioni d'uso del processo. La stampa LDM trova infatti impiego a diverse scale e una delle frontiere di sperimentazione è la stampa di interi edifici. Proprio in questo ambito una delle realtà più interessanti è l'azienda italiana WASP che da diversi anni ha attivato un filone di ricerca dedicato alla stampa di manufatti architettonici con l'ausilio di stampanti che raggiungono fino a 4 m di altezza (Crane WASP). Questa tecnologia è stata sviluppata con l'intento di sfruttare le risorse locali, più precisamente l'argilla del luogo e alcuni scarti agricoli fibrosi da unire alla miscela da stampare. La ricerca di WASP si basa su un processo circolare a km0, dove vengono impiegati materiali reperibili sul sito di progetto e reintroducibili nell'ecosistema a fine vita dell'edificio, riducendo al minimo l'uso del cemento. Sulla base di questa strategia nel 2018 WASP presenta Gaia, il primo modulo architettonico stampato in 3D, con struttura portante e copertura piana in legno, realizzato usando direttamente il terreno argilloso di Massa Lombarda – sede dell'azienda – in miscela con fibre vegetali derivanti dalla filiera del riso. Gaia rappresenta un caso studio esemplare a livello mondiale, fondamentale per comprendere le potenzialità offerte dall'*additive manufacturing* nel settore delle costruzioni e nel 2020, WASP propone un ulteriore avanzamento tecnologico grazie a Tecla, una casa in terra cruda stampata in 3D e autoportante, compresa la copertura a volta. Il progetto, sviluppato in collaborazione con Mario Cucinella Architects, è



stato realizzato impiegando simultaneamente due stampanti collaborative Crane WASP a dimostrazione di come la tecnologia di stampa architettonica sia in grado di realizzare edifici ottimizzando il processo costruttivo e minimizzando l'impiego di risorse umane ed energetiche grazie all'adozione di tecnologie avanzate. Per la struttura a doppia cupola il progetto si è avvalso della collaborazione dello studio Milan Ingegneria mentre per lo sviluppo e l'ingegnerizzazione della miscela di argilla, fibre vegetali e additivi stabilizzanti è stata avviata una collaborazione con Mapei (Figg. 6, 7).

Il risultato di queste due strategie, anche combinate tra loro, è lo sviluppo di "prototipi circolari", innovativi sia in termini di prodotto che di processo: modelli replicabili in diversi contesti quali, ad esempio, abitazioni realizzate con materiali riciclabili, recuperati dal contesto locale, a zero emissioni e adattabili a di-

of crushed rubble and cement-based, polymeric or organic binders (Fig. 2). The scenario proposed by the first strategy is already adopted in some interesting applications both in the MENA area and within Italy. The Florentine start-up Catalyst proposes an innovative technology for using rubble obtained from demolition processes to produce new blocks *on site*. Designed for the reconstruction of cities hit by earthquakes, Catalyst's Ri-Block brick is obtained by grinding and cold compacting previously selected demolition rubble with automated presses, which therefore does not require the use of kilns. The rectified brick is designed to be installed with glue, contains 75-80% recycled content and is 100% recyclable.

It is a circular process in which, at the end of a building's life, rubble constitutes the main resource for the manu-

facture of new products to be re-introduced into the building chain through innovation processes which relate to both the production and installation methods, and which are also transferable to other contexts such as MENA. In this area, one significant experience is that of Green Cake, a Palestinian start-up that produces blocks using the rubble resulting from the fires caused by the bombing of the city of Gaza. Developed by construction engineer Majd Mashharawi, the blocks are made of a reduced quantity of cement to bind concrete rubble and ash produced by the demolition of buildings destroyed by war, activating a circular and sustainable reuse process. Lighter and cheaper than traditional concrete blocks, they are produced with a reduced use of raw materials and with local labour forces, especially women, who are in need of employment,

through simple manual or mechanical movement presses (Figs. 3, 4). The combination of these local production practices with new technologies transferred from the European context can therefore trigger innovation processes based on the principles of circular transition in these contexts.

The second strategy identifies the introduction of advanced technologies as an accelerator for the development of circular processes, both in terms of the management of information and material processing. Technologies such as drones for detection or machines for additive manufacturing such as 3D printers are fields that are highly applicable in contexts such as MENA, which is characterised by a scarcity of production and transport infrastructures. In this scenario, the innovation process manifested through the use of advanced techniques is not

only configured as an improvement of the production system, but also as a possibility for its optimisation, by making the use of resources more efficient. In particular, the strategy analysed involves the exploitation of a raw material that is almost always present in the contexts studied: clay.

In fact, there are numerous instances of architectural works built in Africa in recent years with raw earth systems (Firrone, 2008), which highlight how widespread this traditional technique still is. Works such as the school in Gando (2001) by Diébédo Francis Kéré in Burkina Faso, the Community School (2011) by Emilio Caravatti in Mali (Caravatti, 2013) or the more recent paediatric surgical hospital in Entebbe in Uganda completed in 2020 by RPBW (TAMassociati, 2020) demonstrate how traditional raw earth technologies have aroused considera-

06,07 | Costruzione di Tecla con l'uso della stampante Crane WASP: lo strumento consente di depositare una miscela di argilla, fibre vegetali e additivi stabilizzanti, senza l'impiego di altre strutture a supporto. Vista dall'alto, durante la realizzazione della copertura, anch'essa stampata 3D, e dettaglio della muratura, la cui stratigrafia e spessore complessivo si riducono in altezza. WASP

Tecla construction with the use of the Crane WASP printer: the instrument allows a mixture of clay, vegetable fibres and stabilising additives to be deposited, without the use of other supporting structures. The view from above, during the construction of the roof by 3D printed, and the detail of the masonry, whose stratigraphy and overall thickness taper upwards. WASP



verse fasce climatiche. Allo stesso modo anche il processo produttivo è flessibile e scalabile, dal livello di edificio a quello di quartiere fino a quello di città, e applicabile quindi in aree dove fattori di crisi abbiano danneggiato e reso inefficienti le infrastrutture produttive e di trasporto.

Conclusioni

Gli esempi riportati dimostrano come vi sia possibilità di trasferire tecnologie abilitanti, come quelle proposte da Catalyst e WASP, dal contesto europeo a quello MENA. Il successo di tale trasferimento è legato alla capacità di mettere a sistema tecnologie digitali, innovative e flessibili, con la cultura materiale tipica

ble interest in contemporary constructions in Africa. The reasons for this “rediscovery” can be traced precisely to the sustainability features of these technologies, which do not only entail an efficient use of local resources but also aspects of social and economic sustainability through the involvement of local communities.

Starting from these traditional raw earth construction techniques, it is possible to outline a further scenario of sustainable development for these areas through the application of technological innovation tools, such as 3D printing (Fig. 5).

This technology plays an important role, especially *Liquid Deposition Modelling* (LDM) which consists of extruding matter in a semi-fluid state through a nozzle moved by mechanical arms. This type of printing opens up a wide spectrum of applications

thanks to the variability of the nozzles that can be used and the different printable mixtures, which are defined according to the intended use of the process. LDM printing is in fact used at different scales and one of the frontiers of experimentation with it is the printing of entire buildings. One of the most interesting organisations in this context is the Italian WASP company, which for several years now has had a line of research dedicated to printing architectural artefacts with the aid of printers that reach up to 4 m in height (Crane WASP). This technology has been developed with the intention of exploiting local resources, more precisely local clay and fibrous agricultural waste, which is then combined with the mixture to be printed. WASP's research is based on a km0 circular process using materials which are available on the project site and which can

della tradizione del luogo, e quindi con la capacità di sfruttare in modo consapevole le risorse locali, sia materiali che immateriali. Il paper ha individuato nei temi dello sviluppo di processi circolari e tecnologicamente efficienti due dei cardini attorno cui ruotano le possibili visioni future delle città. Se in ambito Europeo queste possono richiedere molti anni per essere attuate, contesti come l'area MENA rappresentano opportunità di ricerca per uno sviluppo accelerato, offrendo la possibilità di concepire una totale rivalutazione del sistema economico, e mettendo al centro dello sviluppo delle città temi come la neutralità climatica e l'uso sostenibile delle risorse. In questo modo le tecnologie 4.0 e le informazioni digitali potranno non solo contribuire a ridefinire

be reintroduced into the ecosystem at the end of the building's life, minimising the use of cement. Based on this strategy, in 2018 WASP presented Gaia, the first 3D printed architectural module, with a load-bearing structure and flat wooden roof made directly using the clayey soil of Massa Lombarda – the company's headquarters – mixed with vegetable fibres derived from the rice supply chain. Gaia represents an exemplary case study worldwide, and is fundamental for understanding the potential offered by *additive manufacturing* in the construction sector and, in 2020, WASP put forward a further technological advance thanks to Tecla, a 3D printed and self-supporting clay house, including a vaulted roof. Developed in collaboration with Mario Cucinella Architects, the project was carried out using two Crane WASP collaborative printers simultaneously,

demonstrating how architectural printing technology is able to create buildings by optimising construction processes and minimising the use of human and energy resources thanks to the adoption of advanced technologies. For the double dome structure, the project involved the collaboration of the Milan Ingegneria studio, while a collaboration with Mapei was initiated for the development and engineering of the mixture of clay, vegetable fibres and stabilising additives (Figs. 6, 7).

The result of these two strategies, also when they are combined with each other, is the development of “circular prototypes”, which are innovative both in terms of product and process: models that can be replicated in different contexts such as homes built with recyclable materials, those recovered from the local context, zero emissions and adaptability to different climatic

processi di produzione, ma anche valorizzare quelli già esistenti in chiave di maggiore efficacia e verso una transizione circolare completa in cui l'uso efficiente delle risorse e l'eliminazione dei rifiuti siano azioni connaturate in ogni progetto.

NOTE

¹ Il progetto di ricerca è stato condotto all'interno dell'*Urbicide Task Force* dell'Università Iuav di Venezia, coordinato dal prof. Benno Albrecht. Il progetto ha visto la partecipazione di differenti realtà aziendali e partner internazionali quali la *World Bank* e *UN ESCWA*, per la definizione di un programma di trasferimento tecnologico di competenze e *know-how* tra il Veneto e la regione MENA, nonché degli autori nella veste di assegnista e borsista di ricerca.

² Per approfondire le attività di *African Fabbers School* e del progetto *Fabbers House* si veda la pagina web dedicata CODESIGNLAB <http://www.codesignlab.org/it/2014-02-09-22-48-47/90-homepage/260-african-fabbers-school.html> (ultima consultazione febbraio 2021), e l'intervista pubblicata su *Domusweb* nel dicembre 2018 a cura di Salvatore Peluso, disponibile su <https://www.domusweb.it/it/design/2018/12/26/il-primo-laboratorio-di-fabbricazione-digitale-per-larchitettura-ed-il-design-in-africa.html> (ultima consultazione febbraio 2021).

REFERENCES

Albrecht, B. (2014), *Africa - Big change, big chance*, Editrice Compositori, Bologna, Italia.

Albrecht, B. (2019), "Reconstruction as a sustainable scenario", in Albrecht, B. and Galli, J. (Eds.), *Urbicide Mosul - Triggers for Reconstruction*, Anteferma Edizioni, Conegliano, Italia, pp. 7-19.

Antonoli, E. (2021), "Nuove economie dagli scarti. Processi circolari per la ricostruzione e lo sviluppo socio-economico in Africa e Medio Oriente", *OFFICINA**, Vol. 33, pp. 68-71.

zones. In the same way, the production process is also flexible and scalable, from the level of building to that of a neighbourhood, up to that of the city. As such, it can be applied in areas where crisis factors have damaged production and transport infrastructures, rendering them inefficient.

Conclusions

The examples given show that there is a possibility to transfer enabling technologies, such as those proposed by Catalyst and WASP, from the European context to that of MENA. The success of this transfer is linked to the ability to systematise digital, innovative and flexible technologies with the material culture typical of the local tradition, and therefore with the ability to consciously exploit local resources, both tangible and intangible. This paper has identified two of the

cornerstones around which the possible future visions of cities revolve in the themes of the development of circular and technologically efficient processes. While these can take many years to be implemented in the European context, contexts such as the MENA area represent research opportunities for accelerated development, offering the possibility of conceiving a total re-evaluation of the economic system, and focussing on issues such as climate neutrality and the sustainable use of resources. In this way, 4.0 technologies and digital information will not only help redefine production processes, they will also enhance those already existing by striving for greater effectiveness and a complete circular transition, in which the efficient use of resources and the elimination of waste are actions inherent to every project.

Antonoli, E. and Villani, R. (2019), *Esportare la Ricostruzione - Innovazione e nuovi materiali per la ricostruzione post bellica nella MENA region*, Anteferma Edizioni, Conegliano, Italia.

Bompan, E. and Brambilla, I.N. (2016), *Che cosa è l'economia circolare*, Edizioni Ambiente, Milano, Italia.

Caravatti, E. and Caravatti, M. (2013), "Community School", *Area*, Vol. 128, pp. 28-39.

Carpo, M. (2014), *The Second Digital Turn - Design Beyond Intelligence*, The MIT Press, Cambridge, UK.

Carra, G., Iardi, S., Perkins, C. and Acharya, D. (2016), "The Urban Bio-loop - Growing, Making and Regenerating", ARUP, available at: www.arup.com/perspectives/publications/research/section/the-urban-bio-loop (accessed 20 September 2020).

Felwine, S. (2018), *Afrotopia*, Edizioni Dell'Asino, Roma, Italia.

Ferrari, M. (2014), "Cataste d'Africa. Il progetto di un processo circolare", *OFFICINA**, Vol. 3, pp. 64-69.

Firrone, T. (2008), "Nuove forme ed espressioni dell'architettura in terra cruda", in Germanà, M.L. and Panvini, R. (Eds.), *La terra cruda nelle costruzioni. Dalle testimonianze archeologiche all'architettura sostenibile*, Nuova Ipsa, Palermo, Italia, pp. 193-206.

Gramazio, F., Kohler, M. and Willmann, J. (2014), *Robotic Touch - How robots change architecture*, Park Books, Zurich, Switzerland.

Sinopoli, N. (2002), "Cinquant'anni di innovazioni tra domanda e mercato", in Sinopoli, N. and Tatano, V. (Eds.), *Sulle tracce dell'innovazione*, Franco-Angeli, Milano, Italia.

TAMassociati (2020), "L'Africa di TAMassociati", in Montini Zimolo, P. (Eds.), *Laboratorio Africa. Nuovi paesaggi urbani*, Anteferma, Conegliano, Italia, pp. 11-16.

NOTES

¹ The research project was conducted as part of the *Urbicide Task Force* of the Università Iuav di Venezia, coordinated by Prof. Benno Albrecht. The project saw the participation of different companies and international partners such as the World Bank and UN ESCWA, for the definition of a technology transfer programme of skills and know-how between the Veneto area and the MENA region, as well as the authors in the capacity of research fellows and research fellow.

² To learn more about the activities of African Fabbers School and the Fabbers House project, see the dedicated CODESIGNLAB web page <http://www.codesignlab.org/it/2014-02-09-22-48-47/90-homepage/260-african-fabbers-school.html> (accessed on February 2021), and the interview published on *Domusweb* in Decem-

ber 2018 by Salvatore Peluso, available at <https://www.domusweb.it/it/design/2018/12/26/the-first-digital-manufacturing-laboratory-for-architecture-and-design-in-africa.html> (accessed on February 2021).