

AR
CH
IT
ET
TA
RE

22




Pacini
Editore

ricostruire
l'architettura della città

ARCHITETTARE 22

ricostruire - l'architettura della città
Pubblicazione della Fondazione degli
Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e
Conservatori della Provincia di Reggio Emilia

via Franchi, 1
42100 Reggio Emilia
Tel. e Fax 0522/454744
www.architetti.re.it
segreteria@architetti.re.it

CONSIGLIO DELL'ORDINE E DELLA FONDAZIONE

Andrea Rinaldi: Presidente
Giorgio Teggi: Vicepresidente
Luigi Pietro Montanari: Tesoriere
Nadia Calzolari: Segretario
Corrado Bondavalli: Consigliere
Enrico Franzoni: Consigliere
Paola Pecorari: Consigliere
Matteo Verzelloni: Consigliere
Lorenzo Villa: Consigliere
Mia Zanni: Consigliere
Filippo Landini: Consigliere Jr

REALIZZAZIONE EDITORIALE



via della Gherardesca, 1
56121 Ospedaletto (PI)
www.pacineditore.it
Registrazione presso
il Tribunale di Pisa

finito di stampare
nel mese di maggio 2019
presso le Industrie Grafiche Pacini srl
Pacini Editore
via della Gherardesca, 1
56121 Ospedaletto (PI)

ISSN 2420 - 7756
ISBN 978-88-6995-609-6

DIRETTORE SCIENTIFICO

Andrea Rinaldi

DIRETTORE RESPONSABILE

Francesca Petrucci

ART DIRECTORS

Maddalena Fortelli

Matilde Bianchi

COMITATO SCIENTIFICO

Andrea Boeri
Pietromaria Davoli
Emilia Lampanti
Luigi Pietro Montanari
Giorgio Teggi
Sergio Zanichelli

COMITATO DI REDAZIONE

Giovanni Avosani, Laura Credidio,
Chiara Dazzi, Sebastiano Schenetti,
Lucia Strozzi, Andrea Zamboni

IMPAGINAZIONE

md&mt

HANNO COLLABORATO A QUESTO NUMERO

Giovanni Avosani, Marta Calzolari,
Sara Codarin, Laura Credidio,
Pietromaria Davoli, Irene Ferri,
Maddalena Fortelli, Emanuele Ghisi,
Alice Musmeci, Valentina Radi,
Andrea Rinaldi, Paola Scuteri,
Giorgio Teggi, Monica Zanfi,
Sergio Zanichelli

scritti, foto e disegni impegnano solo la
responsabilità dell'autore di ogni articolo
sugli articoli è effettuata una peer review
incrociata dai membri del comitato scientifico

COPERTINA

Matilde Bianchi
Maddalena Fortelli

ARCHITETTARE esce dopo circa un anno e mezzo di silenzio a causa delle traversie che hanno interessato l'Ordine degli Architetti PPC di Reggio Emilia nell'ultimo periodo. Lo fa con un tema deciso dalla redazione ai tempi dell'interruzione: **ricostruire** - l'architettura della città.

Ci auguriamo che il tema sia di buon auspicio per ricostruire un clima sereno e produttivo, lavorare sulla promozione di quel meraviglioso mestiere che è l'architetto (in tutte le sue declinazioni) e sulla domanda di architettura.

ARCHITETTARE continuerà, con uno spirito rafforzato, a svolgere il suo modesto lavoro di diffusione della conoscenza per accrescere la cultura e la creatività, cercando di cogliere i profondi cambiamenti in atto.

Se ognuno fa la sua parte, possiamo cambiare le cose.

- 06 l'architettura e il dominio della stupidità
ANDREA RINALDI
- 20 il ponte nella città
intervista ad Alice Musmeci
GIORGIO TEGGI
- 28 il gioco dell'ocra
MONICA ZANFI
- 38 american blues
IRENE FERRI
- 50 fare spazio per ricostruire
MADDALENA FORTELLI
- 66 tra le antiche mura
restyling di una casa nel Castello di Arzignano
EMANUELE GHISI
- 78 interpretare il luogo per ricostruire culture e città
Dallara Academy and The Corner
VALENTINA RADI
- 94 amplificazione locale
GIOVANNI AVOSANI
- 102 ricostruire un luogo...Rimini:area ex fiera
SERGIO ZANICHELLI
- 116 il marketing per la città
LAURA CREDIDIO
- 132 digital heritage
additive manufacturing sul patrimonio esistente
MARTA CALZOLARI, SARA CODARIN, PIETROMARIA DAVOLI
- 148 un pensiero architettonico per la comunità guastallese
progetto per un "affaccio" sul fiume Po
PAOLA SCUTERI
- 158 PROSSIMO NUMERO
REGGIO EMILIA frammenti urbani

>> digital heritage additive manufacturing sul patrimonio esistente

marta calzolari

architetto, Università di Ferrara –
Dipartimento di Architettura – Centro
Ricerche Architettura>Energia

sara codarin

architetto, Università di Ferrara –
Dipartimento di Architettura – Centro
Ricerche Architettura>Energia

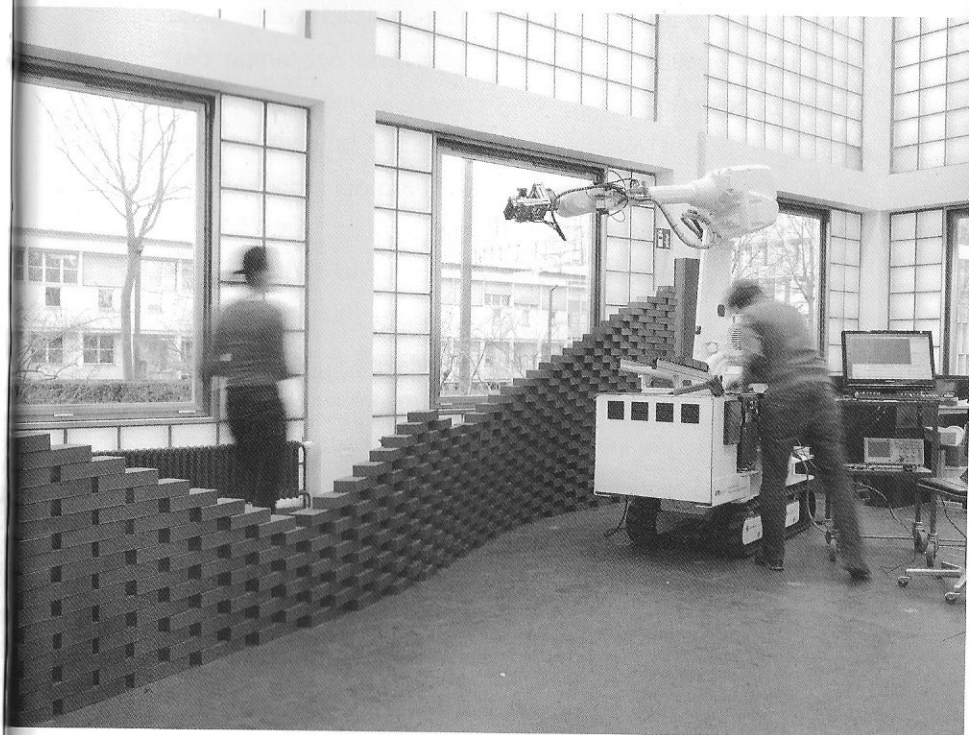
pietromaria davoli

architetto, Università di Ferrara –
Dipartimento di Architettura – Centro
Ricerche Architettura>Energia

ADDITIVE MANUFACTURING PER L'INNOVAZIONE DEL PROCESSO DI RECUPERO

Gli attuali assetti procedurali indirizzati alla definizione di strategie d'intervento sugli edifici storici, sebbene convincenti dal punto di vista linguistico ed espressivo, afferiscono a dinamiche consolidate che non sempre ricorrono a soluzioni di tipo innovativo.

Il progetto e la sua esecuzione CASO PER CASO, per quanto concettualmente ineludibili, sono talvolta carenti di processualità evolute in grado di fornire precisione, replicabilità, misurabilità delle prestazioni nell'ambito del restauro del patrimonio culturale. Sarebbe pertanto opportuno individuare, anche all'interno del dibattito conservativo, alcuni principi di INDUSTRIALIZZAZIONE DEL



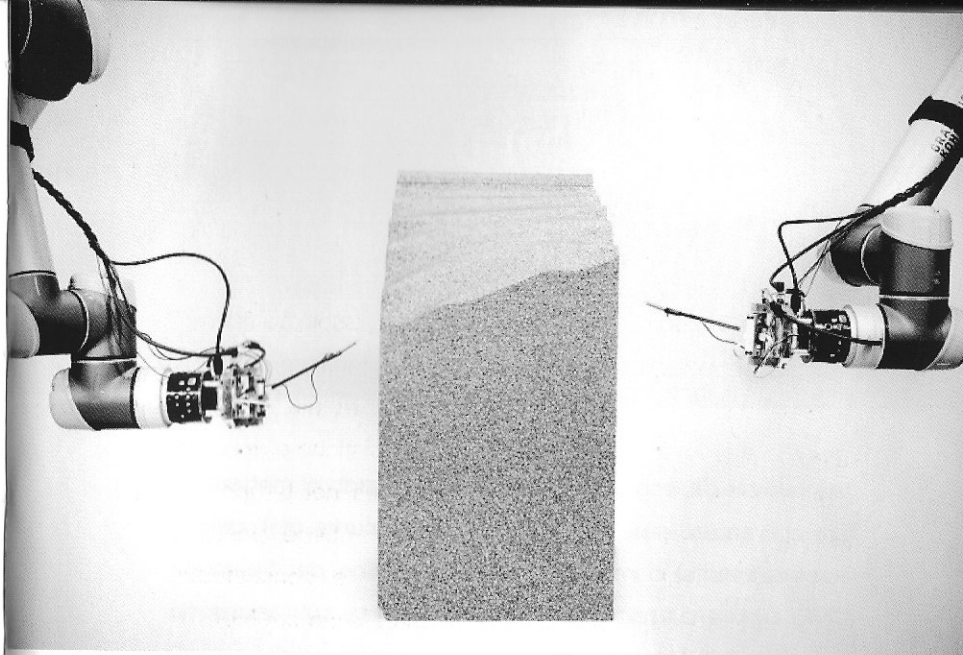
1

1. braccio robotico, progettato per movimentare i materiali in cantiere, in fase di sperimentazione presso i laboratori del Politecnico ETH di Zurigo. La procedura a oggi è prevista fuori opera, ma si prevede che l'avanzamento della ricerca porti questi strumenti ad essere utilizzati direttamente in opera (Crediti: ETH Zurigo e NCCR Digital Fabrication - Gramazio Kohler Research e Agile & Dexterous Robotics Lab)

PROCESSO DI RECUPERO, senza che ciò venga associato ad una produzione necessariamente seriale e dunque incompatibile con le fabbriche storiche. La conseguenza più evidente sarebbe quella di una riduzione delle tempistiche e dei costi e di un aumento di efficacia ed affidabilità nel tempo del risultato costruttivo. Tali nuove prassi si ritiene possano integrarsi con il mantenimento di tutte le consuetudini artigianali presenti sul cantiere di restauro dei monumenti o dell'edilizia minore.

Con l'obiettivo di definire un elevato controllo di qualità e di prestazioni certificate, potrebbero essere ottimizzati taluni processi che riguardano la PREFABBRICAZIONE (FUORI OPERA) di componenti in stabilimento -ovvero in ambiente protetto, sicuro e adatto per innalzare la qualità del risultato- facendo leva non sulla replicabilità a larga scala, bensì sulla perfetta esecuzione di elementi discretizzati o pezzi unici. Inoltre, per innalzare il livello delle lavorazioni in cantiere, sono altresì perseguibili modelli di INDUSTRIALIZZAZIONE A PIE' D'OPERA e IN OPERA, che a oggi risultano pressoché assenti. In questo senso potrebbe giocare un ruolo significativo la possibilità di far dialogare, anche sul cantiere di restauro, i sistemi più evoluti di rilievo geometrico con le recenti tecnologie di riproduzione come l'ADDITIVE LAYER MANUFACTURING.

Seppure in assenza di un palinsesto di BEST PRACTICE e di casi studio sufficientemente avanzati, si vuole delineare quali



siano gli elementi di prefigurazione reale con i quali progettisti, aziende e organi di tutela possano confrontarsi nel pieno rispetto della scienza dei beni culturali.

A oggi, la commercializzazione e l'accesso al grande pubblico di stampanti 3D, per la realizzazione di oggetti d'uso o di design, si è diffusa a scala globale. Negli ultimi anni queste tecnologie si sono dimostrate efficacemente applicabili anche alla scala architettonica, soprattutto per la definizione di oggetti monolitici o discretizzati in un numero finito di elementi da trasportare in cantiere e collocare IN OPERA, previo eventuale assemblaggio A PIE' D'OPERA.

Esistono diverse soluzioni di automazioni innovative² del cantiere contemporaneo (figura 1), tra cui bracci meccanici programmati per movimentare i materiali da costruzione

2. tecnologia automatizzata per il taglio con filo a caldo (WIRE-CUTTING) di materiali isolanti da adattare a involucri edilizi definiti da geometrie particolarmente complesse
(Crediti: ETH Zurigo - Gramazio Kohler Research)



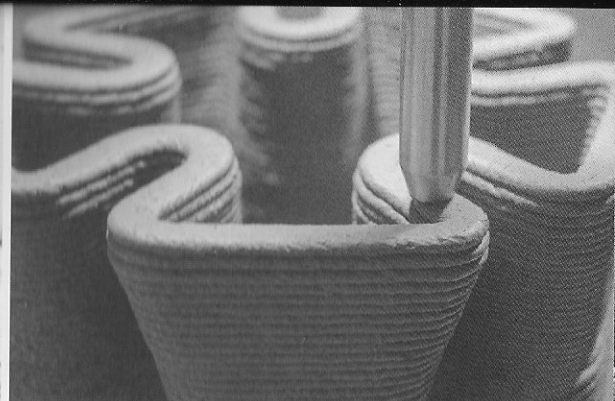
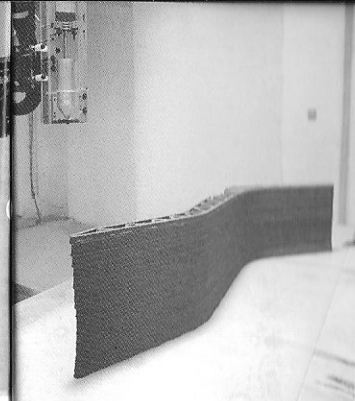
3

(BRICK LAYERING)², componenti robotiche in grado di mettere in forma eventuali pannelli da adattare al volume dell'edificio (FORMING ROBOTS) o macchine che funzionano per fresatura (CNC) o WIRE-CUTTING (figura 2) e quindi per sottrazione di materiale dall'elemento monolitico di partenza.

Fra le soluzioni di automazione vi sono anche i sistemi di ADDITIVE LAYER MANUFACTURING che si configurano come tecnologie adatte per l'ottimizzazione dell'intero processo costruttivo, in termini di velocità di realizzazione, sicurezza delle lavorazioni, contenimento dei costi, limitazione degli sprechi di materie prime pregiate e sperimentazione di materiali innovativi.

L'ADDITIVE MANUFACTURING³, definito anche "prototipazione rapida" per le sue capacità di creare elementi in tempistiche ridotte, a differenza dei processi sottrattivi -il cui utilizzo è consolidato nelle filiere di produzione industriale- si configura come un procedimento ADDITIVO in quanto consente di generare forme e volumetrie tramite la sovrapposizione di strati consecutivi di materiale fino alla definizione del prototipo finale, precedentemente modellato in digitale.

3. dettaglio di una stampante 3D che opera a deposito di polvere e leganti. Il sistema è progettato per creare volumi in forme libere senza limitazioni geometriche (Crediti: Dshape)



4

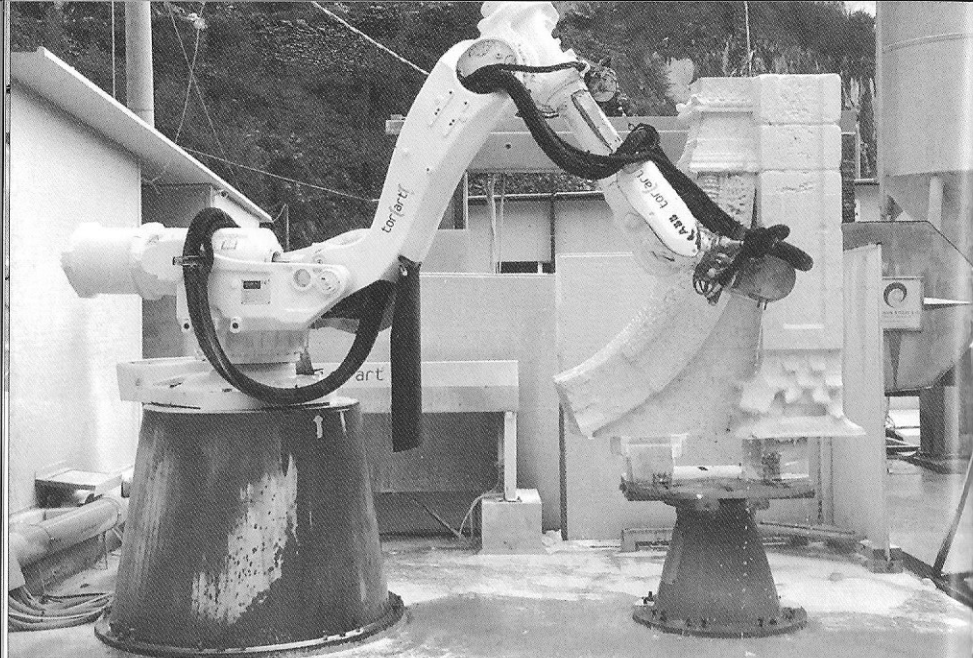
Tra le strumentazioni innovative più ricorrenti, adatte per essere applicate ad ampia scala, sono state messe a punto stampanti il cui funzionamento viene sviluppato per deposito⁴ (figura 3) o per estrusione⁵ (figura 4).

I sistemi che funzionano per deposito consistono nel rilascio di strati alternati di un materiale di base (generalmente un inerte fine, come sabbia o gesso) e un legante inorganico. Essi consentono di generare volumi monolitici in forme libere senza limitazioni geometriche su qualsiasi asse.

Nel caso dell'estrusione, le stampanti sono dotate di un dispositivo progettato per depositare strati sovrapposti di un impasto viscoso (spesso a base di terra cruda o conglomerati cementizi) in grado di solidificare in tempi rapidi, riservando tuttavia delle limitazioni per quanto riguarda il layout geometrico dell'OUTPUT di stampa.

In questo caso particolare, la tecnologia di ADDITIVE MANUFACTURING permette di elaborare, tramite procedimento A UMIDO, prodotti di stampa dagli aspetti qualitativi affini a quelli originali, con una semplificazione delle logistiche di cantiere che prevede l'eliminazione di casseri per il getto e di lunghi tempi di presa e maturazione.

4. stampante 3D sperimentata allo IAAC - INSTITUTE FOR ADVANCED ARCHITECTURE OF CATALONIA per l'estrusione di LAYER sovrapposti di terra cruda (Crediti: Sofoklis Giannakopoulos)



5

Una prima significativa sperimentazione per processi di recupero tramite sistemi di automazione ha riguardato la riproduzione di un prototipo a scala ridotta dell'arco di Palmira⁶, preso come caso studio in quanto elemento di rilevanza testimoniale che ha perso l'unità di forma in seguito al manifestarsi di eventi conflittuali. Tale riproduzione è stata eseguita sulla base di un modello digitale ottenuto con tecnica fotogrammetrica.

Per motivi contingenti della prima fase, il prototipo è stato ottenuto adottando una tecnologia sottrattiva di fresatura a controllo numerico su blocchi di marmo (figura 5). Si ipotizza, tuttavia, che la metodologia di intervento in una seconda fase operativa possa essere ottimizzata tramite processi di costruzione ADDITIVI. Questo perché sarebbe così possibile



6

utilizzare le stampanti direttamente nel luogo in cui è richiesto l'intervento e impiegare risorse locali (sabbia o terra) per la definizione degli impasti stampabili tridimensionalmente, in modo da definire una continuità con il contesto (figura 6).

Il linguaggio da adottare per i componenti di nuovo inserimento, finalizzati alla rilettura complessiva del bene storico, potranno essere espressi con forme pure o con accenni di apparati decorativi, anche in funzione della risoluzione dello strumento di stampa, per mantenere comunque la riconoscibilità delle matrici prototipate rispetto agli elementi preesistenti⁷. Un'altra possibilità è l'elaborazione di pezzi unici e articolati, da integrare CASO PER CASO in base all'intervento proposto per la fabbrica storica,

5. braccio robotico che funziona con tecnologia CNC, utilizzato per la fresatura degli apparati decorativi della riproduzione, a scala ridotta, dell'arco di Palmira (Crediti: Dshape)

6. scenario futuro di un possibile utilizzo di una stampante 3D per un sito in cui vengono richieste ricostruzioni di elementi architettonici lesionati o distrutti, che possono essere prototipati utilizzando materiali locali (Crediti: Dshape - rielaborazione grafica a cura di S. Codarin)

senza produrre sfridi da lavorazione, che si presentano solitamente nella produzione di componenti architettonici non seriali.

CAMPI APPLICATIVI, LINGUAGGIO ESPRESSIVO E CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

I processi menzionati concorrono a definire procedure innovative al fine di colmare, per esempio, lacune murarie a seguito di danni e distruzioni provocati da calamità naturali e conflitti. Ci si riferisce alla possibilità di intervenire sia sulle soluzioni di continuità dell'involucro (cortine verticali e volte murarie), sempre in un'ottica di reversibilità, con micro interventi di ricucitura o con integrazioni di più ampie parti, sia per mettere in sicurezza post sisma gli impianti strutturali pericolanti o gli squarci dell'involucro che aprono all'infiltrazione di acqua e umidità, sia eventualmente per aggiungere elementi (o intere maglie strutturali di supporto) per il futuro riuso dell'edificio.

Si può spaziare da un singolo componente a un'intera parete, fino alla possibilità di inserire nuovi "contenitori" funzionali all'interno della più grande "scatola" antica⁸.

Queste modalità realizzative possono essere individuate nell'impiego di una stampante 3D in cantiere che sostituisce

la persona in ambiti pericolosi di intervento, utilizzando un braccio meccanico progettato per depositare materiale, oppure tramite una stampante che funzioni con tecnologia a deposito.

Allestire un macchinario IN OPERA può risultare tuttavia complesso per peso e dimensioni. Certamente meno complesso è il prevederlo a PIE' D'OPERA O FUORI OPERA. È possibile infatti allestire a margine del cantiere una struttura temporanea per stampare il materiale in condizioni controllate di temperatura, umidità e velocità dell'aria; fattori questi che possono incidere in modo significativo sul ciclo di lavorazione-presa-indurimento della miscela di stampa, sulla densità del materiale ottenuto e di conseguenza sulle prestazioni del prototipo finale.

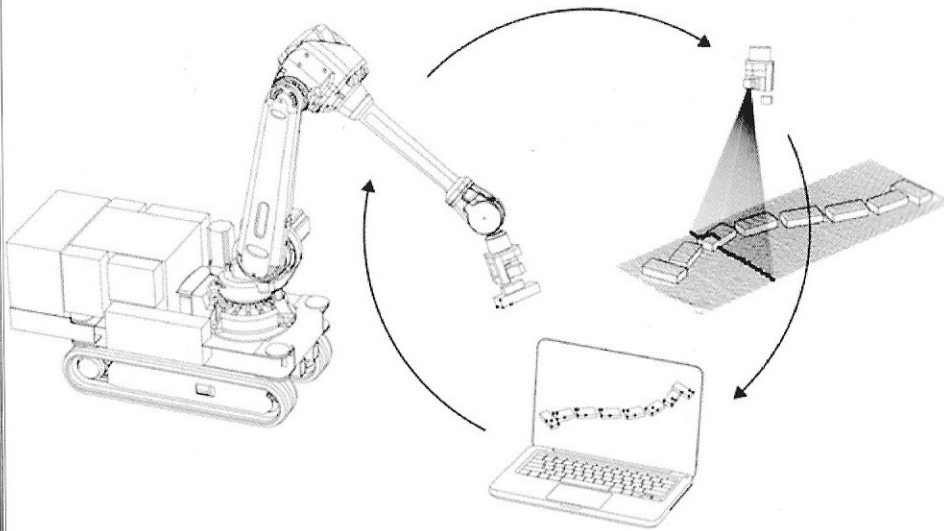
A una prima fase più complessa di allestimento, ne conseguirebbe una sostanziale velocità di ricostruzione in situazioni emergenziali, soprattutto pensando a un'unità di prototipazione rapida "centralizzata" a livello di insediamento o di UNITÀ MINIMA DI INTERVENTO che faccia da riferimento per più cantieri.

La sinergia fra digitalizzazione del processo di rilievo, aggiornamento dello stesso attraverso monitoraggio, assieme alla flessibilità operativa della tecnologia stessa sulla base del rilievo con scansioni fatte IN SITU, delle restituzioni digitali e della processazione dei dati da parte

membrature lineari aggiuntive vengono spesso utilizzate per il consolidamento della fabbrica antica, al fine di costruire profili e impalcature di supporto strutturale per apparati murari o solai lignei, i polimeri plastici⁹ (in eventuale associazione alla stesura di fibre di carbonio) potrebbero costituire il materiale di base per produrre componenti con caratteristiche fisiche simili al metallo (figura 8).

Interessante, soprattutto in seguito a distruzioni da calamità, può risultare l'impiego di materiali di recupero attraverso la macinazione delle macerie. Alcuni aspetti positivi dell'utilizzo dei detriti raccolti in modo differenziato dagli edifici danneggiati si possono riscontrare, per esempio, nella possibilità di limitare l'impatto e i costi di trasporto di materiali non reperibili direttamente in loco.

Per decidere la "materia" con cui operare e la strumentazione con cui generarla ed applicarla è indispensabile stabilire il risultato linguistico/espressivo che si vuole raggiungere nell'ambito di un processo di recupero conservativo. Pertanto è necessario di volta in volta comprendere se sia preferibile la ricostruzione delle parti mancanti a imitazione delle originali, oppure se sia il caso di variare le componenti, la "risoluzione" e la trama delle superfici esterne in modo da lasciare pienamente leggibile il nuovo inserimento (per contrappunto formale o per analogia morfologica che si integra alla preesistenza, ma che esclude la completa mimesi). In entrambi i casi restano valide le opzioni per



7

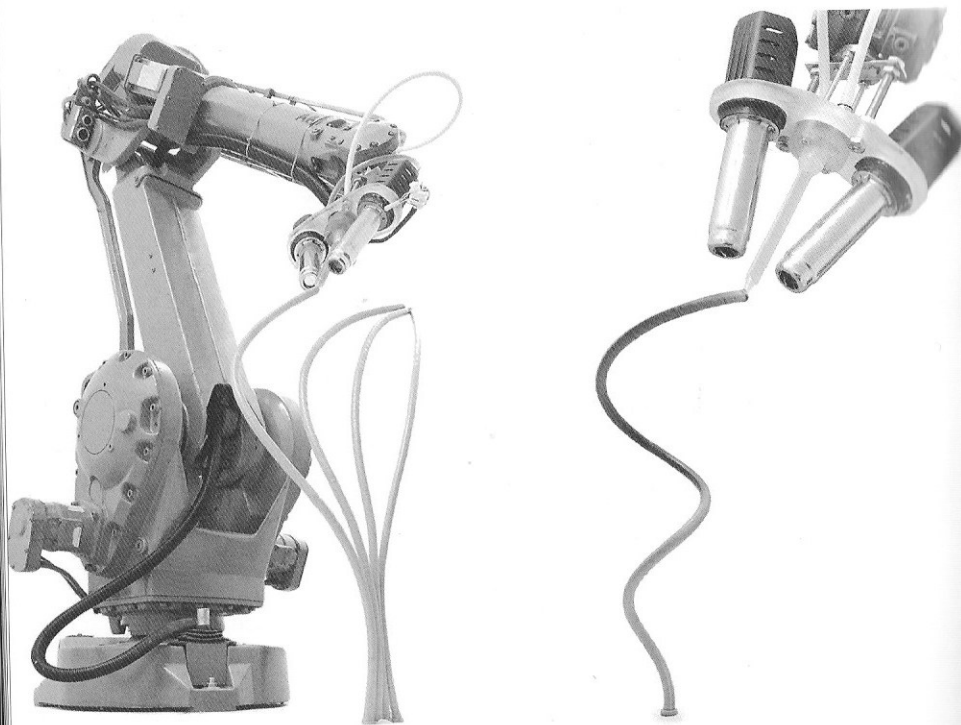
delle stampanti gioca ulteriormente a favore di questa tecnologia (figura 7).

Grazie al rilievo digitale risulta dunque possibile stampare componenti che collimino perfettamente con le parti non recuperabili da sostituire, calcolando tolleranze e morfologie geometriche esatte per l'inserimento e per il fissaggio sui bordi.

Andranno necessariamente impiegati materiali compatibili con gli edifici storici, come per esempio, miscele di terra cruda, pietra o mattone (per avere materiali "ricostruiti" analoghi agli originali, ma sufficientemente modellabili), conglomerati a base principalmente di calce idraulica e paste di legno.

Così come cerchiature, legature, tirantature, cuciture armate,

7. schematizzazione che riassume la digitalizzazione del processo costruttivo, costituito da fasi principali quali rilievo tridimensionale, elaborazione del dato digitale e riproduzione materica del componente architettonico attraverso una tecnologia di ADDITIVE LAYER MANUFACTURING (Crediti: ETH Zurigo)



8

8. braccio robotico che estrude un materiale plastico in grado di solidificare istantaneamente, sviluppato nell'ambito del progetto MATAERIAL, presso lo IAAC di Barcellona (Crediti: IAAC, Institute for Advanced Architecture of Catalonia)

impastare e depositare sia con materiale di recupero (le cosiddette "materie prime seconde"), sia con nuove materie prime.

ANNOTAZIONI CONCLUSIVE

Le nuove prospettive offerte dall'ADDITIVE MANUFACTURING mostrano potenzialità per la nuova costruzione, ma aprono scenari promettenti anche per il recupero e il restauro di articolati sistemi architettonici. L'obiettivo è quello di raggiungere dinamiche operative con un grado di precisione, flessibilità, sicurezza di cantiere, velocità esecutiva e ricostruttiva, misurabilità prestazionale maggiore rispetto ai processi tradizionali e quindi di accedere a livelli di INDUSTRIALIZZAZIONE anche nel processo di recupero, senza perdere di vista l'unicità del bene storico.

L'accurata integrazione fra rilievo informatizzato, elaborazione dei dati raccolti e dialogo diretto con le macchine di produzione fornisce una prerogativa convincente per gestire in maniera inedita il cantiere di restauro. In particolare, l'intervento in condizioni emergenziali suggerisce ampi margini per la ricerca applicata.

Un nodo cruciale del processo di recupero del manufatto è sviluppare ulteriori riflessioni relativamente ai linguaggi espressivi, rispetto alla preesistenza, e alle caratteristiche

tecniche dei "nuovi inserimenti" da adottare per l'eliminazione delle lacune. Infatti, l'innesto rappresenta in ogni caso un'alterazione (morfologica e strutturale) del palinsesto originale, che può essere reso più o meno in analogia con l'esistente.

In tal senso viene certamente in aiuto l'estrema versatilità e flessibilità, in costante evoluzione, delle tecnologie di ADDITIVE MANUFACTURING. #

NOTE

- 1 Per maggiori informazioni, si veda: <http://www.robarch2016.org/> (online: 14/01/2018)
- 2 Gli architetti e ricercatori F. Gramazio e M. Kohler, fondatori dell'Architectural Robotic Laboratory presso l'ETH di Zurigo hanno applicato per la prima volta la così definita tecnologia di brick layering (fuori opera) per la realizzazione della facciata di un edificio di nuova costruzione. Per maggiori informazioni si veda: <http://www.gramaziokohler.com/web/d/bauten/52.html> (online: 20/01/2018)
- 3 Nel 1952 i ricercatori del MIT hanno realizzato sperimentalmente la prima macchina progettata per la definizione di componenti tramite additive layer manufacturing. Oggi questi sistemi costruttivi sono diffusi a scala globale. Per maggiori informazioni si veda: <http://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf> (online: 22/01/2018)
- 4 La stampa per deposito (powder bed deposit) è una tecnologia che è stata inventata da Enrico Dini, fondatore di Dshape, azienda orientata all'approfondimento e sviluppo di tecnologie innovative per il settore delle costruzioni. Per maggiori informazioni si veda: <https://d-shape.com/> (online: 20/04/2018)
- 5 La maggior parte delle aziende che applicano sperimentalmente l'additive manufacturing a scala architettonica utilizzano sistemi che funzionano per estrusione. I materiali impiegati sono di diversa natura, a seconda delle ambizioni progettuali e dalla qualità dell'impasto, che può essere a base di terra cruda (azienda Wasp, progetto Pylos presso lo IAAC), calcestruzzo (azienda Winsun, progetto Yhnova presso l'università di Nantes) o polimeri (progetto Mataerial presso lo IAAC)
- 6 L'azienda Dshape, in collaborazione con l'Institute of Digital Archaeology si è occupata delle fasi tecniche relative alla realizzazione di una copia in scala ridotta dell'arco di Palmira, presentato a Londra nel 2016 in occasione della World Heritage Week
- 7 L'additive manufacturing ha recentemente trovato efficace applicazione nell'ambito della conservazione dei Beni Culturali come strumento per il supporto e il recupero di opere d'arte di valenza storico-culturale fortemente danneggiate. Un team di esperti si è occupato del restauro della Madonna di Pietranico, una statua di terracotta di cui si è persa la configurazione originale in seguito al sisma che ha colpito l'Abruzzo nel 2009. In una prima fase si è proceduto con la scansione 3D dei frammenti e con l'elaborazione dei dati spaziali per definirne la posizione relativa
- 8 Questa soluzione è perseguibile attraverso l'introduzione di stampanti 3D all'interno dell'edificio oggetto di intervento, oppure tramite la stampa di componenti discretizzati da assemblare successivamente negli ambienti interni
- 9 Lo IAAC di Barcellona a oggi sta sviluppando il progetto Mataerial, indirizzato alla definizione di nuovi materiali compatibili con i sistemi di additive manufacturing ad estrusione, in grado di solidificare istantaneamente. Per maggiori informazioni si veda: <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/material/> (online: 23/01/2018)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bock, T., Thomas L. (2016) 'SITE AUTOMATION', Cambridge University Press
- Codarin, S. (2016) 'METODOLOGIE INNOVATIVE NEI PROCESSI DI COSTRUZIONE TRA GENIUS LOCI E GLOBALIZZAZIONE', L'Ufficio Tecnico, no. 1/2, Gennaio/Febbraio, pp. 8-16
- Codarin, S. (2016) 'PROCESSI INNOVATIVI DI CONSERVAZIONE E RECUPERO DEL PATRIMONIO CULTURALE', L'Ufficio Tecnico, no. 7/8, Luglio/Agosto, pp. 12-21
- Dillenburger, B., Hansmeyer, M. 'THE RESOLUTION OF ARCHITECTURE IN THE DIGITAL AGE', Global Design and Local Materialization: 15th International Conference, CAAD Futures 2013, Shanghai, Cina, 3-5 Luglio 2013, Springer, 2013 p. 347
- Gershenfeld, N. (2012) 'HOW TO MAKE ALMOST ANYTHING: THE DIGITAL FABRICATION REVOLUTION', Foreign Affairs, vol. 91, no. 6, Novembre/Dicembre, pp. 43-57
- Gramazio, F., Kohler, M. (2008) 'DIGITAL MATERIALITY IN ARCHITECTURE', 2nd edition, Baden, Lars Müller Publishers
- Lipson, H., Kurman, M. (2013) 'FABRICATED: THE NEW WORLD OF 3D PRINTING', John Wiley & Sons
- Sennett, R. (2008) 'The Craftsman', Yale University Press
- Stevens, J., Nelson, R. (2015) 'DIGITAL VERNACULAR: ARCHITECTURAL PRINCIPLES, TOOLS, AND PROCESSES', Routledge

ARCHITETTARE **22** GENNAIO 2018 - MAGGIO 2019

PUBBLICAZIONE DELLA FONDAZIONE
ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI
DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

ISSN 2420-7756

ISBN: 978-88-6995-609-6

