

RESTAURO E INNOVAZIONE AL PALAZZO DUCALE DI MANTOVA: LA STAMPA 3D AL SERVIZIO DEI GONZAGA

di Giulio Bigliardi, Pietro Dioni, Giovanni Panico, Giovanni Michiara, Lara Ravasi e Maria Giovanna Romano



In quest'articolo vengono presentate alcune applicazioni di Time Compression Technologies per il restauro, la conservazione e la valorizzazione del Palazzo Ducale di Mantova. In particolare si vuole dar luce a metodologie di restauro non invasive che utilizzano ingegneria inversa, realtà virtuale e prototipazione rapida.

Conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale sono ambiti che hanno ottenuto molti benefici dai progressi recenti delle tecnologie digitali, sperimentando e applicando sempre più spesso soluzioni mutuare da discipline di altri settori scientifici.

Nel contesto delle tecnologie applicate ai Beni Culturali è attualmente rivolta grande attenzione per le tecnologie di *Time Compression* (TCT - *Time Compression Technologies*), quali ingegneria inversa, realtà virtuale e prototipazione rapida.

La ingegneria inversa è una metodologia che consente, partendo da un oggetto reale, di ottenere il corrispondente modello 3D digitale attraverso sistemi di scansione tridimensionale. Per realtà virtuale si intende un ambiente tridimensionale generato dal computer, in cui un utente può interagire in tempo reale con i modelli 3D digitali. Infine, la prototipazione rapida abbraccia una serie di tecnologie che sono in grado di riprodurre fisicamente un oggetto per addizione di materiale *layer by layer*, a partire da un modello 3D digitale e utilizzando processi altamente automatizzati.

Le tecnologie di *Time Compression* si sono da tempo imposte nell'ambito della progettazione industriale per sostenere l'innovazione di prodotto e migliorare la competitività, ma, grazie alla loro trasversalità e flessibilità, possono essere applicate anche nel campo dei Beni Culturali per progettare nuove modalità di intervento.



Fig. 1 - La Sala di Cristoforo Sorte con alcuni particolari delle lacune presenti nella cornice.

Negli ultimi anni si sono moltiplicate le esperienze interdisciplinari di trasferimento tecnologico finalizzate alla diffusione di tali tecnologie dall'ambito dell'ingegneria industriale a quello della conservazione e valorizzazione dei Beni Culturali. In questo contesto il trasferimento tecnologico va inteso non tanto in senso verticale tra centri di ricerca e aziende, quanto in senso orizzontale, cioè tra campi di ricerca afferenti a discipline diverse. Queste esperienze hanno mostrato la necessità di introdurre nuove figure professionali a supporto di quelle tradizionali dell'archeologo, dell'architetto, del restauratore e del conservatore: tra queste professionalità figurano gli esperti di modellazione 3D, di ingegneria inversa e di prototipazione rapida.

Ne consegue la necessità di coordinare tra loro professionisti afferenti a settori disciplinari diversi, valorizzandone le specifiche competenze e al tempo stesso favorendone l'integrazione. La ricerca di nuove metodologie di lavoro non può, infatti, prescindere dal confronto con l'approccio tradizionale, rispetto al quale strumenti e metodi dell'ingegneria industriale possono porsi non in maniera alternativa, ma complementare.

Il presente articolo vuole mostrare un esempio concreto dell'applicazione di tali tecnologie nell'ambito del restauro architettonico, realizzato da un team interdisciplinare formato dalla restauratrice Maria Giovanna Romano, 3D ArcheoLab, ON/OFF FabLab Parma e Geofaber Parma.

Il lavoro è stato realizzato nel mese di Gennaio 2015 a Palazzo Ducale di Mantova, in occasione del recupero della Sala detta di Cristoforo Sorte. La Sala si trova nel cuore di Palazzo Ducale, affacciata sul sottoportico del Cortile della Cavallerizza, ed è uno degli ambienti della Rustica, l'appartamento progettato da Giulio Romano per Federico II Gonzaga. La sala, decorata intorno alla prima metà del XVI sec., ha una volta completamente dipinta con colonne tortili, un pergolato con foglie di vite e grappoli che scendono dal soffitto, un'apertura rettangolare sul cielo con putti che si rincorrono nei girali, in un insieme di elementi di tipico stile giuliesco. All'altezza del piano di imposta della volta è presente una cornice decorata da una doppia fascia: la fascia inferiore presenta una decorazione costituita da elementi di forma a ovulo, circondati su tre lati da un "guscio" incurvato e separati da "freccette" (kyma ionico), mentre la fascia superiore è caratterizzata da un motivo costituito da "archetti" che contengono un elemento interno lanceolato (kyma lesbio continuo).

All'avvio dei lavori di restauro la cornice si presentava molto danneggiata, con numerose e ampie lacune, e proprio sulla ricostruzione di tale elemento si è concentrato il lavoro qui esposto (fig. 1).

L'obiettivo era di integrare le lacune affiancando la metodologia di restauro tradizionale con le tecnologie dell'ingegneria inversa e della prototipazione rapida. Attraverso queste si sono sperimentati due approcci differenti: ricreare le parti mancanti in stampa 3D e applicarle all'interno delle lacune; creare in stampa 3D le controforme della cornice da poter utilizzare come stampi su una base di malta per riprodurre la decorazione. Da un punto di vista operativo si è proceduto in tre fasi distinte:

1. rilievo 3D della cornice e creazione dei modelli 3D digitali;
2. riproduzione fisica in stampa 3D dei modelli digitali;
3. integrazione delle lacune attraverso l'utilizzo delle riproduzioni.

FASE 1: CREAZIONE DEI MODELLI 3D DIGITALI

Il primo passo è stato eseguire il rilievo tridimensionale di una porzione ben conservata della cornice, sia della fascia superiore, sia di quella inferiore. La cornice si trova a circa 3 metri da terra ed era raggiungibile in modo non agevole solo attraverso i ponteggi allestiti all'interno del cantiere di restauro. Per questo motivo si è optato per una soluzione di rilievo agile e speditiva basata sull'acquisizione e l'elaborazione di immagini digitali attraverso tecniche di ricostruzione *Structure-from-Motion (SfM)* e *Multi-View Stereo (MVS)*.

Il modello 3D così ottenuto è stato elaborato con un software di sculpting digitale in modo tale che fosse correttamente riproducibile in stampa 3D. In particolare, sono stati elaborati due modelli digitali differenti:

- il modello 3D vero e proprio, quale riproduzione digitale fedele di una porzione della cornice originale, che d'ora in avanti chiameremo *positivo*;
- il *negativo* del modello 3D della cornice originale, che non è altro che il risultato del ribaltamento della superficie originale; vedremo in seguito per quale motivo esso è stato creato (fig. 2).

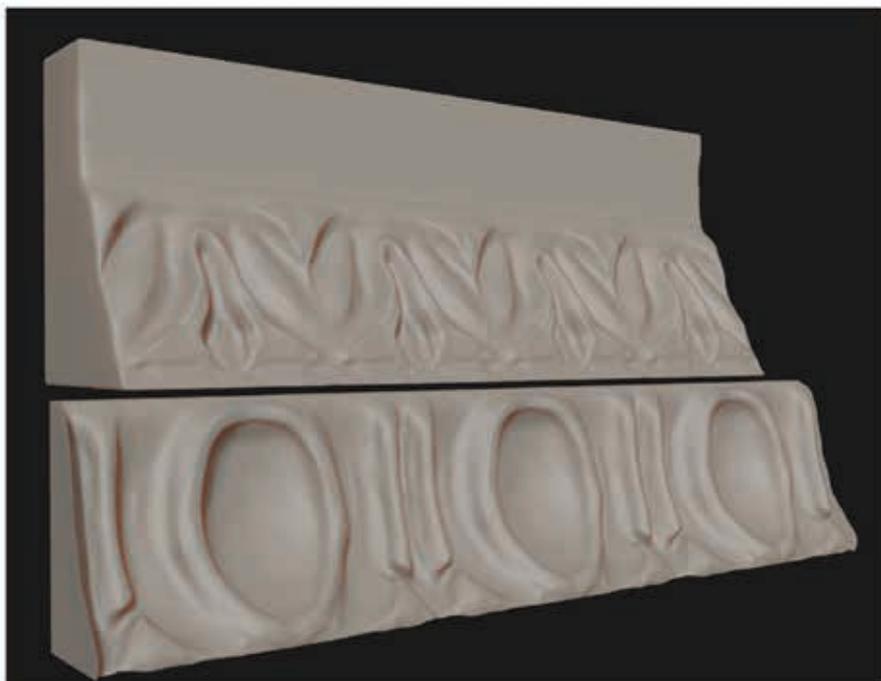


Fig. 2 - I modelli 3D digitali: *negativi* (a sinistra) e *positivi* (a destra).

I modelli sono stati ottimizzati per essere riprodotti in stampa 3D e salvati nel formato STL (*Stereo Lithography interface format* o *Standard Triangulation Language*) un formato di file che rappresenta lo standard di dialogo tra modelli digitali e tecnologie di stampa 3D.

FASE 2 : RIPRODUZIONE IN STAMPA 3D

La stampa è stata realizzata con una stampante 3D a Fabbricazione di Filamento Fuso o FFF (dall'inglese *Fused Filament Fabrication*), una tecnologia di produzione additiva che lavora rilasciando il materiale su strati sovrapposti. Tale stampante fonde ed estrude un filamento di termoplastica per disegnare tutte le linee che formano gli elementi di un oggetto tridimensionale.

La scelta della termoplastica da utilizzare è ricaduta sul PLA o acido polilattico, un biopolimero derivato da amido di mais, tapioca o zucchero di canna. Si tratta di uno dei materiali più diffusi per le stampanti 3D FFF, uno dei più economici e quello che presenta le difficoltà minori in fase di stampa. Rispetto alla termoplastica ABS (acrilonitrile butadiene stirene) possiede meno resistenza meccanica e alle alte temperature, ma considerato l'ambito applicativo in un ambiente interno, quindi non sottoposto a fonti o sbalzi di calore né a sollecitazioni meccaniche, si è ritenuto il PLA adeguato all'obiettivo. E' necessario sottolineare come i materiali disponibili oggi per le stampanti 3D non siamo mai stati analizzati dal pun-



Fig. 3 - Una delle riproduzioni in stampa 3D dei modelli digitali.

to di vista del restauro, per saggiarne le caratteristiche in termini di reversibilità, compatibilità, durata nel tempo, e in generale per comprovarne l'adeguatezza all'impiego in interventi di restauro. Ad oggi in letteratura sono note pochissime esperienze di applicazione della stampa 3D al restauro integrativo e in ogni caso noto è evidente che la scelta del materiale è stata dettata più che altro dalle possibilità offerte di volta in volta dalle stampanti 3D a disposizione del team di lavoro. Quello dei materiali per la stampa 3D è un campo in continuo sviluppo, ma purtroppo per ora più orientato a ricerche e produzioni destinate all'ambito meccanico, che a quello storico-artistico. Per quest'ultimo ambito, le migliori novità sembrano essere quelle relative alla possibilità di stampare in argilla o impasti ceramici di differenti tipologie, nonché alla possibilità di utilizzare materiali ibridi, che a una base termoplastica integrano polveri di materiali di vario tipo: come legno, marmo o metalli.

In generale il processo di prototipazione rapida può essere suddiviso in tre fasi principali.

Il primo passo è la generazione di un modello in formato STL dell'oggetto che si vuole ricreare. Il modello viene quindi sottoposto alla fase di *slicing*, ovvero di scomposizione in sezioni orizzontali o *layers*. Ultime queste operazioni preliminari, l'oggetto viene generato dalla stampante 3D seguendo le impostazioni di stampa definite nella fase di *slicing*.

In questo caso, entrambi i modelli 3D digitali, il *positivo* e il *negativo* (fig. 3), sono stati stampati con i seguenti parametri di stampa: *layer height* 0.2 mm, *shell thickness* 1.2 mm, *bottom/top thickness* 1 mm, *fill Density* 10% (grid).

FASE 3: INTEGRAZIONE DELLE LACUNE

Si è deciso di procedere nell'integrazione della cornice seguendo due strade differenti; da un lato si è proceduto in maniera più vicina alle tecniche tradizionali utilizzando il *negativo* come stampo, mentre nel secondo caso si è optato per una soluzione sperimentale, proposta e applicata per la prima volta in un cantiere di restauro di questo tipo, che ha comportato il posizionamento di due *positivi* all'interno delle lacune.

Il modello 3D digitale che abbiamo definito come *negativo* non è altro che la versione digitale di un calco tradizionale. Diversamente dalle tecniche di calco che prevedono l'utilizzo di una materia duttile applicata direttamente sulla superficie originale, come gesso, gomma siliconica o resine sintetiche, in questo caso l'acquisizione della morfologia è

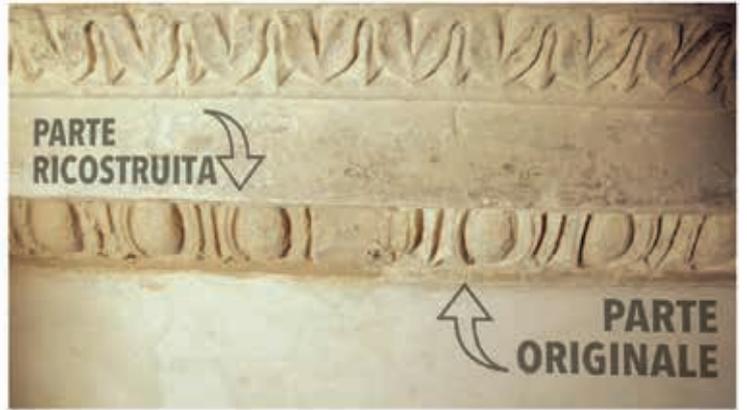


Fig. 4 - Fasi di lavoro dell'integrazione della lacuna con l'utilizzo a stampo della riproduzione in stampa 3D del *negativo*.

avvenuta senza alcun contatto fisico con l'oggetto, azzerando di conseguenza il rischio di alterazioni o di accidentali danneggiamenti.

Attraverso la riproduzione in stampa 3D del *negativo*, si è così ottenuta una controforma che è stata utilizzata secondo una tecnica tradizionale: su uno strato di malta morbida a base di calce e inerti è stato applicato a pressione per ricreare a stampo la decorazione della cornice (fig. 4).

Un campione della cornice era stato in precedenza analizzato per caratterizzarne la composizione materica. L'approccio metodologico è stato canonico, procedendo con l'analisi di una sezione sottile al microscopio ottico polarizzato a luce trasmessa (MOLP) e al microscopio elettronico a scansione corredato di microsonda elettronica di dispersione di energia (SEM+EDS). Il campione analizzato era composto di tre tipologie di miscele differenti di cui la prima, quella basale,

a base prevalente di calce mentre le due finali composte in prevalenza di gesso. E' stato così possibile integrare le lacune utilizzando materiali affini a quelli della cornice originale.

Nel secondo caso si è proceduto stampando il modello 3D "positivo" e applicandolo *in situ* all'interno di una lacuna, sulla solita preparazione di malta a base di calce. La superficie del positivo è stata infine resa omogenea alla superficie originale conservata, grazie all'applicazione di uno scialbo di calce e velatura ad acquerello. In virtù delle considerazioni sulla reale adeguatezza delle termoplastiche agli interventi di restauro, abbiamo limitato questo tipo di intervento a un solo tassello di 10 cm per ogni fascia decorata; tale tassello è sottoposto a verifiche autoptiche regolari per verificare la presenza di eventuali tracce di alterazione (fig. 5).

Per capire se la finitura superficiale della cornice fosse riproducibile sui *positivi*, sono stati in precedenza compiuti test



Fig. 5 - Risultato dell'applicazione di un *positivo* realizzato in stampa 3D all'interno di una delle lacune; a destra come appare la cornice dopo la velatura a acquerello.

in laboratorio. Sono state testate finiture sia in gesso che in calce, mescolate con inerte carbonatico fine e stese sopra ad un provino realizzato in PLA per verificare l'adesione nel tempo. Alcuni test sono stati eseguiti mescolando al legante inorganico anche una percentuale di acrilico per verificare la reazione con il materiale plastico ed una eventuale sua penetrazione all'interno dello stesso. Per quanto la sperimentazione dovrebbe essere condotta su casistica più ampia e con tempi decisamente molto più lunghi di quelli che si avevano in questo caso a disposizione, i risultati ottenuti hanno mostrato una buona compatibilità tra i materiali utilizzati, senza evidenziare particolari controindicazioni.

CONCLUSIONI, IL PUNTO DI VISTA DEL RESTAURATORE

Un restauratore non vorrebbe mai abdicare al suo ruolo primario nella conservazione di un'opera d'arte, non vorrebbe mai che l'occhio meccanico della macchina fotografica e la mano meccanica della stampante 3D si sostituissero ai suoi occhi e alla sue mani. Tuttavia, se si ha a cuore la conservazione e il futuro, inteso come miglioramento tecnologico e scientifico, non si può non iniziare un percorso con le nuove tecnologie. La metodologia qui descritta ha permesso di eseguire con velocità e precisione calchi di superfici, senza in alcun modo interagire fisicamente con gli originali.

Un calco tradizionale prevede l'utilizzo di una materia duttile da porre direttamente sull'opera originale, previo trattamento con una sostanza distaccante. Per quante precauzioni si possano adottare, la sostanza distaccante lascerà tracce, più o meno importanti, sulle preziose superfici, in qualche caso alterandole. Inoltre, il distacco della controforma dal suo originale risulta sempre un'operazione traumatica per ogni superficie storica di pregio. Per questo motivo, l'utilizzo di una tecnologia che possa saltare i passaggi più rischiosi dell'esecuzione di un calco, non può che essere un grande passo in avanti nella metodologia di un restauro conservativo corretto, soprattutto per oggetti difficilmente raggiungibili o particolarmente delicati.

Inoltre, la ricerca sui termopolimeri da utilizzare con stampanti 3D è in rapidissima e continua evoluzione, certamente in breve tempo le riproduzioni si avvicineranno sempre di più all'originale, non solo dal punto di vista morfologico, ma anche da quello materico, risolvendo il problema della compatibilità dei materiali.

Infine, attraverso la metodologia qui esposta i tempi e i costi potranno, da parte del restauratore, essere sensibilmente abbattuti, liberando risorse da destinare ad altri settori dell'intervento di restauro.

BIBLIOGRAFIA

Antlej, K., Eric, M., Šavnik, M., Županek, B., Slabe, J., & Battestin, B. (2011). *Combining 3D technologies in the field of cultural heritage: three case studies*. In VAST Conference 2011, International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Short and Project Paper Proceedings, 1-4.
Antlej, K., Celec K., Sinani M., Miričič E., Ljubič D., Slabe J., Lemajič G., Kos M. (2011) *Restora-*

tion of a Fruit Bowl with a Leg using 3D technologies. The Sixth SEEDI Conference Digitization of Cultural and Scientific Heritage, 41-43.

Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Idelson, A. I., & Scopigno, R. (2013). *Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue*. Journal of Cultural Heritage, 14(4), 332-345.

Riva F. (2014). *Superficie inAttesa. Processi di*

finitura superficiale per stampa 3D FDM. Tesi di Laurea, Politecnico di Milano.

Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2014). *Digital Fabrication Technologies for Cultural Heritage (STAR)*. In Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage, 75-85.

ABSTRACT

Time Compression Technologies are widely used in the design industry to support product innovation and improve competitiveness. Thanks to their transversal characteristics and flexibility, they can be applied with success in the field of Cultural Heritage for planning new methods, in particular the technology of 3D scanning and 3D printing.

This paper wants to show a concrete example of the application of these technologies in a restoration works in Palazzo Ducale in Mantova, for the reconstruction of an architectural frame of the sixteenth century.

PAROLE CHIAVE

RESTAURO; STAMPA 3D; INGEGNERIA INVERSA; PROTOTIPAZIONE RAPIDA

AUTORE

GIULIO BIGLIARDI,
BIGLIARDI@3D-ARCHEOLAB.IT
3D ARCHEOLAB

PIETRO DIONI
PIETRO@FABLABPARMA.ORG
GIOVANNI PANICO
GIOV.PANICO@LIBERO.IT

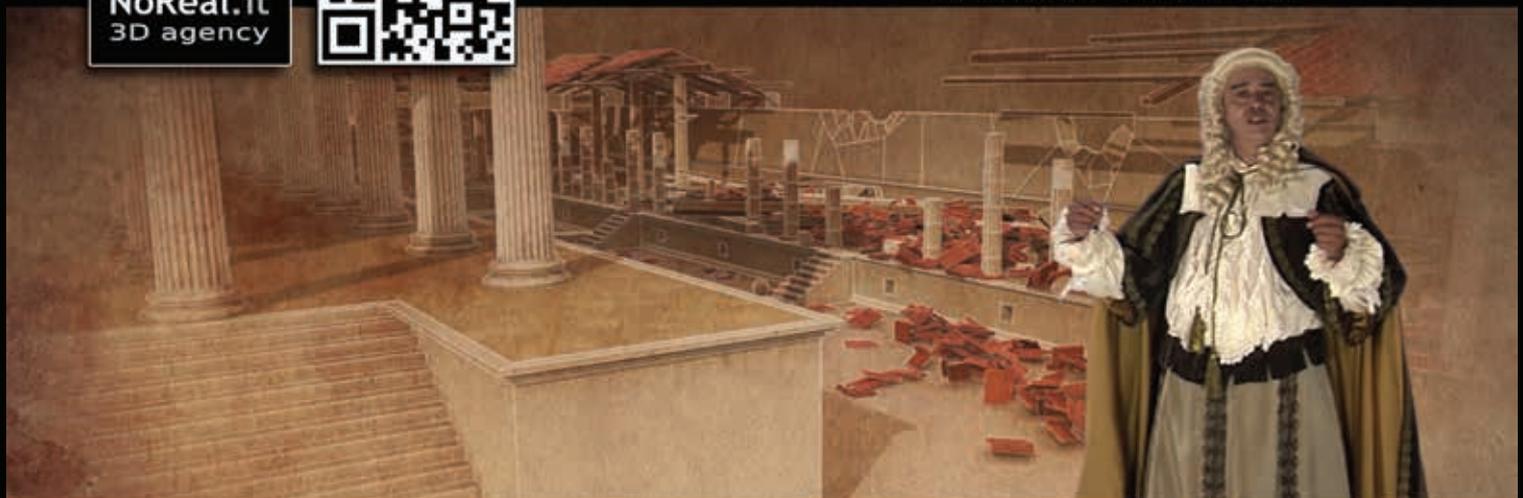
LARA RAVASI,
LARA.RAVASI12@GMAIL.COM
ON/OFF FABLAB PARMA

GIOVANNI MICHARA,
MICHARA@GEOFABER.IT
GEOFABER PARMA

MARIA GIOVANNA ROMANO
M.GIOVANNA.ROMANO@
VIRGILIO.IT
RESTAURO BENI ARTISTICI,
PORTO MANTOVANO (MN)



rendering - video 3D - virtual & augmented reality
www.noreal.it info@noreal.it
via Ugo Foscolo 4 - 10126 Torino - Italy
Tel. 011 5786823 Skype: NoReal.it



Capitulum di Verona - Video in computergrafica 2D e 3D con personaggio in costume

I GIOVANI E IL RESTAURO

ROMA

9/11 dicembre 2015

Aula Convegni - CNR Sede Centrale - Ingresso Via dei Marrucini

Il convegno presenterà le migliori tesi di laurea afferenti al campo della Conservazione e del Restauro dei Beni Culturali, in modo particolare è rivolto alle figure professionali del **restauratore** e dell'**esperto scientifico**. Tutte le tesi che parteciperanno al convegno, selezionate da una commissione esaminatrice, saranno pubblicate negli atti del convegno e le più meritevoli premiate con delle borse di studio.

INFO:

lumen.istruzione.onlus@gmail.com
www.igiovanieilrestauro.org

L'evento è promosso dalla **Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma**, con l'associazione **Lumen**



ed organizzato in collaborazione con altre prestigiose istituzioni e associazioni:



Patrocinato da:



COMITATO NAZIONALE
PER LE LAUREE MAGISTRALI
A CICLO UNICO
IN CONSERVAZIONE E RESTAURO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Università
Ca' Foscari
Venezia



Ordine Nazionale dei Biologi



Sponsorizzato da:



RomaponT S.r.l.



ResKot s.r.l.
Restauri Pavimenti in Cotto



Rassegna stampa:

