

## NANOTECNOLOGIE, ADDITIVE MANUFACTURING E GENIUS LOCI

Un caso di jewellery design

## NANOTECHNOLOGY, ADDITIVE MANUFACTURING AND GENIUS LOCI

A case of jewellery design

Debora Puglia, Benedetta Terenzi

### ABSTRACT

La ricerca presentata ha l'obiettivo di diffondere la conoscenza delle eccellenze regionali attraverso la progettazione di una serie di gioielli che evidenzino la loro origine Made in Umbria, valorizzando in modo inedito le ricchezze materiali e immateriali del territorio. Il lavoro mostra le possibilità d'innovazione che scaturiscono dalla strategia complessiva di un progetto di Design Territoriale lavorando, da un lato, sulla definizione delle peculiarità dell'ambiente naturale e antropizzato, in termini di creatività e di espressione estetica, dall'altro, sull'utilizzo di nanotecnologie per facilitare un uso consapevole delle risorse (materiali di scarto locali e biopolimeri) in combinazione alle possibilità offerte dall'additive manufacturing.

The presented research aims to spread the knowledge of regional excellence through the design of a series of jewels that highlight its Made in Umbria origin, enhancing in an unprecedented way the tangible and intangible riches of the territory. The work shows the possibilities of innovation that arise from the overall strategy of a Territorial Design project by working, on the one hand, on the definition of the peculiarities of the natural and man-made environment, in terms of creativity and aesthetic expression, on the other hand, on the use of nanotechnology to facilitate a conscious use of resources (local waste materials and biopolymers) in combination with the possibilities offered by additive manufacturing.

### KEYWORDS

additive manufacturing, nanotecnologia, genius loci, design territoriale, economia circolare

additive manufacturing, nanotechnology, genius loci, territorial design, circular economy

**Debora Puglia**, Engineer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Civil and Environmental Engineering of the University of Perugia (Italy). She carries out research activities at the Laboratory of Materials Science and Technology, mainly in the field of polymeric materials and nanostructured composites. Mob. +39 333/21.72.427 | E-mail: debora.puglia@unipg.it

**Benedetta Terenzi**, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Civil and Environmental Engineering of the University of Perugia (Italy). She carries out research activities mainly in the field of product service system design and digital innovation. Mob. +39 393/44.17.696 | E-mail: benedetta.terenzi@unipg.it

La capacità di fare innovazione, in termini di nuovi prodotti/servizi realizzati e di processi produttivi, è sempre più considerata una condizione essenziale per poter operare con successo nel contesto economico odierno caratterizzato da cambiamenti tecnologici sempre più rapidi e da una maggiore ricerca della funzione simbolica dei prodotti, a scapito di quella meramente utilitaristica (Aspen Institute Italia, 2012; Piergiorgio Carree and Santarelli, 2012; Rullani, 2004). D'altro canto, nell'attuale scenario globale e interconnesso, l'elemento territoriale torna a svolgere un ruolo importante nella generazione d'innovazione: attraverso la 'conoscenza tacita' (Trigilia, 2007) e il capitale umano in loco si creano interazioni spesso di natura informale che contribuiscono a sviluppare una particolare 'atmosfera creativa' (Bertacchini and Santagata, 2012). Una creatività unica e irripetibile, hic et nunc, che cioè contraddistingue quel territorio, in quel particolare momento. Attraverso processi di lunga durata, il territorio acquisisce infatti la sua peculiarità, frutto del binomio natura/cultura, cioè avere/essere, sapere/fare. Enzo Rullani (2013), basandosi sul paradigma della Knowledge Economy, considera il territorio come 'moltiplicatore cognitivo' esaltando il patrimonio del sapere radicato in uno specifico contesto territoriale (sapere contestuale) e lo scambio di conoscenze, sia formale che informale, volto alla propagazione delle innovazioni tra imprese, attori sociali e comunità.

Il tema della 'democrazia delle culture' di Latouche e la critica alla globalizzazione intesa come una 'nuova torre di Babele' uniformante e omologante di Panikkar evidenziano come stia riemergendo con forza nel dibattito internazionale la Pluriversitas contro l'Universitas, un ripensamento de 'il pensiero unico' dell'Universum a favore di un Pluriversum, un mondo plurale nonché pluralista (Latouche and Panikkar, 2018). In questo senso, l'obiettivo del contributo è dimostrare le inedite possibilità d'innovazione generate da un approccio strategico del design attraverso gli esiti di una ricerca che ha avuto l'obiettivo di diffondere la conoscenza delle eccellenze regionali partendo dalla progettazione di una serie di gioielli che evidenziassero in modo innovativo la loro origine Made in Umbria, valorizzando in modo originale le ricchezze materiali e immateriali del territorio. Questo è stato possibile integrando l'utilizzo della stampa 3D con l'uso consapevole di materiali di scarto e biopolimeri grazie all'utilizzo delle nanotecnologie.

**Design Territoriale** | Per Design Territoriale si intende quel particolare approccio che mette a punto strategie di sviluppo territoriale e del quale il territorio è coautore (Franzato, 2009); Flaviano Celaschi (2008) ne individua le caratteristiche peculiari: esso è infatti multiautoriale, è multidimensionale e multidisciplinare, ed è interattivo. Esso agisce sul rapporto d'interazione cognitiva e materiale della rete locale con l'ambiente di riferimento e con l'ecosistema; e agisce sulla società stessa che, dal basso, pare esprimere un'evoluta capacità d'innovazione, utilizzando al meglio le risorse fisiche e sociali esistenti, rendendo i sistemi più efficienti sul pia-

no ambientale e più coesi su quello sociale secondo l'ormai celebre assioma 'every one designs' (Manzini, 2015). Ciò consiste nel tradurre le potenzialità del contesto in valori comunicabili e scambiabili, attraverso processi di trasformazione simbolica e materiale dell'ambiente (Dematteis, 2001). È evidente pertanto il ruolo del design nel conferire unitarietà all'operare della pluralità degli attori coinvolti e nel definire una strategia integrata attorno all'innovazione. Si tratta di un nuovo approccio 'think local and act global' come rinnovata risposta alla tradizionale formula 'think global and act local', in particolare in Italia, storicamente caratterizzata da una 'multifaceted identity', dove ogni territorio, luogo integrato di competenze, conoscenze, cultura, beni ambientali, eccellenze materiali e immateriali, oggi rivendica la sua ragione di esistere, di esprimersi e farsi conoscere e riconoscere.

E il Design Territoriale lavora proprio sul radicamento locale come strumento identitario e vincente rispetto alla omologata dimensione globale, riaffermando con forza il valore del genius loci come elemento di riconoscibilità e di affermazione di cultura (Bassi, 2017), e agendo sul capitale territoriale inteso come «[...] il complesso degli elementi (materiali e immateriali) a disposizione del territorio, i quali possono costituire punti di forza o veri e propri vincoli a seconda degli aspetti presi in considerazione» (Farrell et alii, 1999, p. 19). Alberto Magnaghi (2000) lo definisce 'patrimonio territoriale' enfatizzando il fatto che il capitale territoriale non è solo un qualcosa da interpretare e da utilizzare a nostro piacimento, ma è anche un'eredità da tramandare, una 'ricchezza durevole'.

**Il design per la valorizzazione del patrimonio territoriale umbro** | Il lavoro presentato intende sottolineare le possibilità di innovazione di tipo estetico, tecnologico e culturale che scaturiscono dalla strategia complessiva di un progetto Design Territoriale. La ricerca fa parte del Programma Interreg Europe CLAY – di cui la Regione Umbria è capofila – che ha coinvolto il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Perugia (responsabile scientifico Prof. Paolo Belardi) e nasce con l'obiettivo di diffondere la conoscenza delle eccellenze regionali. La prima fase ha interessato l'accreditamento del settore artigianale della ceramica umbra. La seconda fase ha inteso esplorare le potenzialità del settore orafa andando a valorizzare in modo inedito le ricchezze materiali e immateriali del territorio con una serie di gioielli che evidenziassero in modo innovativo la loro origine Made in Umbria.

Il progetto ha pertanto lavorato da un lato, sulla definizione delle peculiarità dell'ambiente naturale e antropizzato, in termini di creatività e di espressione estetica, dall'altro, sull'utilizzo della stampa 3D e l'uso consapevole di risorse. La ricerca ha operato su diversi livelli dimensionali, dimostrando il ruolo del design come 'mediatore poliglotta' dei diversi linguaggi del progetto alle diverse scale di dettaglio: la scala territoriale, per l'individuazione di quegli elementi che vanno a definire il valore del 'patrimonio territoriale', la scala dell'oggetto, nella definizione formale dei gioielli che raccontasse-

ro il territorio di appartenenza, la scala nanometrica, per la messa a punto di tecnologie che sfruttassero in modo innovativo metalli e materiali di scarto locali.

Il lavoro di ricerca ha voluto offrire una nuova prospettiva d'innovazione di processo e di prodotto che permetta al settore orafa umbro (come caso esemplificativo dei settori produttivi italiani d'impronta artigianale) di rispondere in modo concreto alla necessità d'interagire con l'innovazione digitale e con l'introduzione di materiali sempre più tecnologici. Allo stesso tempo, si è delineata un'estetica peculiare che guarda al futuro e che è declinata in modo evidente secondo le peculiarità del territorio di riferimento. In quest'ottica, la forte impronta artigianale del gioiello umbro, caratterizzato dal lavoro umano – dall'ideazione allo sviluppo e alla realizzazione del manufatto – secondo una personale cultura del 'saper fare' e talvolta guidato da una creatività istintiva, non viene disconosciuto dall'introduzione di processi di digitalizzazione e stampa 3D (Goretti et alii, 2019). Essi piuttosto evidenziano l'esigenza di una maggiore specializzazione e delineano la figura di un 'artigiano digitale' nell'ottica di mantenere un vantaggio competitivo del Made in Italy a livello globale.

**La progettualità per il settore orafa** | I gioielli sono sempre stati una terra di mezzo tra arte, artigianato, moda e design, stretti da un lato, dalla tipica autorità dell'artista, dall'altro, dalla fugacità della moda. A ciò si aggiunge la tradizione di un artigianato spesso chiuso nella difesa dei materiali preziosi come principale garanzia di eternità (Cappellieri, 2018). Il design del gioiello, in Italia, ha quindi sofferto di luoghi comuni, legati all'idea della necessità del pezzo unico, dell'estetica della tradizione, di materiali pregiati e costosi, fino agli anni '70 e '80 del secolo scorso quando grandi progettisti e architetti italiani si cimentarono, a più riprese, nell'ideazione di monili. Ma già dalla fine degli anni '50 una nuova generazione di artisti orafi iniziò a trattare il gioiello come un'opera d'arte, contestando il suo ruolo nella società e rifiutando le convezioni nelle quali esso era racchiuso.

Oggi, nell'idea condivisa di gioiello moderno prevale la ricchezza dell'idea sulla preziosità dell'oggetto. Ciò significa che dal punto di vista progettuale si è creata una grande possibilità d'innovazione accogliendo la tecnologia più avanzata, in una nuova visione che punta a esprimere un alto contenuto emotivo e comunicativo e non la ricchezza materica. Il gioiello si offre al pubblico come espressione di una scelta culturale responsabile, ricco di valenze sociali e palesemente dotato di sensibilità ecologica. Attraverso questa nuova modernità di cui sono forieri, i gioielli ci guidano nella ricerca del bello che si esprime anche con l'utilizzo di materiali poveri, di scarto, o riciclati. E anche quando materiali più preziosi come oro e argento permangono, sono comunque ripensati, depotenziati. Come scrive Roland Barthes (2006, p. 67) il gioiello contemporaneo «[...] non condivide più il potere dell'oro [è ancora] vario nelle forme e nei materiali, infinitamente utilizzabile, non più soggetto alla legge del prezzo alto né a quella di un uso particolare, festivo, quasi



**Fig. 1** | Collection 'en' (by M. Lombardo, L. Crescentini and C. Stigliano) tells both the centrality that the resiliency of the Umbria region; PLA with gold nanoparticles deposition and plexiglass.

sacralizzato [...]. Finché la ricchezza regolava la rarità del gioiello, questo poteva essere valutato in base al prezzo».

Alba Cappellieri (2018) individua tre possibili futuri del gioiello: la tradizione preziosa, le tecnologie indossabili e la creatività collettiva. Quest'ultima ipotesi rappresenta lo scenario nel quale il Design Territoriale si può esprimere perché riguarda il ripensamento dei processi creativi e produttivi offrendo nuove opportunità d'innovazione. Tra queste di particolare interesse è l'applicazione dell'additive manufacturing, che racchiude un'ampia e molteplice famiglia di tecnologie accomunate da un processo di additivazione di materiale detto layer by layer (Cappellieri, Del Curto and Tenuta, 2014). Disponibili in outsourcing questi processi stanno cambiando anche il settore produttivo del gioiello, con la possibilità di realizzare nuove forme e finiture, altrimenti non possibili, permettendo di stampare in un solo processo di costruzione parti composte di materiali eterogenei, e aprendo la strada alla personalizzazione spinta.

Questa tecnologia si può utilizzare per la stampa di un modello di cera ad alta risoluzione da cui ottenere successivamente una fusione a 'cera persa', ma può essere utilizzata anche per realizzare il gioiello finito. In quest'ultimo caso si possono presentare limitazioni dovute alle tipologie di materiali utilizzabili che influenzano le proprietà sia meccaniche che estetiche dei pezzi finiti. La volontà di trasformare questa criticità in una nuova opportunità d'innovazione è alla base del presente lavoro di ricerca. Infatti, sperimentazione, diversificazione e contaminazione tra materiali e tecniche tradizionali e quelli innovativi sono parole d'ordine per potenziare la capacità di presidiare con successo il complesso e mutevole mercato globale, generando prodotti sempre nuovi e ad alto tasso di creatività (Gupta, 2019; Sepahvani, 2015).

#### Per un'innovazione di tipo estetico e culturale

Rispetto all'espressione estetica e formale dei gioielli, il progetto ha indagato il genius loci partendo dall'osservazione della realtà e quindi da un'analisi approfondita del territorio umbro nella sua storia passata e recente, per carpirne i valori essenziali e le peculiarità stratificate. L'analisi con indagine diretta e ricerca desk ha riguardato in particolare: 1) il paesaggio naturale, nelle sue declinazioni dell'acqua (fonti, fiumi e laghi) e dei rilievi collinari e montuosi, caratterizzanti gli skyline e le texture naturali; 2) il paesaggio artificiale, ovvero le attività di antropizzazione nell'uso del territorio e gli artefatti architettonici nei principali periodi storici; 3) l'artigianato e l'industria, con i relativi know-how e le materie prime disponibili e diffuse. Partendo da questa base comune la ricerca è proseguita su due binari paralleli: da un lato ha riguardato lo studio e la selezione degli scarti delle lavorazioni artigianali per il loro riutilizzo con il supporto delle nanotecnologie, nell'ottica dell'innovazione tecnologica; dall'altro ha individuato delle invarianti per ogni macrocategoria esaminata, dalle quali sono scaturite molteplici declinazioni formali, nell'ottica di un'innovazione estetica (Figg. 1-7). L'obiettivo era pertanto progettare dei gioielli che raccontassero la loro origine in modo inedito e coerente, in quanto espressione estetica della cultura materica e formale del luogo.

In merito all'innovazione tecnologica, la ricerca ha riguardato lo studio e la selezione degli scarti delle lavorazioni artigianali, sui quali hanno avuto un ruolo importante il dialogo tra gli attori coinvolti e l'interazione con il territorio, al fine di valutarne le potenzialità. Nella metodologia, i passaggi dalla teoria alla pratica e viceversa non sono stati marcati, cosicché il momento della ricerca e il momento della azione si sono fusi (Celaschi, 2008). Per la scelta dei

materiali da utilizzare si sono prese in considerazione la loro reperibilità, l'assenza negli scarti di eventuali additivi chimici che potessero derivare da alcuni tipi di lavorazioni, e la possibilità di riuso con la manifattura additiva senza dover effettuare lavorazioni ulteriori.

La facilità di lavorazione dei biopolimeri ha così permesso la produzione di fili estrusi da utilizzare per lo stampaggio del gioiello (Gonzalez-Gutierrez et alii, 2018; Nguyen et alii, 2018) contenenti le materie selezionate: polvere di basalto e polvere di quercia. Il basalto è una roccia effusiva di origine vulcanica, di colore scuro o nero con un contenuto di silice ( $\text{SiO}_2$ ) relativamente basso; in Umbria si cava nella zona di Orvieto per essere utilizzato principalmente nel settore delle costruzioni, mentre la farina di basalto è facile da reperire perché attualmente è utilizzata in agricoltura come integratore in colture tradizionali sostituendo concimi di sintesi. La polvere di quercia è ugualmente disponibile, poiché in Umbria la superficie boschiva, estesa sul 44% del territorio regionale, ha una prevalenza di querce e lecci che dopo una prima lavorazione locale sono utilizzati per la realizzazione di arredi e pavimenti.

L'obiettivo è stato la progettazione di un ciclo produttivo chiuso, in cui il distretto produttivo sia capace di ridurre al minimo i materiali di risulta e la produzione di rifiuti da discarica (downcycle), evitandone il processo di smaltimento, complesso e dal costo elevato. Si tratta di un processo di elevata sostenibilità ambientale ed etica, nell'ottica di una Economia Circolare, definita dalla Ellen MacArthur Foundation (2015) come 'un'economia pensata per potersi rigenerare da sola', con due flussi di materiali: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati a essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera. Si tratta di stravolgere completamente l'idea attuale di rifiuto in un'ottica che vada verso la sua eliminazione, oltre che il suo riutilizzo, con una rivoluzione dei sistemi di produzione e di progettazione dei prodotti basati sull'approccio biomimetico 'cradle to cradle' (McDonough and Braungart, 2002), sull'ecologia industriale (Huber, 2000) e sulla Blue Economy (Pauli, 2014). In questo senso, il Design gioca un ruolo fondamentale in quanto è proprio a partire dalla concezione del prodotto che vanno prese decisioni che devono incidere in modo significativo sulla sostenibilità del prodotto, del processo produttivo e sull'intero ciclo di vita, stimolando processi virtuosi di cooperazione e nuovi modelli di business.

#### La sperimentazione di nanotecnologie applicate al gioiello

Lo stato dell'arte riporta ampia letteratura in merito alla possibilità di ottenere filamenti polimerici base PLA caricati con farine di legno (Tao et alii, 2017) oppure con prodotti ceramici volti a richiamare l'aspetto di una pietra (Chiulan et alii, 2018). La semplicità di realizzazione è confermata dalla presenza di numerosi prodotti già in commercio, ad alta carica legnosa e ceramica, che hanno però come limite principale un'innata fragilità e una difficile gestione della fase di processo, dovuta a una viscosità del filo in fusione particolarmente elevata. A tal fine, l'idea di realizza-

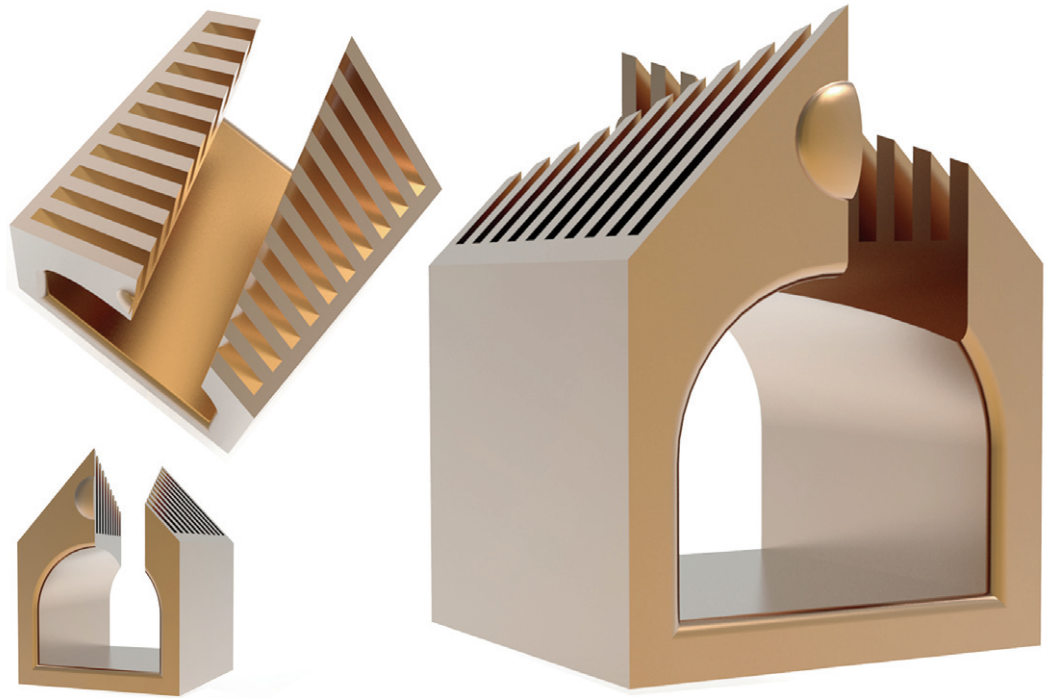


re fili con un processo di laboratorio non industrializzato è nata dalla possibilità di realizzare fili a viscosità controllata (variabile in funzione della quantità di carica additiva inserita) e con granulometrie tali da poter richiamare, dal punto di vista estetico, un oggetto con finitura quanto più naturale e simile a quello di un oggetto in legno o in pietra.

Sulla base di queste ipotesi, si è proceduto nella realizzazione di fili a diametro standard per stampante 3D utilizzando polvere di basalto e polvere di quercia (Figg. 8, 9). In particolare, la preparazione del filo estruso ha previsto l'utilizzo di un microestrusore, strumento utile per la miscelazione di particelle micro/nanometriche e polimeri allo stato fuso. In dettaglio, sono stati preparati fili di diametro medio 1,75 mm (polimero contenente il 20% in peso di carica) da utilizzare come bobina per la stampante 3D. Le polveri utilizzate sono state reperite presso la Basalti Orvieto Srl, e la dimensione media necessaria di 100-200  $\mu\text{m}$  è stata ottenuta con polverizzazione successiva, mentre la farina di quercia è stata prelevata presso una falegnameria locale e setacciata in laboratorio per selezionare la granulometria funzionale alla preparazione del filo estruso. Il processo di estrusione ha previsto il caricamento dei granuli in camera di estrusione, dove l'acido polilattico è stato portato a fusione in un range di temperature compreso tra 175 e 185  $^{\circ}\text{C}$  per un tempo di miscelazione pari a 3 minuti a 90 rpm (in controllo di velocità). La preparazione del filo estruso, sia in presenza che in assenza della polvere, ha previsto una filatura in controllo di forza pari a 1100 N e temperatura della testa di estrusione pari a 180  $^{\circ}\text{C}$ .

In altri casi, grazie all'utilizzo della nanotecnologia è stato inoltre possibile depositare strati di nanoparticelle di oro, su substrati biopolimerici stampati in 3D, ottenendo una palette di colori oro per semplice evaporazione termica del metallo (Ivanova, Williams and Campbell, 2013). È noto come la produzione di oggetti metallici mediante stampa 3D sia economicamente non vantaggiosa, d'altro canto la possibilità di decorare con finitura in metallo un oggetto realizzato invece in materiale plastico porta indubbi vantaggi dal punto di vista dei costi, sia di materiale che di processo. Le tecniche di deposizione elettrolitica hanno il vantaggio di poter ottenere spessori consistenti di deposizione, ma il limite principale sta proprio nella necessità di avere un elettrolita che risulti compatibile con le proprietà della matrice plastica, che cioè mantenga stabile, ad esempio dal punto di vista dimensionale, l'oggetto stampato (Bernasconi et alii, 2016; Liu et alii, 2019; Arun et alii, 2018) Al fine di una valenza estetica, è da ricordare come questo processo sia tecnologicamente perseguibile solo se la bagnabilità e i requisiti di adesione di un eventuale inchiostro o metallizzazione siano pienamente soddisfatti: nello specifico, il biopolimero deve avere tensioni superficiali tali per cui non si origini un distacco del coating superficiale – evento che facilmente può avvenire in un oggetto stampato con finitura superficiale non adeguata (Niaounakis, 2015).

La deposizione mediante evaporazione termica su substrato polimerico risolve questi limiti



**Fig. 2** | Collection 'SPOlet me know' (by B. Terenzi) dedicated to the city of Spoleto; ring inspired by the Romanesque style of religious architecture; PLA with deposition of gold nanoparticles.

tecnologici, poiché crea solidità al coating metallico, necessita di rapidi tempi di deposizione e non compromette la bagnabilità della plastica in un substrato, che non viene in alcun modo alterata. Se l'oggetto ha subito un processo di stampa additiva, alla compatibilità fisica si va ad aggiungere anche una compatibilità di tipo meccanico, per cui un coating aderisce meglio a un substrato con rugosità accentuata. Sulla base di queste ipotesi, si è suggerita l'evaporazione termica come metodologia di deposizione per gli oggetti realizzati mediante stampa 3D in acido polilattico (PLA). Si è eseguita l'evaporazione di un coating a base di oro (purezza 99,99%), spessore pari a 65 nanometri, mediante un evaporatore termico su substrati a base PLA stampati in 3D (Fig. 10). La deposizione è stata eseguita con velocità pari a 1 nm/s, mediante passaggio di corrente in crogiolo metallico, sublimazione delle particelle di oro, trasporto degli atomi dalla sorgente al substrato da ricoprire, deposizione delle particelle sul substrato e crescita del film.

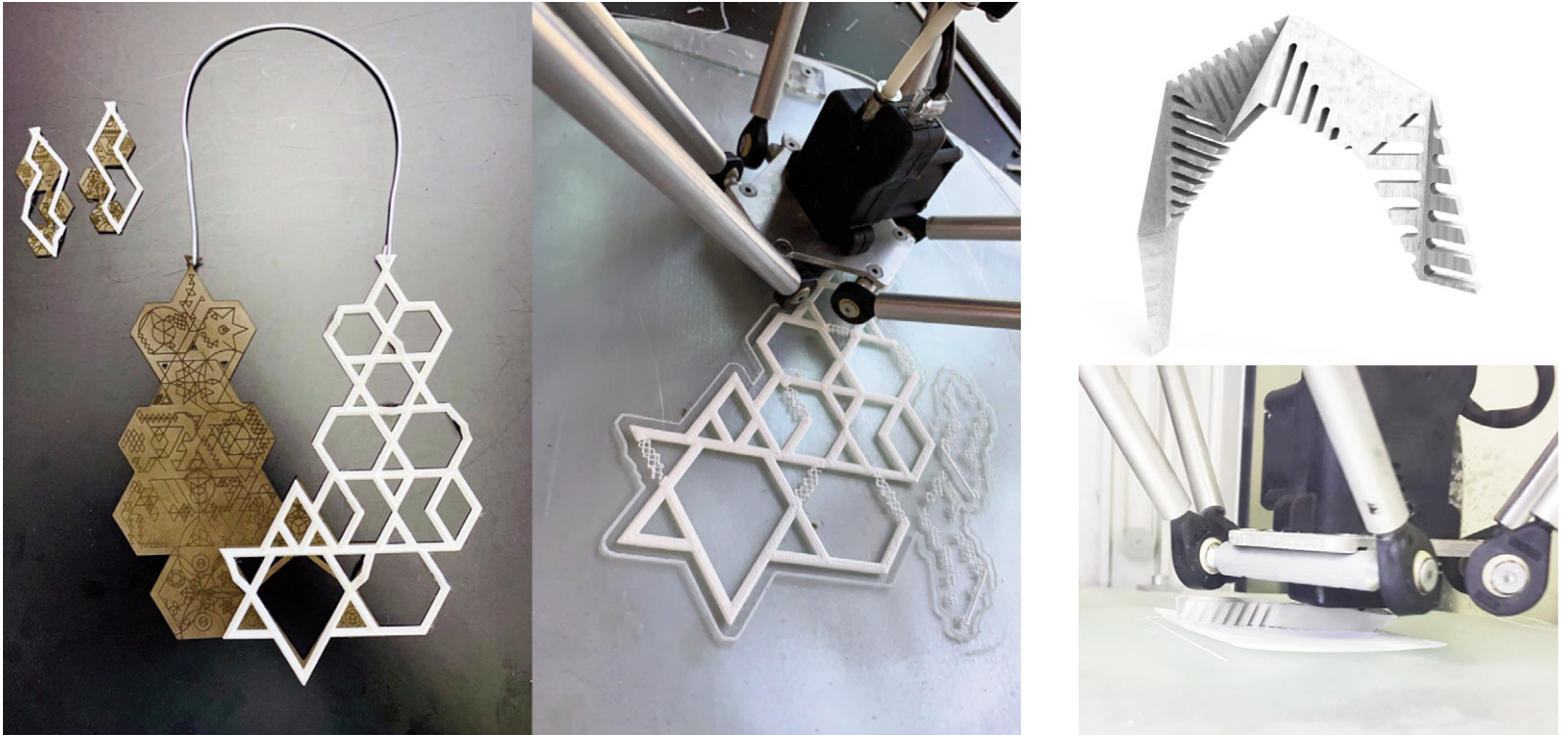
**Vantaggi, limiti e sviluppi futuri della ricerca** | Al momento, la ricerca sta lavorando per ottimizzare le performance dei materiali ottenuti per l'applicazione nel gioiello, ma ha individuato alcuni possibili sviluppi futuri. Rispetto alla realizzazione di fili con le farine selezionate, si vorrebbe sperimentare la colorazione del filo estruso in maniera omogenea utilizzando risorse naturali non sintetiche. Questo permetterebbe di avere un prodotto finito con colorazioni più varie ed esteticamente più gradevoli rispetto alla colorazione naturale delle farine. In questo senso è auspicabile l'utilizzo di nanopigmenti o nanocariche pigmentate derivanti da scarti di tipo alimentare. I coloranti naturali più comuni, come i carotenoidi, le antocianine, le betanine e le clorofille, sono ad oggi utilizzati come colo-

ranti sicuri per cosmetici e alimenti, grazie al loro carattere non tossico: tuttavia non sono stati utilizzati largamente in altre applicazioni industriali, essenzialmente a causa della loro scarsa resistenza alle radiazioni e alla temperatura, e della loro limitata gamma di colori.

Al fine di poter utilizzare tali materiali nella produzione di un filo polimerico estruso, è necessario prevedere una fase di stabilizzazione del colorante. Si dovrebbero funzionalizzare nanocariche inorganiche, come le argille, con pigmenti naturali 'verdi', quali i gialli dal limone, i rossi/blu dal melograno, i verdi da foglie, per poi incorporarli come additivi nella matrice polimerica. Sul mercato è possibile trovare rari esempi di filamenti naturali in PLA contenenti alghe naturali, scarti di produzione della birra e del caffè, scarti dei gusci delle cozze, ma non c'è traccia di filamenti coloranti con pigmenti naturali da scarti alimentari.

Sarebbe inoltre interessante formulare un filo a base PLA che contenga anche oli essenziali derivati da essenze locali con capacità antimicrobiche; questo compenserebbe la mancata antibattericità della plastica nel gioiello, proprietà invece presente in oggetti metallici. In commercio ci sono infatti filamenti resi antibatterici con l'uso di nanoparticelle metalliche che hanno applicazioni già testate nel campo biomedicale, del food packaging e nel settore aerospaziale (Zuniga, 2018). Si potrebbe invece prevedere l'utilizzo di additivi a lento rilascio, in grado di esercitare un'azione battericida duratura nel tempo, grazie alla capacità che queste molecole attive hanno di permeare e diffondere attraverso una matrice polimerica.

In merito alla tecnica di deposito di nanoparticelle, gli effetti di colore e aspetto superficiale di una tradizionale copertura galvanica sono relativamente numerosi, a fronte però di un processo tendenzialmente costoso e impattan-



**Figg. 3, 4** | Collection 'SPOlet me know' (by B. Terenzi). Necklace inspired by the cosmatesque floors of the Cathedral of Santa Maria Assunta: PLA with basalt flour; Bracelet inspired by 'Ponte delle Torri', PLA with basalt flour.

te dal punto di vista ambientale. La possibilità di poter produrre oggetti in plastica mediante stampa 3D ricopribili con tecniche di evaporazione termica apre la possibilità di utilizzo a settori che tradizionalmente fanno uso di galvanoplastica, come il settore automobilistico e dell'illuminazione, alla continua ricerca di alternative che possano incontrare le esigenze del design. Sarebbe anche auspicabile avere numerosi colori, a fronte della deposizione di una miscela di più metalli; inoltre si andrebbe ad ampliare il campo delle plastiche, attualmente al servizio della sola galvanoplastica, in quanto i polimeri che resistono a bagni chimici in alta temperatura e già commercialmente disponibili sono relativamente pochi (esempi sono ABS, poliammidi), mentre i termoplastici a bassa temperatura di fusione come il PLA (intorno ai 170 °C) non trovano ancora applicazione in questo settore per i limiti di resistenza alla degradazione termica. È importante sottolineare che la deposizione termica di uno spessore nanometrico non compromette in alcun modo la riciclabilità dell'oggetto e viene eseguita in tempi molto più brevi e con un consumo di risorse energetiche limitato.

Pur consapevoli che la strada verso una riduzione significativa dei rifiuti è ancora lunga, con un approccio come quello illustrato è possibile dimostrare che il genere umano possiede gli strumenti per impostare stili di vita più sostenibili ed eco-efficaci, e che la biodiversità della natura (insieme alla molteplicità e diversità delle imprese umane) costituisce di per sé una garanzia per uno sviluppo armonico. Lo studio vuole pertanto porre l'attenzione sulla metodologia adottata tracciando strade possibili alle quali l'intero comparto produttivo regionale (e non solo) possa guardare con interesse e positività. L'applicazione nella progettazione di

gioielli è pertanto un caso esemplificato che ha un forte impatto a livello comunicativo e che intende aprire la strada ad applicazioni in molti altri e diversi settori produttivi.

**Conclusioni** | I gioielli Made in Italy fanno parte di quei settori della moda e del lusso che promuovono il 'saper fare' italiano all'estero. In Umbria, il mestiere orafa costituisce il fiore all'occhiello dell'antica tradizione artigiana e può contare su numerosi maestri orafi, un'eccellenza per doti creative, elevate abilità tecniche e antiche tradizioni tramandate da generazioni. L'intero settore necessita però di efficaci percorsi d'innovazione nel design e nella produzione, e di confrontarsi e interagire con la digitalizzazione, con i nuovi materiali e con le nuove tecnologie, per individuare una nuova identità che guardi al futuro. Con la premessa che la creatività istintiva tipica del settore non viene disconosciuta dai processi d'innovazione digitale, il lavoro intende guidare il comparto verso una maggiore specializzazione che vada a delineare una figura promiscua, quella dell'artigiano digitale, nell'ottica di consolidare il vantaggio competitivo del Made in Italy a livello globale.

Partendo da questi presupposti, il processo avviato dalla ricerca ha promosso contaminazioni con settori produttivi apparentemente distanti e ha favorito modelli di economia circolare che puntano a riprogettare anche i processi, piuttosto che solo prodotti finiti. Infatti, la sfida maggiore che il design si trova ad affrontare oggi è quella di rivedere i modi in cui si produce, per dar vita a prodotti che creino una diversa interazione con gli utenti (Mortati and Villari, 2014). L'utilizzo di scarti da lavorazione e l'uso consapevole delle risorse qui presentati, che favoriscono interessanti e perfezionate 'materie prime seconde' inedite per il settore

orafa, permettono ai gioielli di assumere un nuovo valore simbolico e di affermarsi per il significato che l'utente attribuisce ad essi, in un approccio all'innovazione design-driven (Verganti, 2009).

Inoltre, sperimentando tecnologie di lavorazione, sfruttando le potenzialità di forme e materiali, attivando reti di persone, la ricerca promuove il rafforzamento dell'identità locale in prodotti ad alto valore aggiunto che rendano, da un lato, le attività economiche sostenibili da un punto di vista tecnico, economico, ambientale e sociale nel lungo periodo, dall'altro, gli attori tutti (dalle Pubbliche Amministrazioni ai consumatori finali) più consapevoli e coinvolti nella salvaguardia del capitale umano e territoriale. In quest'ottica, Istituzioni, Università e aziende devono lavorare insieme per trovare nuove soluzioni a bisogni emergenti, in risposta a sfide attuali come la sostenibilità, la salute, il benessere, lo sviluppo urbano, il risparmio energetico, il lavoro e la qualità della vita (Villari, 2013) per rafforzare i luoghi e creare valore per le persone. Pertanto il presente contributo rappresenta un approccio strategico al Design Territoriale, riavvicinando il progetto alla consapevolezza del grande patrimonio che contraddistingue il nostro Paese, riflettendo sul ruolo del design nell'innovazione laddove essa si riferisce anche alla capacità di migliorare i risultati sociali e creare valore per persone, luoghi e organizzazioni.

---

The ability to innovate, in terms of new products/services and production processes, is increasingly considered an essential condition to be able to operate successfully in today's economic context, characterized by increasingly rapid technological changes and increasing re-



search for the symbolic function of products, to the detriment of the merely utilitarian one (Aspen Institute Italia, 2012; Piergiovanni, Carree and Santarelli, 2012; Rullani, 2004). On the other hand, in the current global and interconnected scenario, the territorial element returns to play an important role in the generation of innovation: through 'tacit knowledge' (Trigilia, 2007) and the human capital on-site, interactions are created, often of an informal nature, which contribute to developing a particular 'creative atmosphere' (Bertacchini and Santagata, 2012). A unique and unrepeatable creativity, *hic et nunc*, which distinguishes a specific territory in a particular moment. Through long-lasting processes, the territory acquires its peculiarity, the result of the combination of nature/culture, i.e. having/being, knowing/doing. Enzo Rullani (2013), based on the paradigm of the Knowledge Economy, considers the territory as a 'cognitive multiplier'. He exalts the heritage of knowledge rooted in a specific territorial context (contextual knowledge) and the exchange of knowledge, both formal and informal, aimed at the propagation of innovations between companies, social actors and communities.

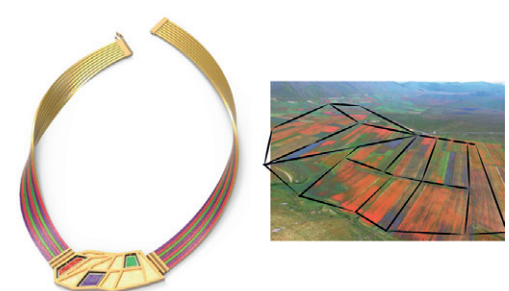
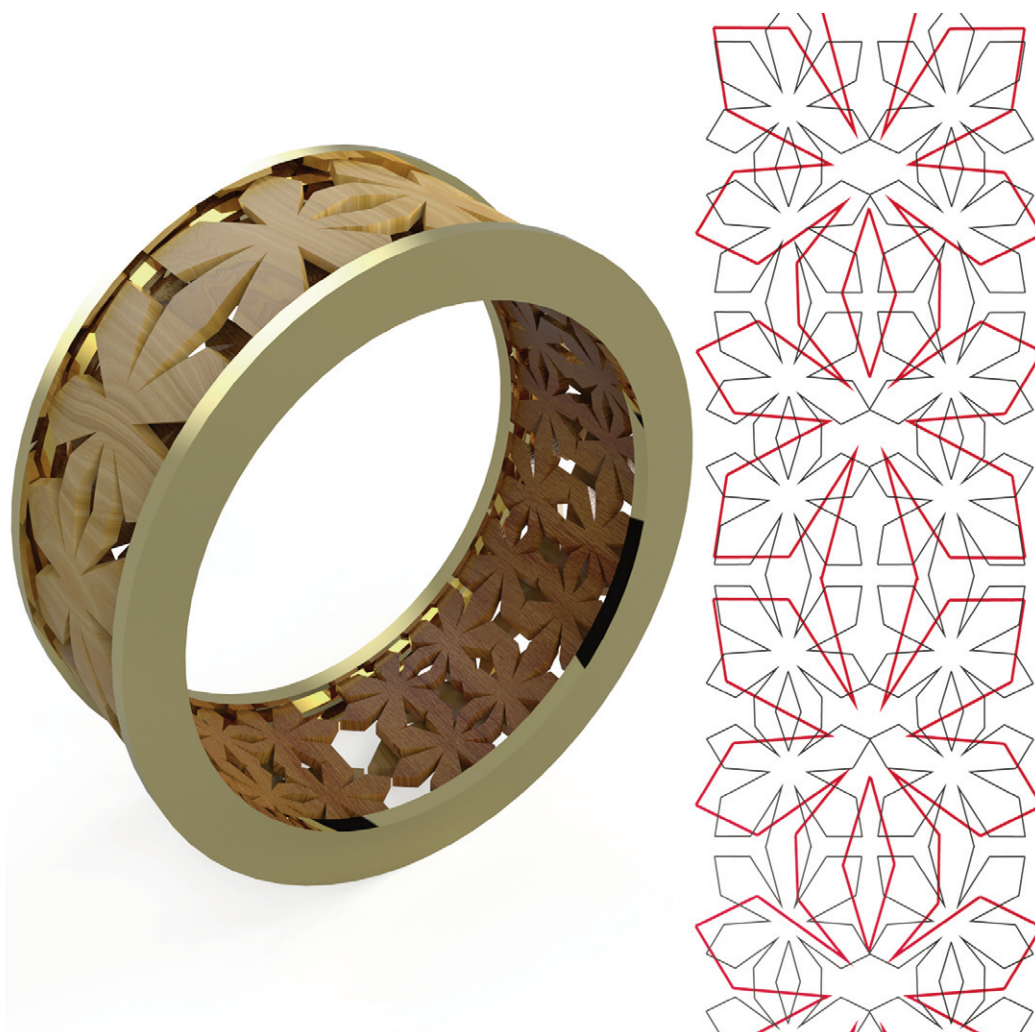
Latouche's 'democracy of cultures' and the uniforming and homologating Panikkar's critique of globalization understood as a 'new Babel tower' highlight how the *Pluriversitas* against *Universitas* is strongly re-emerging in the international debate, a rethinking of the *Universum*'s 'single thought' in favour of a *Pluriversum*, a

pluralist as well as a pluralist world (Latouche and Panikkar, 2018). In this sense, the contribution intends to demonstrate the unprecedented possibilities of innovation generated by a strategic approach to design through the results of a research that aimed to spread the knowledge of regional excellence, starting from the design of a series of jewels that would highlight, in an innovative way, its Made in Umbria origin, enhancing in an original way the material and immaterial richness of the territory. This was made possible by integrating the use of 3D printing with the conscious use of waste materials and biopolymers thanks to the use of nanotechnology.

**Territorial Design** | Territorial Design is understood as that particular approach that fine-tunes territorial development strategies of which the territory is the co-author (Franzato, 2009); Flaviano Celaschi (2008) identifies its peculiar characteristics: in fact, it is multi-authorial, multidimensional and multidisciplinary, and interactive. It acts on the cognitive and material interaction relationship of the local network with the environment it refers to and with the ecosystem; it acts on society itself which, from below, seems to express an evolved capacity of innovation making the best use of existing physical and social resources, making systems both more efficient on the environmental level that more cohesive on the social one, according to the famous axiom 'everyone designs' (Manzini, 2015).

This consists in translating the potential of the context into communicable and exchangeable values, through processes of symbolic and material transformation of the environment (Dematteis, 2001). Therefore, it is evident the role of design in giving unity to the work of the plurality of involved actors and in defining an integrated strategy around innovation. This is a new 'think local and act global' approach as a renewed response to the traditional 'think global and act local' formula, particularly in Italy, which is historically characterized by a 'multi-faceted identity', where nowadays every territory, as an integrated place of skills, knowledge, culture, environmental assets, material and immaterial excellence, claims its reason to exist, to express itself and to be recognized.

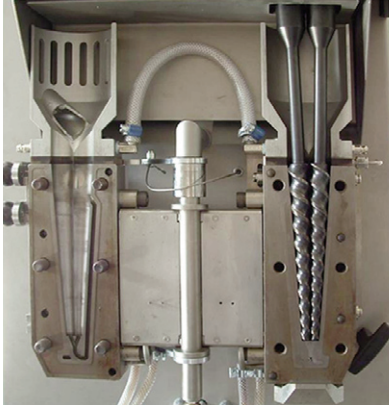
And Territorial Design works precisely on local rootedness as an identifying and winning tool concerning the homologated global dimension, strongly reaffirming the value of the *genius loci* as an element of recognizability and affirmation of culture (Bassi, 2017), and acting on territorial capital understood as the complex of elements (material and immaterial) available to the territory, which can constitute strong points or real constraints, depending on the aspects taken into consideration (Farrell et alii, 1999). Magnaghi (2000) defines it as 'territorial heritage', emphasizing the fact that not only is the territorial capital something to be interpreted and used as we please, but it is also a legacy to be handed down, a 'lasting wealth'.



**Fig. 5** | 'Komorebi' collection (by G. Moracci, F. Scubla and M. Tedino). Bracelet inspired by the texture of oak leaves; PLA structure with gold nanoparticles deposition, PLA interior with oak flour.

**Fig. 6** | 'Vicolo' collection (by A. Carlotti, C. D'Archivio and G. Nassuato). Earrings and ring inspired by the alleys of Umbrian medieval cities; PLA with gold nanoparticles deposition and plexiglass.

**Fig. 7** | 'Merope' collection (by A. Goretti, S. Ciacci and M. Gobbo). Necklace inspired by the texture created by the cultivations in the plain of Castelluccio of Norcia; PLA with gold nanoparticles deposition, leather coloured with pigments of food waste, stones.



**Fig. 8** | Rock, gravel and basalt powder; twin-screw extruder; PLA filament with basalt powder.

**Fig. 9** | Oak wood powder; PLA filament with wood powder.

### Design for the valorization of the Umbrian territorial heritage

| The work presented aims to underline the possibilities of aesthetic, technological and cultural innovation that arise from the overall strategy of a Territorial Design project. The research is part of the Interreg Europe CLAY Programme – of which the Umbria Region is the leader – which involved the Department of Civil and Environmental Engineering of Perugia (Scientific Director of research Prof. Paolo Belardi) and was created to spread knowledge of regional excellence. The first phase involved the accreditation of the Umbrian ceramic handicraft sector. The second phase aimed to explore the potential of the goldsmithing sector, by enhancing in an unprecedented way, the material and immaterial riches of the territory with a series of jewels that would highlight, in an innovative way, its Made in Umbria origin.

Therefore, the project worked, on the one hand, on the definition of the peculiarities of the natural and man-made environment, in terms of creativity and aesthetic expression and, on the other hand, on the use of 3D printing and the conscious use of resources. The research has worked on different dimensional levels, demonstrating the role of design as a 'polyglot mediator' of the different languages of the project at different scales of detail: the territorial scale, for the identification of those elements that define the value of the 'territorial heritage', the scale of the object, in the formal definition of jewels that tell the territory they belong to, the nanometric scale, for the development of technologies that exploit metals and local waste materials in an innovative way.

The research work wanted to offer a new perspective of process and product innovation that would allow the Umbrian goldsmith sector (as an example of Italian artisan production sectors) to respond, in a concrete way, to the need to interact with digital innovation and with the introduction of increasingly technological materials. At the same time, a peculiar aesthetics has emerged: it looks to the future and it is clearly declined, according to the peculiarities

of the territory of reference. From this point of view, the strong artisan imprint of Umbrian jewellery, characterized by human work – from the conception to the development and realization of the manufactured product – according to a personal culture of 'know-how' and sometimes guided by instinctive creativity, is not ignored by the introduction of digitization and 3D printing processes (Goretti et alii, 2019). They rather highlight the need for greater specialization and outline the figure of a 'digital craftsman' to maintain a competitive advantage of Made in Italy at a global level.

### Design for the goldsmith sector

| Jewellery has always been a middle ground between art, craftsmanship, fashion and design, tight on the one hand, by the typical authorship of the artist, on the other hand, by the fugacity of fashion. In addition to this, it should be mentioned that the tradition of craftsmanship often closed in the defence of precious materials as the main guarantee of eternity is added (Cappellieri, 2018). Jewellery design, in Italy, has therefore suffered from commonplaces, linked to the idea either the unique piece was a necessity or the aesthetics of tradition or precious and expensive materials. Until the 1970s and 1980s, years in which great Italian designers and architects tried, on several occasions, the creation of jewellery starts from a new point of view. But already in the late 1950s, a new generation of goldsmiths began to consider jewellery as a work of art, contesting its role in society and rejecting the conventions in which it was contained.

Nowadays, the richness of the idea prevails, in the common belief of modern jewellery, over the preciousness of the object. From a design point of view, this means that a great possibility of innovation has been created by welcoming the most advanced technology, in a new shared vision that aims to express a high emotional and communicative content more than the material richness. The jewel is available to the public as an expression of a responsible cultural choice, full of social values

and clearly endowed with ecological sensitivity. Through this new modernity of which they are the harbingers, jewels guide us in the search for beauty that is also expressed through the use of poor, waste, or recycled materials. And even when more precious materials such as gold and silver are still used, they are in any case rethought, depowered; according to Roland Barthes (2006), contemporary jewellery no longer shares the power of gold; it is still varied in form and materials, infinitely usable, no longer subject to the law of high prices nor to that of a particular, festive, almost sacralized use. As long as wealth regulated the rarity of the jewel, it could be evaluated according to price.

Alba Cappellieri (2018) identifies three possible futures for jewellery: precious tradition, wearable technologies and collective creativity. This last hypothesis represents the scenario in which Territorial Design can express itself, because it concerns the rethinking of creative and productive processes, offering new opportunities for innovation. Among these, the application of additive manufacturing is of particular interest, encompassing a wide and multiple families of technologies united by a process of additive material called layer by layer (Cappellieri, Del Curto and Tenuta, 2014). Available in outsourcing, these processes are also changing the jewellery production sector, with the possibility of creating new shapes and finishes, otherwise not possible, allowing to print, in a single construction process, parts made of heterogeneous materials, and paving the way for pushed customization.

This technology can be used to print a high-resolution wax model, from which a 'lost wax' casting can be subsequently obtained, but it can also be used to make the finished jewel. In the latter case, there may be limitations due to the types of materials that can be used, which affect both the mechanical and aesthetic properties of the finished pieces. The desire to transform this criticality into a new opportunity for innovation is at the basis of this research work. In fact, experimentation, diversification and contamination between tradition-



al and innovative materials and techniques are the watchwords to strengthen the ability to successfully oversee the complex and changing global market, generating products that are always new and highly creative (Gupta, 2019; Sepahvani, 2015).

**For an aesthetic and cultural innovation** | As for the aesthetic and formal expression of jewellery, the project has investigated the genius loci starting from the observation of reality and then from an in-depth analysis of the Umbrian territory in its past and recent history, to grasp its essential values and stratified peculiarities. The analysis with the direct investigation and desk research has especially concerned, in particular: 1) the natural landscape, in its declinations of water (springs, rivers and lakes) and hilly and mountainous reliefs, characterizing the skylines and natural textures; 2) the artificial landscape, i.e. the activities of anthropization in land use and architectural artefacts in the main historical periods; 3) craftsmanship and industry, with the related know-how and raw materials available and widespread. Starting from this common basis, the research has continued on two parallel tracks: on one hand, it has concerned the study and selection of the scraps of craftsmanship for their reuse with the support of nanotechnologies, with a view to technological innovation; on the other hand, it has identified invariants for each examined macro category, from which multiple formal declinations have emerged, with a view to aesthetic innovation (Figg. 1-7). The aim was therefore to design jewels that would recount their origin in a new and coherent way, as an aesthetic expression of the material and formal culture of the place.

As far as technological innovation is concerned, the research covered the study and the selection of the scraps of craftsmanship, on which the dialogue between the involved actors and the interaction with the territory played an important role, to evaluate their potential. In the methodology, the steps from theory to practice and vice versa were not marked, so that the moment of research and the moment of action merged (Celaschi, 2008). Availability, absence in the waste of any chemical additives that could derive from certain types of processing, and the possibility of reuse with additive manufacturing without having to carry out further processing, were taken into consideration for materials choice.

The ease of processing biopolymers has thus allowed the production of extruded spools, to be used for jewellery moulding (Gonzalez-Gutierrez et alii, 2018; Nguyen et alii; 2018), containing the selected materials: basalt powder and oak powder. Basalt is an effusive rock of volcanic origin, dark or black with a relatively low silica (SiO<sub>2</sub>) content; in Umbria, it is quarried in the Orvieto area, to be used mainly in the construction sector, while basalt flour is easy to find because it is currently used in agriculture as a supplement in traditional crops by replacing synthetic fertilizers. Oak powder is also available, since in Umbria the wooded area, covering 44% of the regional territory, has a prevalence of oaks and holm oaks that, after

initial local processing, are used for the construction of furniture and floors.

The purpose has been the design of a closed production cycle, in which the production district can minimize waste materials and the production of waste from landfills (downcycle), avoiding the complex and high-cost disposal process. It is a process of high environmental sustainability and ethics, in the perspective of a Circular Economy, defined by the Ellen MacArthur Foundation (2015) as 'an economy designed to regenerate itself', with two flows of materials: biological ones, able to be reintegrated into the biosphere, and technical ones, destined to be revalued without entering the biosphere. It deals with completely overturning the current idea of waste with a view to its elimination, as well as its reuse, with a revolution in production and product design systems, based on the 'cradle to cradle' biomimetic approach (McDonough and Braungart, 2002), industrial ecology (Huber, 2000) and the Blue Economy (Pauli, 2014). Design plays in this sense a fundamental role, as it is precisely from the conception of the product that decisions, that have a significant impact on product sustainability, production process and entire life cycle, stimulating virtuous processes of cooperation and new business models, must be taken.

#### **Experimentation with nanotechnology applied to jewellery**

The state of the art reports extensive literature on the possibility of obtaining PLA-based polymeric filaments loaded with wood flour (Tao et alii, 2017) or with ceramic products that want to resemble stone (Chiulan et alii, 2018). The ease of realization is confirmed by the presence of numerous products, already on the market, with a high content of wood and ceramic fillers, which however have, as the main limit, an innate fragility and difficult management of the process phase, due to particularly high viscosity of the filament during melting. To this end, the idea of making filaments with a non-industrialized laboratory process was born, from the possibility of making filaments with controlled viscosity (variable according to the amount of additive filler) and with granulometry to aesthetically resemble a natural finish object as similar to that of an object in wood or stone.

Based on these assumptions, standard diameter filaments for 3D printers were made, using basalt and oak powder (Figg. 8, 9). In particular, the preparation of the extruded filament involved the use of a micro extruder, a useful tool for mixing micro/nanometric particles and polymers in the molten state. In detail, filaments with an average diameter of 1.75 mm (polymer containing 20% by weight of filler) were prepared to be used as a spool for the 3D printer. The used powders were found at Basalti Orvieto Srl, and the required average size of 100-200 µm was obtained by subsequent pulverization, while the oak flour was taken from a local carpenter's shop and sieved in the laboratory to select the grain functional size to the preparation of the extruded filament. The extrusion process involved loading the granules into the extrusion chamber in which the polylactic acid was melted in a tem-

perature range of 175 to 185 °C for a mixing time of 3 minutes at 90 rpm (in speed control). The preparation of the extruded filament, both in presence and in absence of the filler, was done by spinning in force control of 1100 N and extrusion head at a temperature of 180 °C.

In other cases, thanks to the use of nanotechnology, it has also been possible to deposit layers of gold nanoparticles, on 3D printed biopolymeric substrates, obtaining a gold colour palette by simple thermal evaporation of the metal (Ivanova, Williams and Campbell, 2013). It is well known that the production of metal objects by 3D printing is not economically advantageous, on the other hand, the possibility of decorating an object made of plastic material with a metal finish brings undoubted advantages from the point of view of costs, both material and process. Electrolytic deposition techniques have the advantage of being able to obtain consistent deposition thicknesses, but the main limit lies in the need to have an electrolyte that is compatible with the properties of the plastic matrix, i.e. that keeps the printed object stable, for example from the dimensional point of view (Bernasconi et alii, 2016; Liu et alii, 2019; Arun et alii, 2018). For the sake of aesthetic value, it should be considered that this process is technologically feasible only if the wettability and adhesion requirements of any ink or metallization are fully met: specifically, the biopolymer must have such surface tensions that the surface coating does not detach – an event that can easily occur in a printed object with an inadequate surface finish (Niaounakis, 2015).

Deposition by thermal evaporation on a polymeric substrate solves these technological limits since it creates solidity to the metal coating, it requires rapid deposition times and does not compromise the wettability of the plastic in the substrate, which is not altered in any way. If the object has undergone an additive printing process, mechanical compatibility is added to the physical compatibility, so that a coating adheres better to a substrate with accentuated roughness. Based on these hypotheses, thermal evaporation has been suggested as a deposition methodology for objects made by 3D printing in polylactic acid (PLA). The evaporation of a gold-based coating (purity 99.99%), 65 nanometers thick, was performed using a thermal evaporator on 3D printed PLA-based substrates (Fig. 10). The deposition was performed at a rate of 1 nm/s by the passage of current through a metal crucible, sublimation of the gold particles, transport of the atoms from the source to the substrate to be coated, deposition of the particles on the substrate and film growth.

#### **Advantages, limits and future developments of the research**

At the moment, the research is working to optimize the performance of the materials obtained for application in jewellery, but has identified some possible future developments. Compared to the production of filaments with selected flours, we would like to experiment with the colouring of the extruded filament homogeneously, using non-synthetic natural resources. This would allow having a



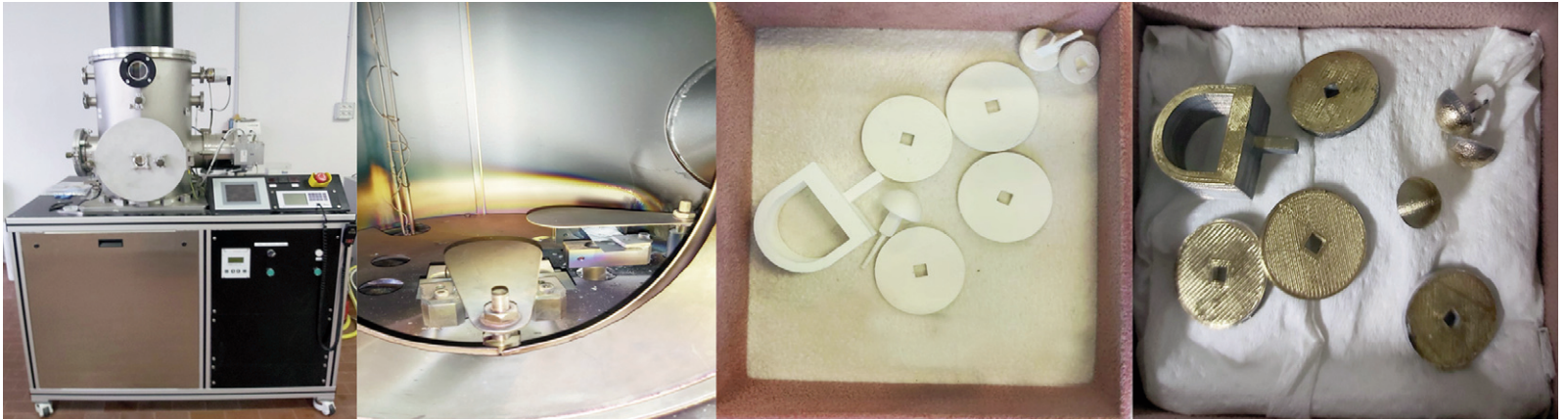


Fig. 10 | Evaporator, detail of the evaporation chamber with target detail and arrangement of the samples in the chamber, deposited samples.

finished product with more varied and aesthetically pleasing colours, compared to the natural colouring of flours. In this sense, it is desirable to use nano pigments or pigmented nanofillers derived from food waste. The most common natural colourants, such as carotenoids, anthocyanins, betanins and chlorophylls, are currently used as safe colourants for cosmetics and food, thanks to their non-toxic character: however, they have not been widely used in other industrial applications, mainly because of their poor resistance to radiation and temperature, and their limited range of colours.

In order to be able to use these materials in the production of an extruded polymeric filament, it is necessary to provide a stabilization phase of the dye. Inorganic nanofillers, such as clays, should be functionalized with natural 'green' pigments, such as lemon yellows, pomegranate reds/blues and leaf greens and incorporated as additives into the polymeric matrix. On the market, rare examples of PLA filaments containing natural algae, beer and coffee production waste, mussel shell waste, can be found, while there is no trace of colouring filaments with natural pigments from food waste. It would also be interesting to formulate a PLA-based filament that also contains essential oils derived from local essences with antimicrobial capacity; this would compensate for the lack of antibacterial properties of plastic in jewellery, which is indeed present in metal objects. On the market, filaments made antibacterial with the use of metal nanoparticles are available, already tested in the biomedical, food packaging and aerospace sectors (Zuniga, 2018). The use of slow-release additives, capable of exerting a long-lasting bacterial action over time, could instead be envisaged, essentially due to the ability that these active molecules have to permeate and diffuse through a polymeric matrix.

As regards to the nanoparticle deposition technique, the effects of colour and surface appearance of a traditional galvanic coating are relatively numerous, but the process tends to be expensive and environmentally impacting. The possibility of producing plastic objects by 3D printing that can be coated with thermal evaporation techniques opens the use to sectors that traditionally use galvano-plastics, such as the automotive and lighting sectors, that are

in constant search for alternatives that can meet the needs of the design. It would also be desirable to have numerous colours, in the face of the deposition of a mixture of several metals; moreover, the field of plastics, currently serving only galvano-plastics, would be expanded, as polymers that resist high-temperature chemical baths and are already commercially available are relatively few (examples are ABS (acrylonitrile butadiene styrene), polyamides), while low melting temperature thermoplastics (around 170 °C), such as PLA, are not yet applied in this sector, due to the limits of resistance to thermal degradation. It is important to stress that thermal deposition of a nanometric thickness in no way compromises the recyclability of the object, it is carried out in a much shorter time and with limited consumption of energy resources.

Although we are aware that there is still a long way to go towards a significant reduction in waste, with an approach such as the one illustrated above, it is possible to demonstrate that mankind has the tools to set up more sustainable and eco-efficient lifestyles and that the biodiversity of nature (together with the multiplicity and diversity of human enterprises) is in itself a guarantee for harmonious development. The study, therefore, wants to draw attention to the adopted methodology, outlining possible ways in which the entire regional production sector (and not only) can look at it with interest and proposition. The application in jewellery design is, therefore, an exemplified case that has a strong communicative impact and intends to pave the way for applications in many other and different production sectors.

**Conclusions** | Made in Italy jewellery is part of those sectors of fashion and luxury that promote Italian 'know-how' abroad. In Umbria, the goldsmith's craft is the pride and joy of the ancient artisan tradition and can count on numerous master goldsmiths, excellence for creative skills, high technical skills and ancient traditions handed down through generations. However, the entire sector needs effective paths of innovation in design and production, and to confront and interact with digitization, new materials and new technologies, to identify a new identity that looks to the future. (With the premise) Firstly, is it necessary considering

that the instinctive creativity typical of the sector is neither ignored or disowned by the processes of digital innovation; contrariwise the work intends to guide the sector towards a greater specialization that will delineate the promiscuous figure of 'digital artisan', to consolidate the competitive advantage of Made in Italy at a global level.

Starting from these assumptions, the process initiated by the research has promoted contamination with apparently distant production sectors and has favoured models of a circular economy, which also aim at redesigning processes, rather than just finished products. In fact, the major challenge that design faces today is to review how it is produced, to create products that generate a different interaction with users (Mortati and Villari, 2014). The use of processing waste and the conscious use of the resources presented here, which favour interesting and perfected 'second raw materials' new to the goldsmith sector, allow jewellery to take on a new symbolic value and to establish itself for the meaning that the user attributes to them, in a design-driven approach to innovation (Verganti, 2009).

Moreover, by experimenting processing technologies, exploiting the potential of forms and materials, activating networks of people, the research promotes the strengthening of local identity in products with high added value, that make, on one hand, economic activities sustainable from a technical, economic, environmental and social point of view in the long term, on the other hand, all actors (from Public Administrations to final consumers) more aware and involved in safeguarding human and territorial capital. In this perspective, institutions, universities and companies must work together to find new solutions to emerging needs, in response to current challenges such as sustainability, health, well-being, urban development, energy-saving, work and quality of life (Villari, 2013) to strengthen places and create value for people. Therefore, this contribution represents a strategic approach to Territorial Design, bringing the project closer to the awareness of the great heritage that distinguishes our country, reflecting on the role of design in innovation, where it also refers to the ability to improve social outcomes and create value for people, places and organizations.

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be attributed in equal parts to Authors.

## References

- Arun, K., Aravindh, K., Raja, K., Jeeva, P. A. and Karthikeyan, S. (2018), “Metallization of PLA plastics prepared by FDM-RP process and evaluation of corrosion and hardness characteristics”, in *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, issue 5, part 2, pp. 13107-13110. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.299 [Accessed 13 March 2020].
- Aspen Institute Italia (2012), *Innovation as driver to improve Italian competitiveness*. [Online] Available at: www.aspeninstitute.it/en/system/files/private\_files/2012-05/doc/Innovation%20(English).pdf [Accessed 13 March 2020].
- Barthes, R. (2006), *Il senso della moda – Forme e significati dell'abbigliamento*, Einaudi, Milano.
- Bassi, A. (2017), *Design contemporaneo – Istruzioni per l'uso*, Il Mulino, Bologna.
- Bernasconi, R., Natale, G., Levi, M. and Magagnin, L. (2016), “Electroless Plating of NiP and Cu on Poly-lactic Acid and Polyethylene Terephthalate Glycol-Modified for 3D Printed Flexible Substrates”, in *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 163, n. 9, pp. D526-D531. [Online] Available at: doi.org/10.1149/2.1201609jes [Accessed 31 March 2020].
- Bertacchini E. and Santagata, W. (2012), *Atmosfera creativa – Un modello di sviluppo sostenibile per il Piemonte fondato su cultura e creatività*, Il Mulino, Bologna.
- Cappellieri, A. (2018), *Gioielli – Dall'Art Nouveau al 3D Printing*, Skira, Milano.
- Cappellieri, A., Del Curto, B. and Tenuta, L. (2014), *Intorno al futuro – Nuovi materiali e nuove tecnologie per il gioiello | Around the future – New materials and new technologies for jewellery*, Marsilio, Venezia.
- Celaschi, F. (2008), “Fondamenti del piano di marketing dell'Oltrepò Mantovano”, in Casoni, G., Fanzini, D. and Trocchianesi, R. (eds), *Progetti per lo sviluppo del territorio – Marketing strategico dell'Oltrepò Mantovano*, Maggioli, Milano, pp. 30-37.
- Chiulan, I., Frone, A. N., Brandabur, C. and Panaitescu, D. M. (2018), “Recent Advances in 3D Printing of Aliphatic Polyesters”, in *Bioengineering*, vol. 5, issue 1, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/bioengineering5010002 [Accessed 31 March 2020].
- Dematteis, G. (2001), “Per una geografia della territorialità attiva e dei valori territoriali”, in Bonora, P. (ed.), *SLOT – Quaderno 1*, Baskerville UniPress, Bologna, pp. 11-30.
- Ellen MacArthur Foundation (2015), *Growth Within – A circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] Available at: www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\_Growth-Within\_July15.pdf [Accessed 22 April 2020].
- Farrell, G., Thirion, S., Soto, P., Champetier, Y. and Janot, J. L. (1999), *La competitività territoriale – Costruire una strategia di sviluppo territoriale alla luce dell'esperienza LEADER | Innovazione in ambiente rurale*, quaderno n. 6, fascicolo 1.
- Franzato, C. (2009), “Design nel progetto territoriale”, in *Strategic Design Research Journal*, vol. 2, n. 1, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.4013/sdrj.2009.21.01 [Accessed 08 January 2020].
- Gonzalez-Gutierrez, J., Cano, S., Schuschnigg, S., Kukla, C., Sapkota, J. and Holzer, C. (2018), “Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers – A Review and Future Perspectives”, in *Materials*, vol. 11, issue 5, article 840, pp. 1-36. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ma11050840 [Accessed 15 January 2020].
- Goretti, G., Cianfanelli, E., Terenzi, B., Tuffarelli, M. and Trivellin, E. (2019), “Artisan as a Maker or Artisan as a not Recognized Co-designer?”, in Di Nicolantonio, M., Rossi, E. and Alexander, T. (eds), *Advances in Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping – Proceedings of the AHFE 2019 International Conference, July 24-28, 2019, Washington D.C, USA*, Springer, Cham, pp. 48-59. [Online] Available at: hdl.handle.net/2158/1161034 [Accessed 18 January 2020].
- Gupta, A. (2019), *How 3D Printing and Nanotechnology will Revolutionize Luxury*. [Online] Available at: www.luxurysociety.com/en/articles/2019/03/traditional-craft-vs-modern-technology-3d-printing-nanotechnology-revolutionize-luxury/ [Accessed 10 January 2020].
- Huber, J. (2000), “Towards Industrial Ecology: Sustainable Development as a Concept of Ecological Modernization”, in *Journal of Environmental Policy and Planning*, vol. 2, issue 4, pp. 269-285.
- Ivanova, O., Williams, C. B. and Campbell, T. (2013), “Additive Manufacturing (AM) and Nanotechnology: Promises and Challenges”, in *Rapid Prototyping Journal*, vol. 19, n. 5, pp. 353-364. [Online] Available at: doi.org/10.1108/RPJ-12-2011-0127 [Accessed 28 January 2020].
- Latouche, S. and Panikkar, R. (2018), *Pluriversum – Per una democrazia delle culture*, Jaka Book, Milano.
- Liu, Z., Wang, Y., Wu, B., Cui, C., Guo, Y. and Yan, C. (2019), “A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing poly-lactic acid parts”, in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, pp. 2877-2889. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00170-019-03332-x [Accessed 31 March 2020].
- Magnaghi, A. (2000), *Il progetto locale – Verso la coscienza del luogo*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Manzini, E. (2015), *Design, When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, MIT Press, Cambridge-London.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle To Cradle – Remaking The Way We Make Things*, North Point Press, New York.
- Mortati, M. and Villari, B. (2014), “Design for Social Innovation: Building a Framework of Connection Between Design and Social Innovation”, in Sangiorgi, D., Hands, D. and Murphy, E. (eds), *ServDes.2014 – Service Future – The fourth Service Design and Service Innovation Conference, Lancaster University, United Kingdom, 9-14 April 2014*, Linköping University Electronic Press Linköping, pp. 79-88. [Online] Available at: www.ep.liu.se/ecp/099/ecp14099.pdf [Accessed 23 April 2020].
- Nguyen, N. A., Barnes, S. H., Bowland, C. C., Meek, K. M., Littrell, K. C., Keum, J. K. and Naskar, A. K. (2018), “A path for lignin valorization via additive manufacturing of high-performance sustainable composites with enhanced 3D printability”, in *Science Advances*, vol. 4, n. 12, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.aat4967 [Accessed 31 January 2020].
- Niaounakis, M. (2015), *Biopolymers – Applications and Trends*, William Andrew, Oxford (UK).
- Pauli, G. (2014), *Blue Economy – 10 anni, 100 innovazioni, 100 milioni di posti di lavoro* [or. ed. *Blue economy – 10 Years, 100 Innovations, 100 Millions Jobs*, 2010], Edizioni Ambiente, Milano.
- Piergiovanni, R., Carree, M. A. and Santarelli, E. (2012), “Creative industries, new business formation, and regional economic growth”, in *Small Business Economics*, vol. 39, issue 3, pp. 539-560.
- Rullani, E. (2013), “Territori in transizione: nuove reti e nuove identità per le economie e le società locali”, in *Sinergie | Rivista di studi e ricerche*, vol. 31, p. 141-163. [Online] Available at: doi.org/10.7433/s91.2013.08 [Accessed 31 January 2020].
- Rullani, E. (2004), *Economia della conoscenza – Creatività e valore nel capitalismo delle reti*, Carrocci, Roma.
- Sepahvani, P. (2015), *Influences of additive manufacturing (3d printers) on the production cost and future of jewelry industry*, Thesis of Master of Science in Management Engineering, Department of Management, Eco-
- nomics and Industrial Engineering, Supervisor: Prof. Alessandro Brun. [Online] Available at: www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/131816/6/Parisa%20Sepahvani%20thesis%20final2.pdf [Accessed 10 January 2020].
- Tao, Y., Wang, H., Li, Z., Li, P. and Shi, S. Q. (2017), “Development and Application of Wood Flour-Filled Poly-lactic Acid Composite Filament for 3D Printing”, in *Materials*, vol. 10, issue 4, article 339, pp. 1-6. [Online] doi.org/10.3390/ma10040339 [Accessed 31 March 2020].
- Trigilia, C. (2007), *La costruzione sociale dell'innovazione – Economia, società e territorio*, Firenze University Press, Firenze.
- Verganti, R. (2009), *Design-Driven innovation – Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*, Rizzoli, Milano.
- Villari, B. (2013), *Design, Comunità, Territory – Un approccio community-centred per progettare relazioni, strategie e servizi*, Libraccio Editore, Milano.
- Zuniga, J. M. (2018), “3D Printed Antibacterial Prostheses”, in *Applied Science*, vol. 8, issue 9, article 1651, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app8091651 [Accessed 31 March 2020].



