



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M.FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"3D PRINTING E ECONOMIA CIRCOLARE: UN'ANALISI NEL
SETTORE PLASTICO"**

RELATORE:

CH.MA PROF.ESSA DE MARCHI VALENTINA

LAUREANDA: IRENE SARTORELLO

MATRICOLA N. 1164438

ANNO ACCADEMICO 2019 – 2020

La candidata, sottoponendo il presente lavoro, dichiara, sotto propria personale responsabilità, che il lavoro è originale e che non è stato già sottoposto, in tutto o in parte, dalla candidata o da altri soggetti, in altre Università italiane o straniere ai fini del conseguimento di un titolo accademico. La candidata dichiara altresì che tutti i materiali utilizzati ai fini della predisposizione dell'elaborato sono stati opportunamente citati nel testo e riportati nella sezione finale 'Riferimenti bibliografici' e che le eventuali citazioni testuali sono individuabili attraverso l'esplicito richiamo al documento originale.

SOMMARIO

Introduzione.....	1
Capitolo 1: Economia circolare e il ruolo della stampa 3D	3
1.1 Economia circolare.....	3
1.2 Le nuove tecnologie dell'Industria 4.0 nell'economia circolare.....	5
1.3 La manifattura additiva nell'economia circolare	6
1.4 Le opportunità circolari della stampa 3D nel settore plastico	10
1.5 Le domande di ricerca.....	14
Capitolo 2: Presentazione dei casi aziendali.....	15
2.1 Metodologia di ricerca	15
2.2 I casi aziendali.....	16
2.2.1 3devo B.V.	16
2.2.2 Felfil s.r.l.	19
2.2.3 KLM Royal Dutch Airlines	21
2.2.4 The New Raw	23
2.3 Confronto tra i casi esposti.....	26
Capitolo 3: Implicazioni dell'analisi e conclusioni	30
Riferimenti bibliografici.....	33

Introduzione

“*Economic stability, social equity, ecological balance*” sono i tre pilastri dello sviluppo sostenibile stabiliti durante la conferenza di Rio de Janeiro nel 1992. La necessità di disciplinare il comportamento dell’uomo indirizzandolo verso un atteggiamento più *environmental-friendly* ed efficiente nasce dalle attuali condizioni ambientali e del sistema economico globale. L’uomo è sempre stato abituato ad estrarre, consumare e buttare senza pensare che questo comportamento lineare con il tempo causa un ingente spreco di risorse e profonde – talvolta irreversibili – conseguenze all’ecosistema.

Nonostante la crescente presenza di prodotti naturali, *bio* e ‘a km zero’ sugli scaffali dei nostri supermercati, la produzione globale di beni e servizi, così come l’estrazione di risorse naturali, non accenna a rallentare: the Global Footprint Network sostiene che se l’economia globale continua ad avanzare a questo ritmo sarebbero necessari 1.6 pianeti per soddisfare la domanda di risorse naturali dell’uomo¹.

La recente pandemia di Covid-19 ha rallentato la totalità delle attività dell’uomo, riducendone anche l’impronta ambientale, ma la storia passata ci insegna che gli anni successivi ai periodi di crisi e recessione economica sono segnati dall’aumento consistente dei livelli di inquinamento e da gravi danni ambientali (Figura 1).

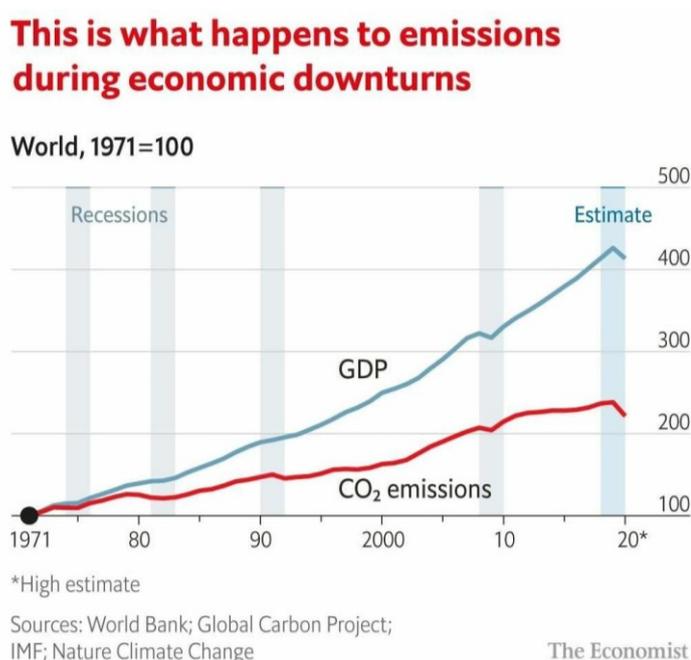


Figura 1. L’andamento delle emissioni globali durante i periodi di crisi economica. Fonte: The Economist²

¹ <https://www.overshootday.org/>

² <https://www.instagram.com/p/CAnXILSFfwI/?igshid=1znxss6tglji>

Negli ultimi decenni, anche grazie alla presenza di piattaforme educative ed enti come la Fondazione Ellen MacArthur, si è diffuso il concetto di economia circolare come soluzione alla generazione degli sprechi e al consumo intensivo di materie prime, in cui la costituzione di sistemi chiusi di produzione, il riutilizzo delle risorse e l'allungamento del ciclo di vita dei prodotti possono portare ad una transizione verso un'economia più sostenibile. Le nuove tecnologie, in particolare quelle dell'Industria 4.0, possono rivestire un ruolo chiave in questo senso, fornendo soluzioni all'avanguardia per concretizzare i principi dell'economia circolare e guidando le imprese nel miglioramento delle loro *performance* in termini di sostenibilità.

L'obiettivo di questo elaborato è analizzare il legame tra *3D printing* e economia circolare, indagando opportunità e soluzioni attuabili nel settore della plastica, per altro responsabile dell'inquinamento degli oceani in cui ogni anno finiscono circa 8 milioni di tonnellate di rifiuti³.

Il primo capitolo verterà sull'introduzione del concetto di economia circolare, analizzandone i principi fondamentali e il modo in cui questi possono essere realizzati all'interno dei vari settori grazie alle tecnologie della Quarta Rivoluzione Industriale, in particolare nel campo della manifattura additiva. Dopo aver presentato la tecnologia e i suoi aspetti di sostenibilità, verrà trattata la possibilità dell'impiego dei rifiuti di plastica come materia prima nei processi additivi.

A questo proposito, il secondo capitolo si focalizza sull'analisi di alcuni casi aziendali rappresentativi che hanno assunto approcci diversi per raggiungere la circolarità nell'impiego della medesima tecnologia; verranno presentate due aziende – 3devo B.V. e Felfil s.r.l. – che hanno sviluppato delle strumentazioni per rendere del tutto circolare il processo di stampa tridimensionale e verranno analizzate due realtà aziendali – KLM Royal Dutch Airlines e The New Raw – le quali, invece, hanno deciso di utilizzare la stampa 3D per sviluppare dei progetti sostenibili.

Infine, il terzo capitolo affronta le difficoltà che si possono incontrare nella realizzazione di un sistema di produzione che utilizza i rifiuti di plastica locali, cogliendo anche l'occasione per analizzare quali solo gli aspetti che dovrebbero essere migliorati per incentivarne lo sviluppo e accennando gli approcci di alcuni Stati rispetto al tema del riciclaggio della plastica.

La scelta dell'argomento su cui si basa questa relazione è stata dettata non solo dall'interesse nel campo delle politiche economiche ambientali ma anche dalla curiosità nell'affrontare dei temi attuali come il *sustainable development* e la *circular economy* in relazione alla stampa 3D.

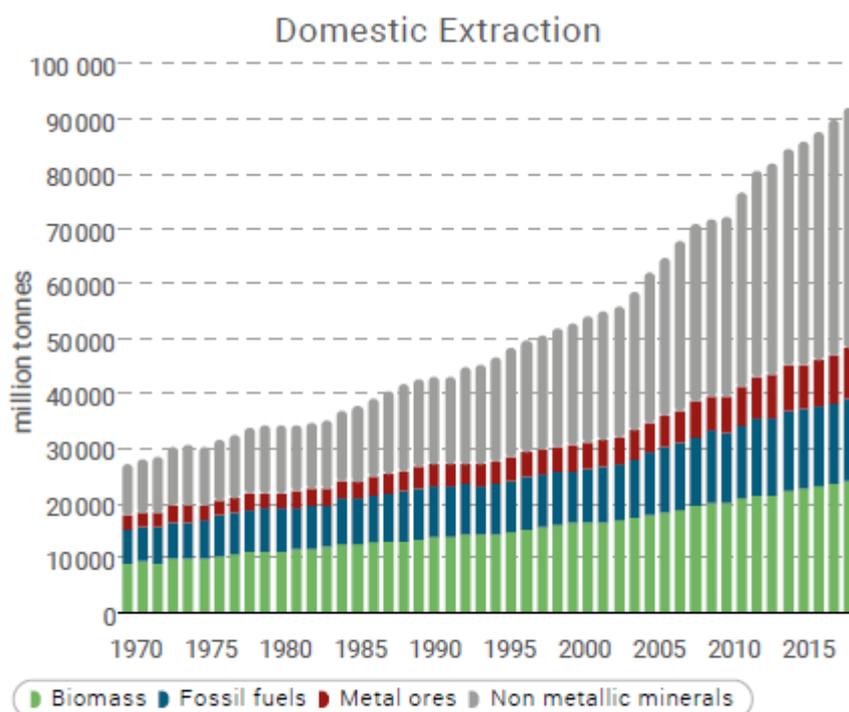
³ <https://www.nationalgeographic.com/environment/habitats/plastic-pollution/>

CAPITOLO 1: ECONOMIA CIRCOLARE E IL RUOLO DELLA STAMPA 3D

1.1. Economia circolare

Il 22 agosto 2020 sarà l'Earth Overshoot Day, ovvero il momento in cui le attività dell'uomo avranno esaurito tutte le risorse naturali che la Terra poteva generare per quell'anno. Il deficit creato verrà coperto per il resto dell'anno consumando le "scorte" e aumentando la quantità di rifiuti e CO₂ nell'atmosfera¹.

Dal 1970 al 2017 la quantità di materie prime estratta è passata da 27.1 miliardi di tonnellate a 92.1 miliardi, ad un tasso di crescita annuale del 2.6% (Figura 2). L'estrazione di materie prime provoca danni ambientali ad ogni livello della catena del valore, dall'estrazione delle stesse dal suolo sino allo scambio e alla trasformazione in beni e servizi (UNEP, 2019).



Source: UNEP & IRP, 2018

Figura 2. Estrazione globale di materie prime dal 1970 al 2017, in milioni di tonnellate.
Fonte: UNEP, 2019

Ogni sistema economico che si basa sul consumo di fonti non rinnovabili e non sull'utilizzo coscienzioso delle stesse finisce per creare ingenti perdite di valore e "esternalità" negative, come la creazione di rifiuti ad ogni stadio della catena del valore e nello smaltimento dei beni, il consumo eccessivo di energia e il deterioramento dei cd. *ecosystem services*, ovvero quei benefici che gli ecosistemi naturali offrono al benessere dell'uomo (Ellen MacArthur Foundation, 2012). Secondo lo studio Global Resource Outlook 2019 l'attività di estrazione e trasformazione dei materiali è responsabile di più del 90% della perdita di biodiversità e di

“*water stress*”, nonché di effetti del cambiamento climatico e nella salute dell’uomo. Inoltre circa metà delle totali emissioni di gas serra sono dovute a queste attività (UNEP, 2019).

Gli effetti negativi sull’ambiente, la crescente domanda di risorse scarse e la volatilità dei prezzi delle stesse insieme all’aumento della popolazione mondiale fanno sì che il modello di consumo lineare che si basa su estrazione, consumo e smaltimento – *take, make, dispose* – non risulti più sostenibile (Ellen MacArthur Foundation, 2012).

Sauvè et al. (2016) ritengono che l’economia circolare possa essere un modo per raggiungere un’economia più sostenibile, in cui si riduce la dipendenza del sistema economico da materie prime vergini e si promuove un modello di produzione in cui i beni vengono riparati o trasformati facilmente in nuova risorsa. Secondo Stahel (2016, p.435) infatti questa nuova logica economica si basa sulla sostituzione del principio della produzione a quello della sufficienza: “[...] *reuse what you can, recycle what cannot be reused, repair what is broken, remanufacture what cannot be repaired*”.

Il concetto di economia circolare non è nuovo, infatti è stato protagonista di molte ricerche tra le quali si ricorda quella di Pearce e Turner (1989) che proponeva un concetto di economia che rispettasse la relazione tra sistema economico e ambiente. Negli anni questo concetto ha assunto varie definizioni (Ellen MacArthur Foundation, 2012; Geissdoerfer et al., 2017) e secondo gli studi di Loiseau et al. (2016) può essere inserito nel più ampio contesto delle teorie di *environmental economics* e *ecological economics*, rientrando nel campo di studio dell’“ecologia industriale” – *industrial ecology* – in cui i temi della sostenibilità sono integrati nei sistemi economici e ambientali.

Secondo la Fondazione Ellen MacArthur, l’economia circolare è un modello industriale auto-generativo che si basa su tre principi: progettazione dei prodotti al fine di minimizzare i rifiuti e l’inquinamento; uso delle risorse naturali senza consumarle e miglioramento delle condizioni dell’ambiente cercando di introdurre all’interno della biosfera solo quei materiali organici che possono essere assorbiti dalla stessa⁴. Infatti, sempre secondo la Fondazione (2012, 2015), esistono due tipi di cicli, quello tecnologico e quello biologico: nel primo, i cd. *durables* – prodotti composti da materiali quali metalli o plastiche che non possono essere introdotti nella biosfera – vengono recuperati e riutilizzati all’interno dello stesso ciclo, rimpiazzando il consumo all’uso. Il secondo ciclo invece riguarda i prodotti fatti con materiali non tossici e rinnovabili – *consumables* – i quali possono essere reintrodotti nella biosfera.

⁴ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

Tramite questo processo le risorse, i rifiuti, le emissioni e le perdite di energia sono ridotte al minimo, chiudendo il ciclo di vita dei materiali attraverso attività di mantenimento, riparazione, riutilizzo e riciclo (Geissdoerfer et al., 2017).

A livello globale l'economia circolare può portare a risparmi di costi di acquisto dei materiali fino a 700 milioni di dollari l'anno nell'industria di largo consumo, nonché una riduzione del 48% delle emissioni di CO₂ entro il 2030⁴.

Ulteriori benefici possono essere riscontrati anche nelle economie meno sviluppate (McKinsey & Company, 2016), nelle quali, secondo Schroeder, Anggraeni e Weber (2018a), si possono ottenere risorse idriche e energetiche più pulite, migliori condizioni lavorative e di sviluppo economico, produzione e consumo responsabile e incremento della biodiversità.

L'economia circolare punta alla creazione di nuovi modelli di business che, secondo Stahel (2016), si dividono in due gruppi, quelli che spingono ad allungare la vita dei prodotti tramite la riparazione degli stessi e quelli che trasformano vecchi prodotti in nuove risorse attraverso il riciclo.

In generale, le iniziative di economia circolare sono sviluppate attraverso attività di riciclo, in cui i rifiuti sono recuperati e trasformati in risorse (Gregson et al, 2015), ma anche mediante iniziative di *industrial symbiosis* in cui imprese che svolgono attività diverse utilizzano gli scarti prodotti da un'impresa come risorse al fine di rallentare la produzione di rifiuti (Murray et al., 2017).

I modelli di business circolari non riguardano solo le logiche di produzione ma anche quelle di consumo (Di Maria et al., 2018) facendo strada ai cd. 'The Sharing Platform' e 'Product Service System' in cui i prodotti vengono offerti tramite forme di noleggio (Lacy, Rutqvist, 2015).

1.2. Le nuove tecnologie dell'Industria 4.0 nell'economia circolare

L'adozione di nuove tecnologie si sta configurando come *driver* per il passaggio al nuovo modello di produzione e consumo circolare. Riguardo alla relazione tra nuove tecnologie e *circular economy*, la Fondazione Ellen MacArthur (2019) sostiene che lo sviluppo di innovazioni tecnologiche per il controllo e mantenimento dei materiali, la gestione trasparente della *supply chain* insieme ad attività di riparazione con stampa 3D, abbiano un ruolo fondamentale nel rendere tangibili i concetti dell'economia circolare.

Si può dedurre quindi che la transizione verso un modello economico più sostenibile deve essere accompagnata, da una parte, da un cambiamento nei modelli di business delle imprese e un aumento delle collaborazioni con soggetti interni ed esterni alla catena del valore (Di Maria et

al., 2018) e, dall'altra, dall'introduzione di tecnologie verdi – *green technologies* – che monitorano le risorse, riducono gli sprechi e in generale diminuiscono l'impatto negativo che le attività dell'uomo hanno verso l'ambiente.

In questo contesto vanno a collocarsi le nuove tecnologie della Quarta Rivoluzione Industriale, comunemente chiamata Industria 4.0 e definita da Erol (2016) come un sistema produttivo intelligente che rende possibile una produzione ecologicamente sostenibile nel lungo periodo.

Boston Consulting Group definisce l'Industria 4.0 come un insieme di nove tecnologie in grado di “trasformare la produzione” tramite maggiore flessibilità ed efficienza e cambiare radicalmente le relazioni tra i vari attori della *supply chain*⁵.

La fondazione Ambienta, compagnia leader in investimenti in tecnologie sostenibili, afferma infatti che tecnologie come *Internet of Things*, *Additive Manufacturing* e *Augmented Reality* possono controllare in maniera più efficace i flussi di materiali, gestire i vari percorsi, diminuire i costi di produzione per grandi volumi e allo stesso tempo ridurre l'uso di carburante, diminuire le emissioni di CO₂ connesse e ridurre gli sprechi e gli scarti di produzione fino al 90%⁶.

Il World Economic Forum in collaborazione con Accenture (2019) ha eseguito uno studio su come le nuove tecnologie dell'*industry 4.0* possano ridurre l'impronta negativa dei settori dell'elettronica di consumo e degli imballaggi di plastica.

Secondo il report sopracitato, comunque, nonostante le potenzialità di tali tecnologie, la Quarta Rivoluzione Industriale – *Fourth Industrial Revolution* (4IR) – non è in grado di offrire tutte le soluzioni per una transizione completa verso un'economia circolare, ma solamente degli “strumenti” per rendere tale transizione più facile e efficiente (WEF, 2019).

In ultima analisi la trasformazione verso un sistema circolare richiede un ruolo attivo sia da parte delle imprese che da parte delle istituzioni (Di Maria et al., 2018), attraverso regolamentazioni che incentivano comportamenti sostenibili e “puniscano” quelli non desiderabili dal punto di vista sociale e ambientale (Stahel, 2016).

1.3. La manifattura additiva nell'economia circolare

Tra le tecnologie che hanno un grande potenziale per supportare il passaggio verso l'economia circolare vi è la manifattura additiva. La manifattura additiva o *additive manufacturing* definisce generalmente l'insieme di tecnologie che creano un oggetto partendo da un modello

⁵ <https://www.bcg.com/it-it/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>

⁶ <https://www.ambientasgr.com/industry-4-0-and-environmental-sustainability-good-or-bad-news/>

in 3D aggiungendo materiale, strato dopo strato⁷, in contrasto con le tecniche di produzione tradizionale – *subtractive manufacturing* – in cui gli oggetti vengono creati rimuovendo il materiale in eccesso da un iniziale pezzo di lavoro (Campbell et al., 2011). La stampa tridimensionale o 3D è usata come sinonimo per definire questo tipo di tecnologie ed è riconosciuta come una delle tecnologie portanti della Quarta Rivoluzione Industriale.

Le prime applicazioni della manifattura additiva sono state la prototipazione rapida – *rapid prototyping* (RP) – e il *rapid tooling*, grazie alle quali è stato possibile realizzare in poco tempo prototipi tridimensionali e strumenti da lavoro (Campbell et al., 2011). Dal 1989, anno in cui 3D Systems ha lanciato la prima macchina di prototipazione rapida (Gatto et al., 2006), le tecnologie additive si sono evolute: vengono ad oggi usate nell'industria e nel mercato di consumo, anche sotto forma di servizi (Ford e Despeisse, 2016), per la produzione di prototipi e prodotti finiti; vengono impiegate in vari settori (Figura 3) quali meccanico, aereo, medico ma anche della moda e del *food*⁸, con la promessa di “rivoluzionare il mondo” tramite innovative applicazioni⁹.

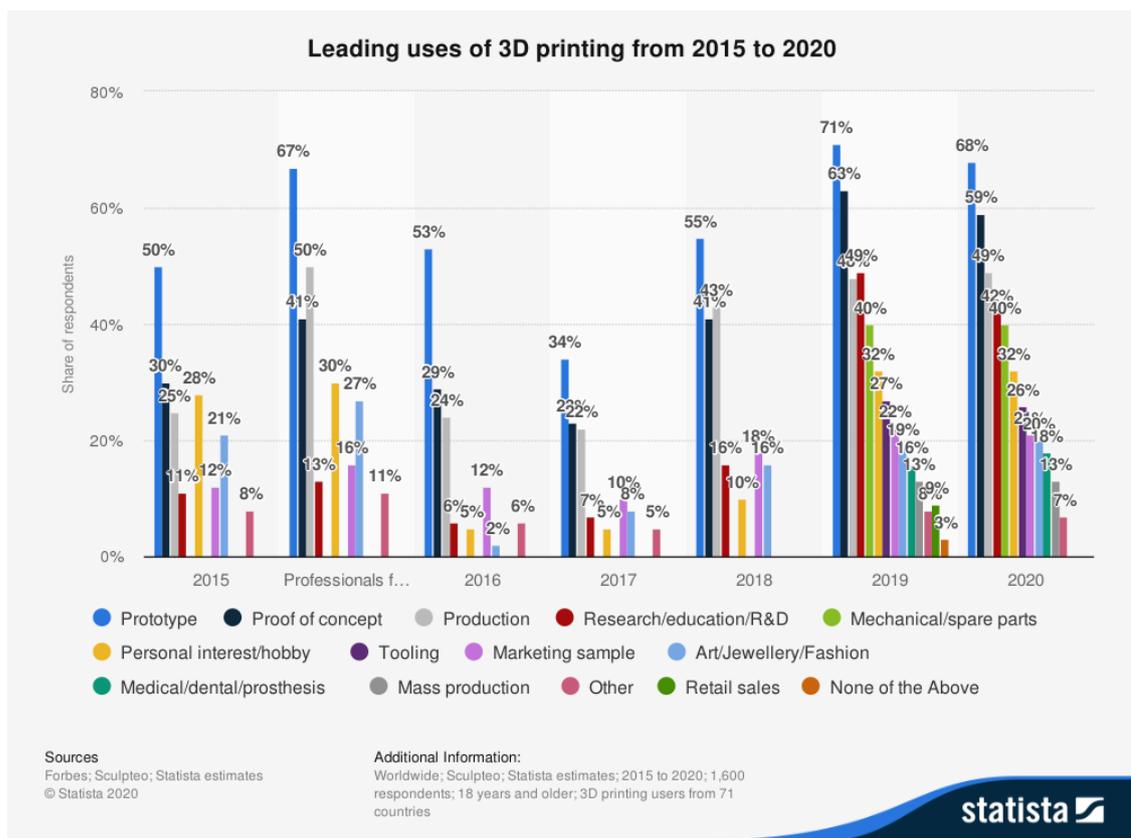


Figura 3. Gli usi della stampa 3D dal 2015 al 2020. Fonte: [statista.com](https://www.statista.com)¹⁰

⁷ <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en:sec:A>

⁸ <https://www.sculpteo.com/en/applications/>

⁹ <https://www.weforum.org/agenda/2015/06/3d-printing-save-the-world/>

¹⁰ <https://www.statista.com/statistics/560271/worldwide-survey-3d-printing-uses/>

La stampa 3D è utilizzata soprattutto per scopi produttivi ma si sta facendo strada anche nel mondo dell'hobbistica e dell'educazione. Attraverso soluzioni “da scrivania” a prezzi relativamente convenienti, sempre più persone possono interfacciarsi a questa tecnologia che fino a poco tempo fa era utilizzata solamente dalle grandi imprese manifatturiere (Campbell et al., 2011).

Il mercato della stampa 3D nel 2020 ha raggiunto i 16 miliardi di dollari e ci si aspetta arrivi a quasi 41 miliardi nei prossimi 4 anni¹¹. Un recente rapporto di Sculpteo (2019) evidenzia che questa tecnologia viene usata soprattutto in Europa (58,7%), Asia (20,2%) e Nord America (16,6%), paese che vanta il maggior numero di brevetti dopo la Cina¹².

Il processo di stampa inizia con la creazione di un modello digitale in CAD 3D (*Computer Aided Design*) dell'oggetto che si intende stampare; il file contenente il disegno tridimensionale suddiviso in strati, attraverso il processo di *slicing*, viene inviato alla macchina che procede alla realizzazione dell'oggetto desiderato, uno strato alla volta (Gatto et al., 2006).

Vi sono varie tecniche di *additive manufacturing*, ognuna delle quali utilizza materiali e processi differenti.

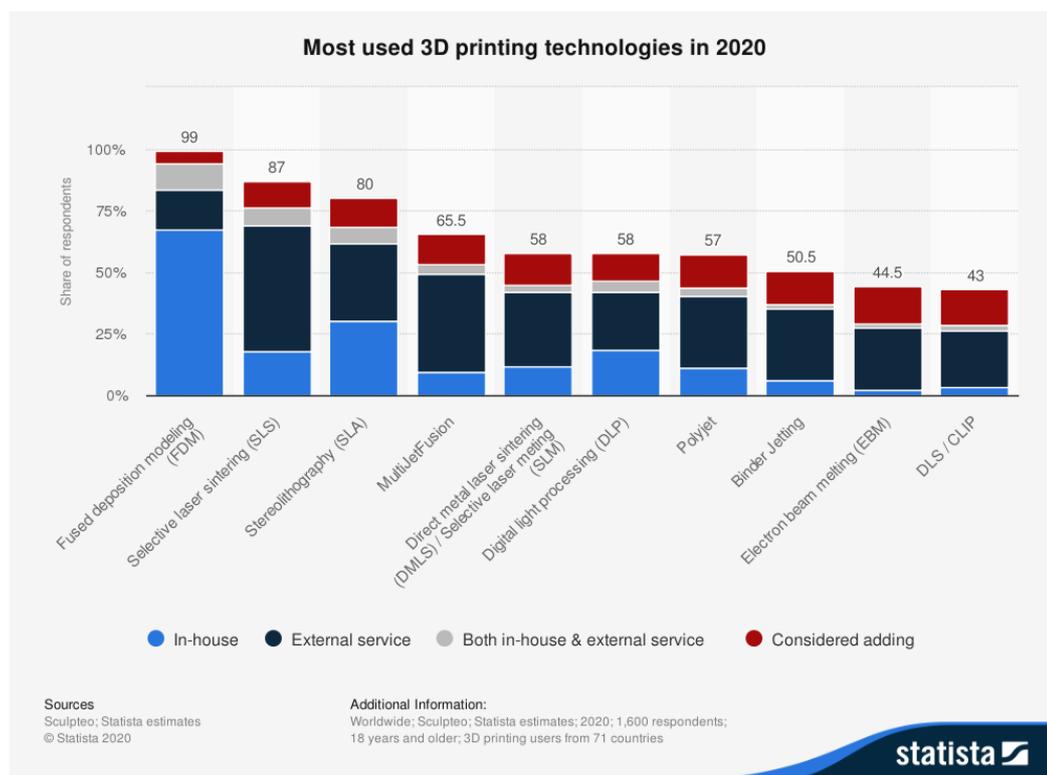


Figura 4. Le tecnologie additive più utilizzate nel 2020. Fonte: statista.com¹³

¹¹ <https://www.statista.com/statistics/315386/global-market-for-3d-printers/>

¹² <https://www.statista.com/statistics/985426/leading-countries-3d-printing-patent-applications/>

¹³ <https://www.statista.com/statistics/560304/worldwide-survey-3d-printing-top-technologies/>

Come evidenzia la Figura 4 le tecnologie più diffuse sono la modellazione tramite l'estrusione di un filamento termoplastico – *Fused Deposition Modeling* (FDM); la sinterizzazione selettiva laser – *Selective Laser Sintering* (SLS) – attraverso la quale le polveri di vari materiali vengono compresse e fuse tramite un laser al CO₂ e la stereolitografia – *Stereolithography* (SLA) – mediante la quale una resina liquida viene solidificata grazie ad un raggio laser (Caligaris et al., 2006).

Per quanto riguarda i materiali utilizzati, invece, i più diffusi a livello globale rimangono le materie plastiche seguite dalle ceramiche e dai metalli¹⁴.

La manifattura additiva comporta dei vantaggi a livello produttivo in quanto permette una produzione veloce ed efficiente ma anche flessibile e variabile (Slack et al., 2016). Il passaggio da *mass production* a *mass customization* è reso possibile dalla creazione di oggetti su misura da design e struttura complessi che, senza necessità di assemblaggio e mantenimento del magazzino per le parti di ricambio, riducono i costi di produzione e il *lead time* (Campbell et al., 2011).

Inoltre, secondo l'European Environmental Agency (2017), tale tecnologia può permettere la decentralizzazione della catena di fornitura a livello locale e la gestione del software a livello globale. La possibilità di spedire in qualsiasi parte del mondo il file digitale contenente il prototipo tridimensionale può consentire il rapido sviluppo della produzione a livello globale mantenendo comunque la produzione vicina al consumatore (Campbell et al., 2011).

Un ulteriore aspetto da considerare è il vantaggio a livello di sostenibilità che la stampa 3D, e in generale l'*additive manufacturing*, ha rispetto alle tecniche di produzione tradizionali. Secondo Campbell et al. (2011), infatti, questa tecnologia permette un uso più efficiente dei materiali riducendo la produzione di rifiuti e scarti; i prodotti sono complessi ma allo stesso tempo compatti e leggeri e l'uso di energia è limitato, così come l'utilizzo di sostanze chimiche nocive. Inoltre, le minori esigenze di trasporto dovute alla decentralizzazione della *supply chain* permettono di ridurre l'impronta ecologica dei prodotti.

Despeisse et al. (2017) affermano che la stampa 3D può avere un valore centrale nel raggiungimento dell'economia circolare poiché l'intero processo di stampa può essere progettato in modo circolare, “chiudendo il cerchio” di vita dei materiali. La manifattura additiva può comportare benefici di sostenibilità in tutti e quattro gli stadi del ciclo di vita del prodotto, portando anche allo sviluppo di nuovi modelli di business mirati all'estensione della

¹⁴ <https://www.statista.com/statistics/560323/worldwide-survey-3d-printing-top-technologies/>

vita dei prodotti tramite la riparazione degli stessi o la produzione di parti di ricambio su richiesta (Ford e Despeisse, 2016).

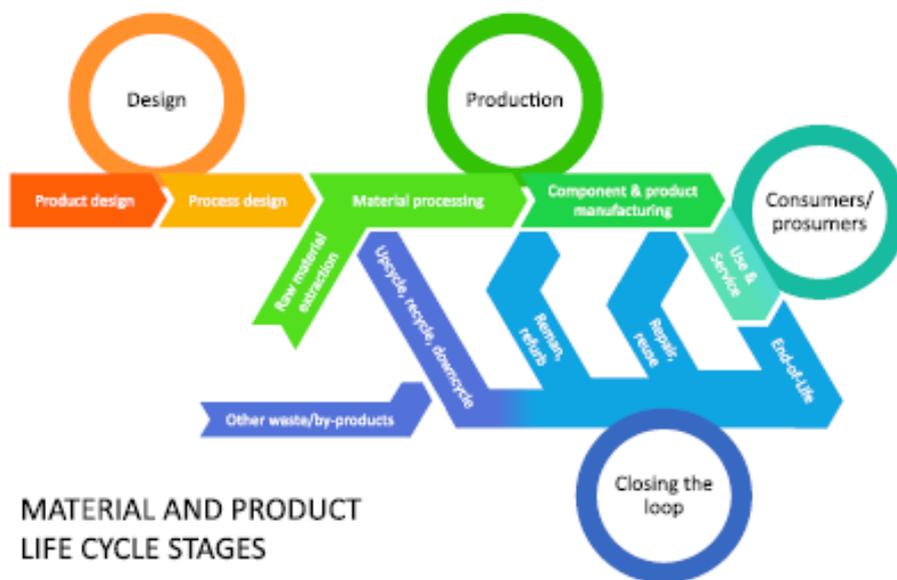


Figura 5. I benefici di sostenibilità della manifattura additiva all'interno del ciclo di vita dei materiali e dei prodotti. Fonte: Ford e Despeisse, 2016

Come mostra la Figura 5, è possibile ripensare in un'ottica di efficienza la progettazione del prodotto e dei processi come anche la scelta delle materie prime, privilegiando design semplici con un uso minore di componenti e il riutilizzo di materie prime riciclate o stampe mal riuscite. Infatti, le materie prime vergini possono essere sostituite da materiale riciclato attraverso iniziative di riciclaggio locale e processi di *upcycling*.

1.4. Le opportunità circolari della stampa 3D nel settore plastico

La plastica è diventata parte integrante della nostra vita grazie alla combinazione di comodità e prezzo basso (WEF, 2016). Globalmente, la produzione di plastiche ha raggiunto i 359 milioni di tonnellate nel 2018 (PlasticsEurope, 2019) e si stima che dal 1950 al 2015 siano stati accumulati 6,300 milioni di tonnellate di rifiuti di plastica, di cui solo il 9% è stato riciclato (Geyer et al., 2017).

Gli imballaggi di plastica 'usa e getta' – *Single Use Plastics* (SUPs) – costituiscono il maggior problema in questo contesto dal momento che solo il 14% viene riciclato, pari ad una perdita di 80-120 miliardi di dollari l'anno (WEF, 2016). Nonostante i dati incoraggianti riguardo alla raccolta e al riciclo dei rifiuti (PlasticsEurope, 2019), la plastica continua a costituire una minaccia per l'ambiente e la sua biodiversità, nonché per la salute dell'uomo (WEF, 2016).

'*The New Plastics Economy*' è un'iniziativa lanciata nel 2016 dalla Fondazione Ellen MacArthur in collaborazione con il World Economic Forum e McKinsey & Company che offre una nuova idea di vedere la plastica come una risorsa globale, seguendo i principi dell'economia circolare (WEF, 2016). La Fondazione (2017) ha promosso tre strategie in grado di accelerare il cambiamento verso un mercato della plastica più efficiente, quali riprogettare alcuni tipi di imballaggi per renderli riutilizzabili o riciclabili, sostituire le confezioni di plastica monouso con alternative riutilizzabili e riciclare il più possibile la maggior parte degli imballaggi.

Nel 2018 la Fondazione ha annunciato insieme a UN Environment il '*New Plastics Economy Global Commitment*'¹⁵ a cui hanno aderito più di 450 soggetti. Sul fronte tecnologico, è stato presentato l'*Innovation Moonshots programme*' per favorire lo sviluppo di innovazioni in grado di ridefinire il settore della plastica futuro (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Tra queste troviamo la tecnologia 3D che, agendo sul fronte dell'economia circolare, permette il riciclo della plastica utilizzata nella produzione.

Per *Distributed Recycling via Additive Manufacturing* (DRAM) si intende l'uso di materiale riciclato all'interno del processo di stampa (Cruz Sanchez et al., 2020). Ford e Despeisse (2016) affermano, infatti, che i materiali riciclati si affiancano alle materie prime vergini come input nei processi di lavorazione.

I polimeri più comunemente riciclati sono il polietilene tereftalato (PET), il polietilene ad alta densità (HDPE o PE-HD) – entrambi si trovano nei rifiuti domestici sotto forma di imballaggi (PlasticsEurope, 2019) – e l'acrilonitrile butadiene stirene (ABS). Questi materiali vengono generalmente estrusi sotto forma di filamento, dopo essere stati lavati e ridotti in fiocchi (Garmulewicz et al., 2018). Le ultime tecnologie rendono possibile la creazione di filamenti anche da materie organiche e bio-polimeri come l'acido polilattico (PLA)¹⁶.

L'uso di rifiuti plastici nei processi additivi è stato oggetto di molte ricerche negli ultimi anni, soprattutto se combinato ai vantaggi dell'impiego degli strumenti e dei software di stampa *open source* (OS).

Ford e Despeisse (2016) considerano l'uso di stampanti 3D FDM *home-made* come una soluzione al riciclo locale di plastiche come vecchi filamenti, stampe mal riuscite e altri scarti di produzione. La tecnica di stampa FDM, per altro, è riconosciuta da Garmulewicz et al. (2018)

¹⁵ <https://www.newplasticseconomy.org/projects/global-commitment#whos-involved>

¹⁶ <https://all3dp.com/2/bio-filaments-for-3d-printing-explained-and-compared/>

come la tecnologia che offre maggiori opportunità di riciclo dei materiali in quanto più diffusa ed economica.

La produzione di filamento riciclato risulta più efficiente rispetto all'acquisto dello stesso sul mercato poiché non solo l'uso di materiale riciclato riduce i costi dell'intera produzione, ma il consumo di energia impiegata nel processo di estrusione è considerato irrisorio (Baechler et al., 2013). Inoltre, le materie prime riciclate da rifiuti di plastica o altri materiali locali disponibili possono aumentare il vantaggio di costo dovuto all'uso di strumenti OS di prototipazione rapida (Pearce et al., 2010).

Da un lato, quindi, i minori costi contribuiscono ad aumentare la convenienza della creazione "domestica" di tali stampanti (Pearce et al., 2010) nonché dell'auto-produzione della materia prima e, dall'altro, la possibilità di riciclo di materiali plastici inutilizzati incentiva il riciclo domestico dei rifiuti, riducendo così quelli associati all'uso di stampanti 3D OS (Baechler et al., 2013).

Il World Economic Forum (2020) afferma, infatti, che l'uso della stampa 3D da parte di *makers* e appassionati può portare ad un'eccessiva sperimentazione della tecnologia da parte degli stessi che, nella foga di stampare oggetti, possono creare grandi quantità di rifiuti. Secondo il WEF, appunto, un'opportunità per aumentare la sostenibilità della stampa è quella di permettere il riuso dei materiali di scarto in una nuova produzione.

Inoltre, i processi di riciclo *in-house* sono ritenuti più efficienti rispetto ai programmi di riciclo municipale poiché non richiedono il trasporto di ingenti quantità di rifiuti presso i grandi centri di raccolta centralizzati (Baechler et al., 2013), riducendo così i costi e le emissioni di CO₂ connesse al trasporto nonché la quantità di rifiuti che viene smaltita nelle discariche (Garmulewicz et al., 2018).

Lo stato attuale della stampa 3D come "*disruptive technology*" e le correnti opportunità circolari hanno le potenzialità per ridimensionare totalmente il processo di manifattura e la struttura produttiva, sostituendo alla logica di produzione standardizzata, in grandi lotti e centralizzata, un sistema decentralizzato di laboratori di stampa 3D locali, più vicini ai consumatori e alle loro esigenze e che "si nutrono" di materiali locali. (Garmulewicz et al., 2018).

È per questo che Despeisse et al. (2017) suggeriscono il passaggio ad una catena di fornitura più locale e flessibile che può facilitare il riciclo dei rifiuti locali e ridurre quindi l'uso di risorse naturali. Secondo Garmulewicz et al. (2018) la "chiusura del cerchio" a livello locale può essere

accompagnata dalla creazione di un mercato virtuale (Figura 6) che, attraverso la gestione di domanda e offerta, conetterà progettisti, consumatori locali, fornitori di materiali e produttori.

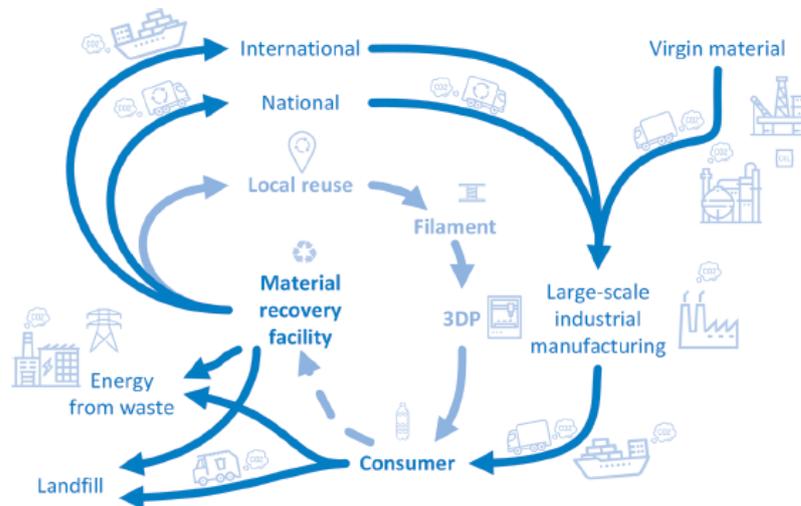


Figura 6. Flusso dei materiali a livello nazionale e internazionale combinato alla logica di fornitura locale. Fonte: Garmulewicz et al., 2018

Le opportunità circolari della stampa 3D non si esauriscono alla sola creazione di nuove materie prime e filamenti, ma riguardano anche la conversione di rifiuti e sotto-prodotti in nuovi oggetti di maggior valore tramite *upcycling* (Ford e Despeisse, 2016).

Sung (2015) definisce *upcycling* il processo attraverso il quale vari materiali vengono convertiti in “qualcosa” di più alta qualità e/o valore, promuovendo un sistema produttivo e un consumo più sostenibili. Rifiuti, scarti di produzione o vecchi oggetti possono essere trasformati in nuovi prodotti come articoli sportivi (Figura 7) (Byard et al., 2019) o supporti per una macchina fotografica (Figura 8) (Zhong e Pearce, 2018).



Figura 7. Uno skateboard e due modelli di pagaie per kayak realizzate con la stampante Gigabot X. Fonte: Byard et al., 2019



Figura 8. Paraluce per obiettivo fotografico realizzato con la stampante RepRap. Fonte: Zhong e Pearce, 2018

1.5. Le domande di ricerca

Dall'analisi della letteratura si è visto come la stampa tridimensionale si sia avvicinata con il tempo alle pratiche sostenibili dell'economia circolare. Il riciclo delle materie plastiche tramite l'uso della manifattura additiva contribuisce a chiudere il cerchio del flusso di tali materiali, beneficiando l'economia circolare nel suo complesso (Zhong e Pearce, 2018) e promuovendo un comportamento sostenibile a livello di impresa e di individuo.

Lo scopo della ricerca è analizzare le opportunità di impiego sostenibile della stampa 3D che sono disponibili al giorno d'oggi sul mercato, in termini di nuove tecnologie e modelli di business. Per questo motivo, verranno presentati dei casi aziendali esemplificativi di cui saranno analizzate le tecnologie e/o soluzioni proposte dal punto di vista della circolarità, del grado di accessibilità da parte dell'individuo e, per quanto possibile, dei vantaggi economici raggiungibili.

In ultima analisi, verranno discusse le implicazioni dei metodi proposti considerando gli ostacoli rispetto all'adozione di tali processi e al passaggio verso l'economia circolare, riflettendo anche su ciò che potrebbe essere migliorato nel contesto attuale per incentivare un uso circolare del *3D printing*.

CAPITOLO 2: PRESENTAZIONE DEI CASI AZIENDALI

2.1. Metodologia di ricerca

Il capitolo di questo elaborato si concentra sull'analisi di specifici casi di aziende che hanno cercato di sviluppare soluzioni innovative in grado di rendere circolare l'utilizzo della stampa 3D.

A questo proposito verranno presentate aziende appartenenti a settori diversi – ingegneria, trasporto aereo, design e architettura – in modo da mostrare come le varie opportunità di *upcycling* possono essere sfruttate in contesti differenti. Sono state scelte le aziende 3devo B.V. e Felfil s.r.l., le quali hanno sviluppato degli strumenti per produrre in modo autonomo e sostenibile il filamento per stampa 3D FDM, KLM Royal Dutch Airlines e The New Raw che hanno creato un sistema chiuso di riciclo della plastica impiegando la tecnologia 3D nei settori, rispettivamente, della riparazione degli aerei e del design.

Nell'analisi dei casi, comunque, si deve tenere in considerazione che il riciclo di materie plastiche nell'uso di tale tecnologia continua ad essere ancora oggi un tema nuovo e in via di sviluppo. Nonostante gli investimenti in programmi di sostenibilità e in *green technologies* stiano ripagando molte aziende e investitori¹⁷, l'implementazione di pratiche 'verdi' nell'utilizzo della stampa 3D, per natura più sostenibile di altre, non è ancora del tutto consolidata da parte delle imprese che la utilizzano.

Sebbene la tecnologia additiva sia impiegata sempre più in settori diversi, i principali obiettivi e trend che riguardano il suo uso rimangono i vantaggi di costo, di tempo e la possibilità di accelerare il processo produttivo (Sculpteo, 2019).

La tipologia di stampante 3D, infine, risulta un ostacolo al conseguimento di pratiche circolari: le stampanti 3D professionali che impiegano resine liquide (SLA) piuttosto che polveri (SLS) rendono difficile un riutilizzo delle materie prime plastiche. Dalle varie ricerche presentate, emerge che la tecnologia FDM è il candidato migliore in quanto permette la produzione di filamento da estrusione da plastiche riciclate – ne sono esempi le aziende Reflow, Filamentive, RePLAy 3D – e lo sviluppo di trituratorie, estrusori e *spooler* che rendono possibile la produzione dello stesso in modo autonomo.

¹⁷ <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2020-01-13/tech-companies-fighting-climate-change-outperform-stock-market>

Le informazioni, i dati e le dichiarazioni che verranno esposte nella trattazione dei casi sono state ricavate dai siti web delle relative aziende, dai documenti messi a disposizione dalle stesse e da riviste online.

2.2. I casi aziendali

La tabella 1 introduce sommariamente i tratti principali delle aziende che verranno presentate.

Tabella 1. Presentazione generale dei casi aziendali

Nome azienda	Settore	Categoria impresa	Anno di fondazione	Localizzazione e azienda	Tipologia di soluzione offerta
3devo B.V.	Ingegneria meccanica e/o industriale	Piccola	2016	Utrecht, Paesi Bassi	Strumenti per produzione di filamenti per stampa 3D
Felfil s.r.l.	Hardware	Microimpresa	2016	Torino, Italia	Estrusore <i>open source</i> per la produzione di filamenti per stampa 3D
KLM Royal Dutch Airlines	Trasporto aereo	Grande	1919	Amsterdam, Paesi Bassi	Manutenzione degli aerei con tecnologia 3D tramite utilizzo di filamento riciclato
The New Raw	Design e architettura	Microimpresa	2015	Rotterdam, Paesi Bassi	Creazione di arredi da esterni stampati in 3D con plastica riciclata

2.2.1. 3DEVO B.V.

3devo B.V. (*Besloten Vennootschap*, società a responsabilità limitata) è un'azienda nata nel 2016 dall'idea di Tim Wesselink, con sede ad Utrecht, Paesi Bassi. Questo team di ingegneri si occupa di proporre soluzioni innovative e *eco-friendly* per la produzione di filamenti per la stampa 3D di alta qualità.

L'azienda ha iniziato la sua attività di ricerca nel 2014 con l'idea di sviluppare un maneggevole estrusore in grado di generare del filamento riciclato per stampanti 3D FDM tramite il riciclo di stampe mal riuscite o altre materie plastiche. Nonostante la prima campagna di raccolta fondi

per finanziare il progetto sia risultata infruttuosa¹⁸, il gruppo di giovani ingegneri ha continuato l'attività di ricerca e sperimentazione arrivando alla fondazione della vera e propria società nel 2016.

L'offerta di 3devo B.V. si compone di tre prodotti: Filament Maker, SHR3D IT e Airid Polymer Dryer.

Filament Maker permette di trasformare i rifiuti di plastica precedentemente tritati in un filamento di alta qualità, durevole e sostenibile. I vari modelli disponibili, che differiscono in base alla quantità di materiale estrudibile e al prezzo, possono essere usati sia per attività di sperimentazione e prototipazione – *the Composer series* – sia per un'attività di produzione vera e propria – *the Precision series*.

SHR3D IT è un tritatore di materie plastiche di piccole dimensioni capace di sminuzzare qualsiasi tipo di plastica in leggeri fiocchi. Questo prodotto è stato creato per chiudere il cerchio della produzione dei filamenti, permettendo di riconvertire i rifiuti di plastica in granulato industriale. SHR3D IT ricicla velocemente più di 5 kg di plastica in un'ora¹⁹.

Airid Polymer Dryer è un essiccatore in grado di rimuovere efficacemente qualsiasi traccia di umidità dai polimeri plastici evitando che i filamenti presentino bolle o altre deformità che possono comprometterne la qualità finale.

Questi strumenti, se integrati, creano un sistema di produzione circolare indipendente dal mercato e eco-sostenibile (Figura 9).

Shred it → Dry it → Melt it → Spool it → Print it → Repeat

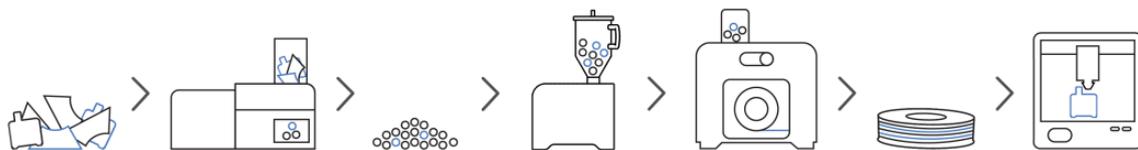


Figura 9. Il processo sostenibile di stampa pensato da 3devo B.V. Fonte: 3devo.com²⁰

Oggi la stampa 3D FDM non viene usata solamente per creare prototipi ma veri e propri prodotti finiti; la necessità di acquistare filamenti di plastica vergine per produzioni in piccole serie può però risultare costoso.

¹⁸ <https://www.kickstarter.com/projects/3devo/next-10-next-level-filament-extruder>

¹⁹ <https://3devo.com/shred-it/>

²⁰ <https://3devo.com/our-process/>

Il sistema di produzione concepito dall'azienda consente a chiunque di creare i propri filamenti in modo autonomo, utilizzando il solo granulato industriale necessario o altresì producendolo riciclando i rifiuti di plastica che normalmente vengono creati, dalle semplici bottiglie di plastica PET, alle stampe difettose e altri scarti di produzione. Questo processo riduce in maniera sostanziale gli sprechi, evitando che molta plastica inutilizzata possa condurre all'inquinamento dell'ambiente circostante e contribuendo a ridurre la cd. *carbon footprint* delle attività produttive. I prodotti di 3devo B.V., inoltre, consumano poca energia: il team stesso dichiara che il tritatore SHR3D IT permette di ridurre fino all'80% i consumi di energia all'interno del processo di produzione¹⁹.

Da una recente intervista rilasciata al sito 3Dnatives²¹, Louis Rinaldo, Specialista dei materiali all'interno dell'azienda, spiega come sia risultato particolarmente arduo riuscire a creare degli strumenti non ingombranti ma "a prova di scrivania" che potessero processare qualsiasi tipo di termoplastica, dal semplice PLA al più elaborato PEEK (Polieteretereterechetone) e che garantissero allo stesso tempo un filamento di alta qualità. Infine, Rinaldo afferma che la giovane startup si stia continuamente prodigando a rendere i propri prodotti accessibili a chiunque: uno degli obiettivi dell'azienda olandese è infatti quello di diffondere la cultura della produzione responsabile e del riciclo all'interno del mondo della manifattura additiva. L'impresa, infatti, si impegna ad aiutare i vari clienti nella transizione ad un modello di business più circolare, garantendo sia il raggiungimento di un vantaggio competitivo sia il rispetto dell'ambiente²².

Il team di 3devo B.V. mette inoltre a disposizione una piattaforma online ricca di video esplicativi, report, sperimentazioni e workshop in modo da guidare i vari clienti nell'uso ottimale dei prodotti²³.

La maggior parte dei clienti di 3devo B.V. sono innovatori, centri di ricerca, università e startup ma anche grandi imprese come BMW e Philips. Un caso interessante riguarda l'adozione di Filament Maker da parte dell'ESA, l'Agenzia Spaziale Europea²⁴: i ricercatori dell'iniziativa Spaceship EAC (*European Astronaut Center*) sono stati in grado di utilizzare la tecnologia 3D all'interno delle loro attività di ricerca e prototipazione, riducendo il consumo di materiale e gli scarti di produzione.

²¹ <https://www.3dnatives.com/en/3dstartup-3devo-070820194/1/>

²² <https://3devo.com/about-3devo/#toggle-id-3-closed>

²³ <https://support.3devo.com/>

²⁴ <https://3devo.com/explore/esa-case-study>

Il successo acquisito negli ultimi anni e la partecipazione a numerosi eventi internazionali hanno permesso a 3devo B.V. di crescere come azienda, stabilendosi anche in mercati al di fuori dell'Unione Europea. L'innovativa impresa di Utrecht, che conta ad oggi una ventina di dipendenti, ha recentemente deciso di aprire il primo ufficio a Claymont, nel Delaware, al fine di rafforzare la propria presenza nel fiorente mercato statunitense²⁵.

2.2.2. FELFIL S.R.L.

Felfil s.r.l. è una giovane azienda torinese che produce e distribuisce l'omonimo estrusore *open source* Felfil che permette a chiunque, dagli appassionati, ai maker e alle imprese, di creare autonomamente il filamento per stampare in 3D utilizzando granulato di termoplastiche vergini ma anche scarti di lavorazione, stampe difettose e altri rifiuti plastici.

L'azienda nasce dall'idea condivisa di Fabrizio Pasquero, Giulio Cravino e Fabrizio Mesiano come tesi di Laurea Magistrale in Ecodesign al Politecnico di Torino. Con l'inserimento nel programma di consulenza e supporto per le startup digitali Treatabit dell'I3P, l'Incubatore del Politecnico di Torino, il gruppo di giovani *startupper* è stato in grado di formalizzare il progetto Felfil Evo.

Il primo Felfil è stato concepito nel luglio 2014 in licenza *Creative Commons*: l'hardware di questo primo prototipo poteva essere infatti scaricato gratuitamente dal sito relativo in modo che gli acquirenti potessero costruire il macchinario da sé e senza costi aggiuntivi, se non quelli relativi all'acquisto delle componenti facilmente reperibili sul mercato.

Dopo una proficua campagna di *crowdfunding* per iniziare la produzione del secondo prototipo dell'estrusore²⁶, nel 2016 il gruppo ne ha avviato la distribuzione su pre-ordine sulla piattaforma InDemand di Indiegogo e ha lanciato un'altra campagna di raccolta fondi, chiusa poi nel 2017, sulla piattaforma italiana Mamacrowd. L'aumento di capitale di quasi 120 mila euro e la trasformazione in s.r.l. nel 2016 hanno permesso all'azienda di incrementare la produzione e rendere disponibile il nuovo Felfil Evo in pronta consegna in tutto il mondo.

L'estrusore Felfil Evo, acquistabile oggi direttamente dal sito internet dell'impresa, è stato perfezionato durante gli anni tenendo in considerazione i *feedback* dei vari utilizzatori ma conservando la caratteristica *open* che l'ha contraddistinto dagli inizi.

²⁵ <https://3devo.com/blog/3devo-opens-us-office/>

²⁶ <https://www.kickstarter.com/projects/948513712/felfil-evo-a-filament-extruder-for-3d-printers-mad?lang=it>

Come ricorda uno dei fondatori del progetto in un'intervista rilasciata nel 2016 a Manifatture Digitali²⁷, il primo prototipo era stato realizzato utilizzando vecchie parti di recupero. Il nuovo Felfil Evo, invece, è dotato di una scheda compatibile con Arduino²⁸, la struttura in legno è stata sostituita con una in alluminio e plexiglas, l'ugello, il motore e la vite da estrusione sono prodotti di qualità industriale. Il design inoltre è più curato: Felfil Evo è disponibile in diversi colori e può essere ordinato in tre modalità diverse (Figura 10):



Figura 10. I vari modelli di estrusore offerti da Felfil s.r.l. . Fonte: felfil.com²⁹

Felfil Evo Assembled è il più completo ma anche il più costoso; l'estrusore viene spedito già funzionante e pronto all'uso.

Felfil Evo Complete Kit include tutte le componenti necessarie che dovranno essere assemblate dall'acquirente consultando gli appositi manuali di istruzione e tutorial messi a disposizione dall'azienda.

Felfil Evo Basic Kit è la modalità di acquisto più economica in quanto prevede che l'acquirente debba costruire da sé l'estrusore. Il kit contiene solo le parti meccaniche fondamentali, prodotte su misura dall'azienda, mentre le restanti componenti potranno essere reperite facilmente sul mercato.

Felfil s.r.l. offre inoltre Felfil Bundle, un sistema di estrusione completo, composto dall'estrusore Felfil Evo e dall'avvolgitore automatico Felfil Spooler.

Grazie a Felfil Evo, non solo gli acquirenti saranno indipendenti durante tutto il processo di stampa ma contribuiranno a ridurre l'impatto negativo che la plastica ha verso l'ambiente

²⁷ <https://josephinecondemi.nova100.ilsole24ore.com/2016/01/23/fare-il-filo-riciclato-felfil-e-lestrusore-in-open-source/>

²⁸ Arduino è un software con licenza libera che può essere utilizzato da chiunque per intraprendere progetti di elettronica e automazione. (Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>)

²⁹ <https://felfil.com/felfilevo-filament-extruder/?v=cd32106bcb6d>

riciclando stampe o prototipi errati nella realizzazione di nuovi prodotti tramite il processo di *upcycling*³⁰.

Un ulteriore vantaggio relativo all'adozione dell'estrusore è la possibilità di ridurre il costo di produzione delle stampe in 3D. Questo sistema permette di risparmiare fino all'80% sul costo di acquisto delle bobine. Come spiegano i fondatori di Felfil s.r.l. in un video di presentazione del progetto³¹, una bobina di filamento per stampa 3D FDM è reperibile sul mercato ad un prezzo medio di 30-35 euro/kg. Il granulato industriale, invece, che sia ABS o PLA costa circa 4-5 euro/kg. Riutilizzare gli scarti della produzione o le stampe fallite permette di ridurre il costo di produzione a zero.

Dal punto di vista economico si può affermare che l'azienda sia cresciuta nel tempo, acquisendo ingenti quantità di capitale tramite le varie campagne di *crowdfunding* effettuate. I dati relativi all'ultimo bilancio 2018 depositato, consultabili gratuitamente sulla piattaforma online iCribis³², indicano come il fatturato dell'azienda sia aumentato del 676,32% rispetto al biennio precedente; lo stesso trend riguarda anche il capitale sociale, che registra un incremento del 17,99%.

2.2.3. KLM ROYAL DUTCH AIRLINES

KLM Royal Dutch Airlines (dall'olandese *Koninklijke Luchtvaart Maatschappij N.V.*) è la prima compagnia aerea a riutilizzare le bottiglie di plastica fornite durante i voli di linea nella produzione di filamento riciclato per stampanti 3D, per poterlo poi utilizzare nelle attività di riparazione e manutenzione degli aerei stessi.

Premiata lo scorso anno insieme alla consociata Air France dal Dow Jones Sustainability Index³³ come gruppo leader nel settore dei trasporti aerei, KLM si impegna da molti anni a minimizzare l'impatto negativo delle proprie attività, avendo come obiettivo per il 2030 la riduzione della propria impronta ambientale del 15% rispetto al 2015 e delle emissioni di CO₂ dei propri passeggeri del 50% (KLM, 2019, p.63).

Stabilita il 7 ottobre 1919, la centenaria compagnia aerea olandese ha dimostrato ancora una volta il suo costante impegno nella promozione di una crescita sostenibile tramite la

³⁰ <https://felfil.com/it/felfil-evo-il-nostro-concetto-di-economia-circolare/?v=cd32106bcb6d>

³¹ <https://www.indiegogo.com/projects/felfil-evo-3d-printers-filament-extruder#/>

³² https://www.informazione-aziende.it/Azienda_FELFIL-SRL#

³³ Dow Jones Sustainability Index (DJSI) misura le performance finanziarie delle aziende leader di settore in termini economici, ambientali e sociali. (Fonte: <https://www.spglobal.com/esg/csa/indices/djsi-index-family>)

collaborazione con l'azienda produttrice di filamenti sostenibili Reflow³⁴ e l'impresa di riciclaggio Morssinkhof Rymoplast³⁵.

Dall'aeroporto di Amsterdam-Schiphol in cui ha sede il gruppo, i rifiuti generati alla fine di ogni viaggio vengono raccolti e smistati a mano dagli addetti del Catering Services. Le bottiglie di plastica vengono poi imballate e trasferite al centro di riciclaggio Morssinkhof Rymoplast dove vengono trasformate in pellet. L'azienda Reflow si occupa poi di convertire questa materia prima riciclata in filamento per stampa 3D.

Il CEO di Reflow Jasper Middendorp afferma che all'interno del proprio stabilimento produttivo vengono prodotte ogni giorno circa 55 bobine di filamento, per ognuna delle quali vengono impiegate in media 72 bottiglie di plastica. Un'interessante riflessione è pensare che tutti i metri di filo riciclato prodotti da Reflow in un giorno corrispondono, in lunghezza, a quasi 5 Boeing 787s messi in fila³⁶.

Aerofil, così è stato battezzato questo filamento di PETG (Polietilene Tereftalato modificato, la "G" sta per glicole modificato), viene utilizzato dalla divisione *Engineering & Maintenance* di KLM nelle varie attività di manutenzione della flotta aerea. La tecnologia additiva è una risorsa importante in quanto permette di riparare direttamente le componenti usurate, ad esempio all'interno delle cabine di pilotaggio, riducendo i costi e i tempi di lavoro. In alcuni casi, invece, viene impiegata nella creazione di strumenti da lavoro *ad hoc* che consentono di velocizzare le attività di riparazione fino al 90%³⁷. KLM E&M, ad esempio, ha sviluppato dei tappi su misura da inserire all'interno dei fori delle ruote del Boeing 737s per evitare che questi si sporchino quando quest'ultime vengono verniciate; ancora, il nastro protettivo usato nella riparazione delle turbine è stato sostituito da protezioni stampate in 3D³⁸ (Figura 11).

³⁴ Reflow è una giovane azienda olandese che produce filamenti per stampanti 3D FDM da plastiche riciclate (Fonte: <https://reflowfilament.com/>)

³⁵ Morssinkhof Rymoplast è il più grande impianto di riciclaggio di plastica in Europa; le sue 7 strutture di riciclaggio sono dislocate nei Paesi Bassi, Belgio, Polonia e Germania. (Fonte: <https://www.morssinkhofplastics.nl/english/under-construction/the-company/>)

³⁶ <https://reflowfilament.com/skys-the-limit-sustainable-3d-printed-tooling-with-klm-royal-dutch-airlines/>

³⁷ <https://www.afiklmem.com/en/robotics/3d-printing>

³⁸ <https://news.klm.com/from-drink-to-ink--klm-makes-tools-from-pet-bottles/>



Figura 11. Rivestimento protettivo per una turbina stampato in 3D da KLM E&M. Fonte: news.klm.com³⁸

In un suo comunicato, la compagnia afferma che nelle attività di riparazione vengono usati circa 1.5 kg di filamento per stampanti 3D al giorno. Prima di questa iniziativa, KLM si rivolgeva ad un fornitore esterno per l'approvvigionamento di tali filamenti. Grazie a questo nuovo sistema circolare, il costo di acquisto della materia prima necessaria alla stampa “[...] *has dropped from EUR 60/kg to just EUR 17/kg*”, dichiara l'azienda³⁸.

In questo modo KLM crea un *closed-loop system* in cui i rifiuti di plastica vengono riutilizzati all'interno di una delle *core functions* del gruppo, acquisendo indipendenza dai fornitori esterni e diminuendo i relativi costi operativi.

Insieme a questa iniziativa, il gruppo ha in attivo i progetti ‘Fly Responsibly’³⁹ e ‘CO2ZERO’⁴⁰ che mirano a conseguire un alto livello di sostenibilità in tutte le aree di attività dell'impresa, contando sul sostegno dei vari partner, collaboratori e clienti.

KLM sta inoltre lavorando per ridurre l'uso della plastica ‘usa e getta’ nei servizi di catering: dove non è stato possibile rimuoverla, questi sono stati riprogettati in modo da essere più leggeri e più facili da riciclare. Entro il 2030 KLM conta infatti di ridurre del 50% il volume dei propri rifiuti, rispetto ai valori del 2011 (KLM, 2019, p.65).

2.2.4. THE NEW RAW

The New Raw è uno studio di design stabilito a Rotterdam e fondato nel 2015 dai due architetti Foteini Setaki e Panos Sakkas. Il team, composto oggi da 8 persone, vanta collaborazioni con

³⁹ https://flyresponsibly.klm.com/gb_en#keypoints

⁴⁰ <https://klmtakescare.com/en/content/co2zero-s-facts-and-figures>

istituti di ricerca, università e imprese multinazionali, come The Coca-Cola Company e Unilever.

Il team olandese è alla continua ricerca di nuovi metodi che sviluppino i concetti dell'economia circolare coniugando innovazioni tecnologiche e responsabilità sociale, focalizzandosi nello sviluppo di modelli di business che chiudano il ciclo di vita dei materiali e rafforzino la produzione locale. I progetti avviati dall'azienda sono incentrati sull'utilizzo della tecnologia 3D su larga scala impiegando i rifiuti plastici come materia prima.

Ogni iniziativa promossa ha inoltre un forte valore educativo: The New Raw vuole diffondere maggiore consapevolezza riguardo ai problemi che la plastica può causare all'ambiente e al ruolo che la società di oggi può avere nel porvi rimedio. L'utilizzo della tecnologia 3D, inoltre, permette un alto livello di *customization* che contribuisce ad aumentare il coinvolgimento delle persone nel processo di cambiamento verso un'economia più circolare.

Tra i progetti principali intrapresi dallo studio di Rotterdam vi è l'iniziativa 'Print Your City!', avviata nel 2016 in collaborazione con AMS Institute (*Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions*) e il supporto di TU Delft (Università tecnica di Delft) e AEB Amsterdam. 'Print Your City!' faceva parte del più ampio progetto '3D Printing for Circular City' il cui fine era rendere la metropoli di Amsterdam più sostenibile riducendo il volume dei rifiuti urbani, riciclandoli attraverso l'uso della tecnologia additiva⁴¹.

Come spiega Panos Sakkas in un video di presentazione⁴² del progetto, "[...] *plastic packaging has a major design failure: it's designed to last forever but it's used only for few seconds and it's been instantly thrown away*". L'idea condivisa dai vari team prevedeva dunque la creazione di un sistema a ciclo chiuso in cui i rifiuti domestici venivano utilizzati per la realizzazione di arredi urbani utilizzando la stampa 3D FDM.

Il primo prototipo, stampato da Aectual⁴³, è stato battezzato '*XXX bench*' e si tratta di una panchina *double-sided* che può ospitare dalle 2 alle 4 persone con un peso di circa 50 kg (Figura 12). Secondo le ricerche fatte durante il periodo di incubazione del progetto (2015), questo è pari alla quantità di plastica che due cittadini di Amsterdam producono ogni anno⁴⁴.

⁴¹ <https://www.ams-institute.org/urban-challenges/circularity-urban-regions/3d-printing-circular-city/>

⁴² <https://thenewraw.org/Print-Your-City-Amsterdam>

⁴³ <https://www.aectual.com/company/>

⁴⁴ <https://printyour.city/about>



Figura 12. La prima 'XXX bench' sviluppata per il progetto 'Print Your City!'. Fonte: thenewraw.org⁴²

La forma, invece, ricorda vagamente il simbolo dell'infinito e il fondo arrotondato permette alla panchina di dondolare: ciò fa in modo che coloro che vogliono sedersi siano incentivati a collaborare sia per permettere alla panchina di muoversi sia per ricercare un equilibrio⁴⁵. Questa panchina dunque non è solo un oggetto in plastica riciclata creato usando la tecnologia 3D, ma è il simbolo di come le persone possano collaborare per agire in modo più responsabile nei confronti dell'ambiente che le circonda. Secondo Sakkas e Setaki iniziative come queste possono condurre allo sviluppo di una società più circolare, in cui cittadini partecipino attivamente alla realizzazione dei propri spazi pubblici attraverso il riciclo dei rifiuti che loro stessi producono.

Nel 2018 l'azienda ha annunciato l'estensione del progetto 'Print Your City!' per la città di Salonicco, in collaborazione con l'iniziativa 'Zero Waste Cities' lanciata dal gruppo Cola-Cola Greece che incentiva i cittadini greci a modificare le proprie abitudini rendendole più *eco-friendly*⁴⁶.

All'interno del laboratorio locale 'Zero Waste Lab' di Salonicco, la plastica, dopo essere raccolta, veniva lavata, sminuzzata, estrusa e trasformata in moderne creazioni in 3D. I cittadini potevano partecipare all'intero processo portando i propri rifiuti e scegliendo quale tipo di arredo stampare, curarne il design, il colore e decidere dove posizionarlo. All'interno del sito internet, lanciato nel dicembre 2018, gli utenti venivano informati quanto alla quantità di plastica di volta in volta necessaria per avviare la produzione in 3D dei propri arredi. Inoltre, tutte le creazioni possono essere facilmente riparate in caso di usura e convertite in nuova materia prima se necessario.

⁴⁵ <https://3dprint.com/194435/3d-printed-city-furniture/>

⁴⁶ <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-helps-make-zero-waste-cities>

Per tutta la durata dell'iniziativa (novembre 2018 – maggio 2019) sono stati sottoposti a The New Raw più di 3000 progetti di design. Il team sostiene di aver impiegato circa 100 kg di plastica e 12 ore di lavoro per lo stampaggio di ciascun arredo⁴⁷. Attraverso questa iniziativa il team sperava di riciclare fino a 4 tonnellate di rifiuti di plastica, corrispondenti alla quantità prodotta da 14 famiglie greche⁴⁸.

I vari lavori di ricerca condotti da The New Raw hanno la stessa idea di base: riuscire a trasformare in una risorsa un materiale di fatto inquinante come la plastica. La tecnologia 3D permette di raggiungere questo obiettivo in modo eco-sostenibile, riducendo l'impronta ecologica dell'attività di produzione.

Dal punto di vista economico, comunque, la tecnologia 3D risulta essere la variabile principale che determina il costo del prodotto finito. Il co-fondatore di The New Raw Sakkas, durante una conferenza tenuta in occasione dell'evento Rapid.tech fabcon 3.D⁴⁹ nel 2018, afferma infatti che il costo dei materiali incide solo per il 10-15% sul costo finale del prodotto, in quanto questo è determinato in gran parte dal tempo di stampa, soprattutto per i prodotti di grandi dimensioni.

Nonostante ciò il team è riuscito ad accorciare i tempi di produzione, ottimizzando le opzioni di design e la qualità dei materiali, grazie al continuo impegno nel miglioramento delle attrezzature e della struttura produttiva⁵⁰. La produzione e l'approvvigionamento dei materiali, infine, avvengono da aziende locali operanti nell'area del Benelux⁵¹, riducendo non solo i costi ma anche le emissioni di CO₂ dovute all'assenza di ingenti esigenze di trasporto.

2.3. Confronto tra i casi esposti

Le aziende presentate appartengono a settori molto diversi: 3devo B.V. e Felfil s.r.l. rientrano nel campo dell'ingegneria meccanica e/o industriale, The New Raw si occupa di design mentre KLM Royal Dutch Airlines è uno dei colossi del trasporto aereo. Nonostante ciò si possono riscontrare delle analogie tra i vari casi proposti (Tabella 2).

Risulta subito evidente che la maggior parte delle aziende presentate sia olandese: secondo una ricerca di 3D Hubs⁵² del 2018, i Paesi Bassi erano il terzo paese al mondo, e il secondo europeo dopo il Regno Unito, ad utilizzare in modo consistente la stampa 3D. Il governo olandese,

⁴⁷ <https://www.3dnatives.com/en/recycling-plastic-to-3d-print-furniture-in-cities/>

⁴⁸ <https://www.3dprintingmedia.network/new-raw-plastic-waste-3d-furniture/>

⁴⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=SJKE8rm2z3M>

⁵⁰ <https://3dprint.com/234056/print-your-city-initiative-greece/>

⁵¹ Il Benelux è l'area doganale costituita da Paesi Bassi, Belgio e Lussemburgo. (Fonte: <http://www.treccani.it/enciclopedia/benelux/>)

⁵² <https://www.statista.com/statistics/800356/worldwide-3d-printing-market-by-country/>

inoltre, dal 2016 ha iniziato un programma per accelerare la transizione dell'economia del paese ad un modello circolare⁵³.

Un altro aspetto comune è che la maggior parte delle aziende ha fondato la propria attività sulla ricerca di soluzioni che riducano lo spreco di materiali durante i processi di stampa, in quanto molti oggetti stampati possono non essere idonei al commercio a causa di imperfezioni dovute ad errori di configurazione della stampante o alla scarsa qualità del materiale.

Aziende come 3devo B.V. e Felfil s.r.l. sono riuscite a creare degli strumenti che rendono possibile chiudere il cerchio della produzione con stampa 3D, ponendosi da tramite tra le imprese che normalmente utilizzano questa tecnologia e l'obiettivo di raggiungere un business più sostenibile.

Contrariamente all'azienda olandese, la giovane società di Torino ha abbracciato una filosofia di business più *open*: il team infatti ha deciso di rendere totalmente disponibile l'hardware del proprio progetto, in modo che chiunque possa scaricarlo e rendere il più possibile *green* il proprio utilizzo della tecnologia additiva.

Anche lo studio di design The New Raw ha scelto di incentrare il proprio business su attività circolari, nonostante la soluzione di *upcycling* offerta dallo studio di Rotterdam sia l'unica che non prevede l'utilizzo della stampa 3D per scopi di produzione, o affini. Attraverso i propri arredi riciclati, il team di designer punta a sensibilizzare i cittadini riguardo al costante problema ambientale che la plastica comporta. La scelta di usare la tecnologia 3D, dunque, è una diretta conseguenza della filosofia di business dell'azienda.

La compagnia aerea KLM è l'unica che si discosta in modo netto dalle altre aziende presentate, sia dal punto di vista dell'approccio alla tecnologia sia dal modello di business scelto. In questo caso la stampa 3D non è la tecnologia di punta dell'azienda per raggiungere la circolarità; al contrario degli altri casi presentati, KLM Royal Dutch Airlines ha un più ampio portfolio di progetti circolari. Inoltre, è l'unico esempio in cui si possono riscontrare degli effettivi benefici riguardanti la scelta circolare fatta, quali la maggiore indipendenza durante l'uso della tecnologia e una riduzione dei costi della materia prima. Il management di KLM, infine, costituito da un team esecutivo ben definito (CEO, CFO, COO) e supervisionato dal relativo *Supervisory Board*, è di tipo gerarchico e l'azienda ha un'ampia carriera alle spalle.

3devo B.V., Felfil s.r.l. e The New Raw, invece, sono nate come startup e hanno raccolto i propri capitali attraverso campagne di *crowdfunding*. Sono aziende giovani, dedite sia alla

⁵³ <https://www.government.nl/topics/circular-economy>

ricerca industriale sia al problema ambientale. Il *business model* scelto non è gerarchico: nonostante la presenza dei vari CEO, l'organizzazione aziendale è affine ai principi dell'*Agile Management*: frequenti cambiamenti, sviluppo incrementale e mantenimento di un *feedback* continuo con i clienti sono alcune delle caratteristiche che possono essere riscontrate nelle imprese presentate (Costa e Gianecchini, 2019). Data la giovane costituzione, non sono ancora presenti reali dati economici che mostrano i vantaggi dei progetti creati.

Nonostante questo, la sostenibilità rimane comunque il filo conduttore che accomuna tutti i casi presentati. Se 3devo B.V., Felfil s.r.l. hanno sviluppato da sé le proprie soluzioni di *upcycling*, KLM Royal Dutch Airlines e The New Raw hanno comunque dovuto appoggiarsi ad altre imprese e enti esterni operanti nel settore del riciclo e dell'economia circolare al fine di rendere attuabile il proprio progetto.

Si può concludere che le startup e le piccole aziende manifatturiere possono avere un ruolo centrale nella conversione dei processi produttivi delle grandi imprese ad un modello più sostenibile. Se le prime sono sinonimo di innovazione e evoluzione, le seconde hanno l'esperienza e i capitali necessari al raggiungimento di tali obiettivi circolari. Una collaborazione tra grandi imprese affermate e startup innovative può dunque essere la chiave per raggiungere un nuovo modello di produzione e consumo.

Tabella 2. Confronto tra le varie aziende presentate

	Azienda			
	3DEVO B.V.	FELFIL S.R.L.	KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	THE NEW RAW
Luogo e anno di fondazione	Utrecht (NL), 2016	Torino (IT), 2016	Amsterdam (NL), 1919	Rotterdam (NL), 2015
Categoria di azienda	Piccola	Microimpresa	Grande	Microimpresa
Mercato in cui opera	Per lo più locale (recente espansione all'estero)	Locale	Internazionale	Per lo più locale (secondo laboratorio in Grecia)
Ambito di utilizzo tecnologia 3D FDM	Produzione, prototipazione	Produzione, prototipazione	Manutenzione, riparazione	Design
Rilevanza progetto rispetto al business complessivo	Centrale	Centrale	Secondario	Centrale
Aspetti di sostenibilità raggiunti con il progetto				
- <i>Riciclo rifiuti plastici</i>	✓	✓	✓	✓
- <i>Riduzione spreco di materiale</i>	✓	✓	✓	✓
- <i>Riduzione consumo energetico</i>	✓			
- <i>Produzione locale</i>	✓	✓	✓	✓
Vantaggi economici correlati (effettivi)			✓	
Coinvolgimento soggetti esterni				
- <i>Utilizzatori/consumatori</i>		✓		✓
- <i>Partners</i>			✓	✓

CAPITOLO 3: IMPLICAZIONI DELL'ANALISI E CONCLUSIONI

All'inizio della ricerca è stata presentata la relazione tra economia circolare e manifattura additiva, focalizzando l'analisi sulla fattibilità di un sistema chiuso di produzione in cui le materie plastiche potessero essere riciclate e impiegate in nuove produzioni. Dall'analisi della letteratura è emerso che la stampa 3D ha le potenzialità per accelerare il passaggio all'economia circolare in quanto può permettere una produzione delocalizzata e su piccola scala e utilizzare l'incessante quantità di plastica come materia prima (Garmulewicz et al., 2018), garantendo benefici sia economici che ambientali.

Inoltre, i casi presentati offrono un quadro relativo delle tecnologie ad oggi disponibili sul mercato che permettono la chiusura del ciclo della produzione, come anche realtà aziendali che hanno costruito e/o adattato il proprio modello di business ad un contesto economico e tecnologico in forte cambiamento.

Per quanto le potenzialità del *3D printing* in questo campo siano promettenti, il riciclaggio di materie plastiche tramite l'uso della manifattura additiva è ostacolato da una serie di barriere che, riprendendo lo studio di Garmulewicz et al. (2018), sono individuabili in tecnologiche, economiche, sociali, organizzative e politiche.

Un primo problema tecnico è dovuto alla naturale degradazione delle prestazioni delle materie plastiche ad ogni ciclo di riscaldamento e ri-modellazione (Caligaris et al., 2006). È evidente dunque che una stessa quantità di plastica non può essere riciclata all'infinito, ma deve essere sostituita di volta in volta con materia prima vergine.

Secondo Garmulewicz et al. (2018), un ulteriore ostacolo riguarda la carente disponibilità di materiali locali idonei ad essere riciclati mentre, come affermano Baechler et al. (2013), l'eterogeneità dei rifiuti plastici può compromettere la qualità dei prodotti finali e causare difficoltà tecniche durante i processi di estrusione.

Inoltre, la qualità funzionale degli oggetti stampati in 3D e la domanda da parte dei consumatori finali sono ancora deboli per rendere economicamente conveniente la produzione degli stessi da rifiuti di plastica (Garmulewicz et al., 2018).

Dal punto di vista economico, invece, la differenza tra il prezzo della plastica pura e quella riciclata ostacola l'impiego di quest'ultima durante i processi di stampa. Non solo l'attuale calo del prezzo del petrolio rende più conveniente la produzione della plastica rispetto al riciclo della

stessa⁵⁴, ma il costo della plastica riciclata in modo delocalizzato risulta troppo elevato se paragonato a quello ottenuto dagli impianti di riciclo centralizzati sfruttando le economie di scala (Garmulewicz et al., 2018).

A livello organizzativo, la mancanza di condivisione di informazioni sui materiali disponibili e l'assenza di consolidati modelli di business circolari sono fattori ostacolanti allo sviluppo di una rete di collaborazioni tra imprese che può incentivare la raccolta e l'utilizzo di materiale locale. Quest'ultimo aspetto, inoltre, può essere reso ancora più difficile dalla decisione di alcune aziende che fabbricano stampanti 3D di avere materiali di proprietà (Garmulewicz et al., 2018).

Un altro fattore limitante è la poca conoscenza che le imprese e i privati utilizzatori attualmente hanno nei confronti delle opportunità *green* del *3D printing*. L'introduzione dei principi di circolarità nel mondo della manifattura additiva dovrebbe essere accompagnata da un percorso educativo indirizzato alle aziende fabbricatrici e utilizzatrici della tecnologia e agli studenti e designer di domani, in modo da garantire un cambiamento nelle logiche di produzione attuali e nei modelli di business futuri.

Un'ultima barriera evidenziata da Garmulewicz et al. (2018) riguarda la presenza di normative inerenti all'uso di determinati materiali durante le produzioni industriali che ostacolerebbero l'impiego di plastica locale. Sarebbe auspicabile, quindi, una revisione di tali regolamentazioni – sempre nel rispetto della salute dell'uomo e dell'ambiente – al fine di aumentare il riciclo dei rifiuti all'interno dell'industria e incentivare la collaborazione tra soggetti privati e strutture locali di riciclaggio.

In linea generale, è possibile affermare che sono stati fatti molti progressi nel campo dell'economia circolare in quanto le soluzioni apportate grazie all'innovazione tecnologica rendono sempre più concreto l'abbandono del vecchio modello economico lineare. Le nuove generazioni spingono sempre di più verso un cambiamento e ne sono testimoni i nuovi modelli di business sviluppati negli ultimi anni a supporto della *circular economy*. Inoltre, in una realtà come quella odierna in cui l'opinione pubblica richiede più rispetto nei confronti dell'ambiente, lo sviluppo di iniziative dirette ai cittadini che coniugano innovazione e responsabilità civile possono essere la chiave per un cambiamento più veloce.

In tema di politiche circolari, molti Stati hanno già introdotto delle regolamentazioni coerenti con i principi dell'economia circolare per incentivare, tra gli altri, dei programmi di riciclo

⁵⁴ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-05-06/oil-crash-means-single-use-plastic-is-back-as-recycling-struggles?srnd=green>

all'interno di strutture industriali. Cina, Giappone e Corea del Sud hanno adottato *policy* nazionali, mentre Stati Uniti, India e Brasile puntano alla creazione di *network* e piattaforme tra PMI – Piccole e Medie Imprese (Geng et al., 2019).

Sul fronte europeo, l'UE ha adottato il Green Deal europeo⁵⁵ per promuovere un'economia più efficiente e a impatti zero e l'Alleanza Circolare della Plastica⁵⁶ (*Circular Plastics Alliance*) allo scopo di riciclare fino a 10 milioni di tonnellate di plastica entro il 2025. Infine, la Manchester Metropolitan University ha trovato il sostegno del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale per avviare il progetto TRANSFORM-CE che consiste nel riciclo della plastica 'usa e getta' come materia prima nella realizzazione di sedie, tavoli e altri oggetti in 3D⁵⁷.

Nonostante i buoni propositi di queste politiche, c'è chi critica l'approccio dell'Unione Europea verso l'economia circolare, definendo la *circular economy* di stampo europeo una "economia morale" le cui linee politiche finiscono per limitare gli obiettivi fondanti della stessa (Gregson et al., 2015).

Dall'analisi di quanto affrontato finora è possibile affermare che vi sono le condizioni per lo sviluppo di nuove opportunità e modelli di business nel campo della stampa 3D che apporterebbero benefici sia dal lato dell'economia circolare sia della riduzione dell'inquinamento della plastica.

La letteratura, gli studi e i casi aziendali presentati fanno riferimento al contesto manifatturiero odierno e la ricerca proposta non è esente da limitazioni, quali la mancanza di informazioni riguardo a realtà aziendali medio-grandi e la focalizzazione su una sola tipologia di tecnologia additiva. Il mondo dell'Industria 4.0 e del *3D printing* è in continua espansione perciò potrebbe essere interessante riprendere la ricerca a distanza di anni e verificare i progressi raggiunti nel campo del DRAM, anche in relazione alle altre tecnologie additive.

Numero parole: 9857

⁵⁵ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

⁵⁶ https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/circular-plastics-alliance_en

⁵⁷ <https://3dprintingindustry.com/news/transform-ce-mmu-e9-6-million-plans-to-give-plastic-a-new-lease-of-life-with-3d-printing-168754/>

Riferimenti bibliografici

BAECHLER, C., DEVUOMO, M., PEARCE, J. M., 2013. Distributed Recycling of Waste Polymer into RepRap Feedstock. *Rapid Prototyping Journal*, 19 (2), 118-125

BYARD, D. J., et al., 2019. Green fab lab applications of large-area waste polymer-based additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 27, 515-525

CALIGARIS, L., FAVA, S., TOMASELLO, C., a cura di., 2006. *Manuale di meccanica*. 1° ed. Milano: Hoepli. G-186, P-6, P-7

CAMPBELL, T., et al., 2011. Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing [online]. Disponibile su <<https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/could-3d-printing-change-the-world/>>

COSTA, G., GIANECCHINI, M., 2019. Risorse umane. Persone, relazioni e valore. 4° ed. Milano: The McGraw –Hill Education. 335

CRUZ SANCHEZ, F. A., et al., 2020. Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264

DESPEISSE, M., et al., 2017. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting & Social Change*, 115, 75-84

DI MARIA, E., et al., a cura di., 2018. *L'economia circolare nelle imprese italiane e il contributo di industria 4.0*. Università di Padova, Legambiente Disponibile su <<https://www.economia.unipd.it/LMD/laboratorio-manifattura-digitale>>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012. Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition. Disponibile su <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015. Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition. Disponibile su <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017. The New Plastics Economy: Catalysing Action. Disponibile su: <<https://www.newplasticseconomy.org/about/publications>>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019. Artificial Intelligence and the Circular Economy – AI as a tool to accelerate the transition. Disponibile su <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>

EROL, S., 2016. Where is the Green in Industry 4.0? or How Information System can play a role in creating Intelligent and Sustainable Production Systems of the Future [online]. Disponibile su <<https://www.researchgate.net/publication/318645767>>

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2017. Circular by design. Products in the circular economy. Disponibile su: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/circular_by_design_-_products_in_the_circular_economy.pdf>

FORD, S., DESPEISSE, M., 2016. Additive manufacturing and sustainability: an exploration study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587

GARMULEWICZ, A., et al., 2018. Disruptive Technology as an Enabler of the Circular Economy: What potential does 3D printing hold? *California Management Review*, 60 (3), 112-132

GATTO, A., et al., 2006. *Complementi di tecnologia meccanica*. 1° ed.. Bologna: Cappelli. 474-478

GEISSDOERFER, M., et al., 2017. The Circular Economy - A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768

GENG, Y., SARKIS, J., BLEISCHWITZ, R., 2019. Globalize the circular economy. *Nature*, 565, 153-155

GEYER, R., JAMBECK, J. R., LAVENDER LAW, K., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* [online], 3 (7). Disponibile su: <<https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782/tab-article-info>>

GREGSON, N., et al., 2015. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44 (2), 218-243

KLM ROYAL DUTCH AIRLINES, 2019. KLM 2019 Annual Report. Disponibile su <https://www.klm.com/travel/it_it/corporate/publications.htm>

LACY, P., RUTQVIST, J., 2015. *Waste to Wealth. The Circular Economy Advantage*. 1a edizione. Hapshire: PalGrave MacMillan. 99-100

- LOISEAU, E., et al., 2016. Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371
- MCKINSEY & COMPANY, 2016. The circular economy: Moving from theory to practice. Disponibile su: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-circular-economy-moving-from-theory-to-practice>>
- MURRAY, A., SKENE, K., HAYNES, K., 2017. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in the Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140, 369-380
- PEARCE, D., TURNER, R., 1989. Economics of Natural Resources and the Environment. In: GEISSDOERFER, M., et al., 2017. The Circular Economy - A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768
- PEARCE, J. M., et al., 2010. 3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 3 (4), 17-29
- PLASTICSEUROPE, 2019. Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Disponibile su: <<https://www.plasticseurope.org/it/resources/publications>>
- SAUVÉ, S., BERNARD, S., SLOAN, P., 2016. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48-56
- SCHROEDER, P., ANGGRAENI, K., WEBER, U., 2018a. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23 (1), 77-95
- SCULPTEO, 2019. The State of 3D Printing. Disponibile su: <<https://www.statista.com/study/70266/3d-printing-market-insights-2019/>>
- SLACK, N., BRANDON-JONES, A., JOHNSTON, R., 2016. *Operations Management*. 8° ed. Londra: Pearson Education Limited. 253
- STAHEL, W. R., 2016. Circular economy. *Nature*, 531, 435-438
- SUNG, K., 2015. A Review on Upcycling: Current Body of Literature, Knowledge Gaps and a Way Forward. In: ed. 17. *International Conference on Environmental, Cultural, economic and Social Sustainability*. Venezia, 13-14/04/2015. 28

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2019. Global Resources Outlook 2019. Disponibile su <<https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>>

WORLD ECONOMIC FORUM, 2016. The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. Disponibile su: < <https://www.weforum.org/reports>>

WORLD ECONOMIC FORUM, 2019. Harnessing the Fourth Industrial Revolution for the Circular Economy: Consumer Electronic and Plastic Packaging. Disponibile su < <https://www.weforum.org/whitepapers/> >

WORLD ECONOMIC FORUM, 2020. 3D Printing: A Guide for Decision-Makers. Disponibile su: <<https://www.weforum.org/whitepapers/>>

ZHONG, S., PEARCE, J. M., 2018. Tightening the loop on the circular economy: Coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing. *Resources, Conservation & Recycling*, 128, 48-58