



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in
Advanced Design | Prodotto

FEETABLE: LA SCARPA COME SMART WEARABLE DEVICE ATTRAVERSO LA STAMPA 3D

Tesi di Laurea Magistrale in
Processi e sistemi di lavorazione per il prodotto industriale

Relatore:
PROF. MATTIA MELE

Candidato:
FABRIZIO PALADINI | 1094634

SESSIONE III
ANNO ACCADEMICO 2024/2025

ABSTRACT

Keywords: wearable devices, calzature, stampa 3D, circolarità, salute

Il mercato dei dispositivi indossabili sta attraversando un'importante fase di espansione e, allo stesso modo, la stampa 3D diventa sempre più un mezzo di sperimentazione ed accelerazione di innovazione.

È possibile combinare ed integrare queste tecnologie emergenti per creare prodotti innovativi, personalizzati e sostenibili migliorando la quotidianità delle persone?

Il presente lavoro di tesi esplora le potenzialità del mercato dei wearable devices ragionando su applicazioni ancora non avvenute o poco approfondite. Attraverso la ricerca, il focus di progettazione si è ristretto sul mercato delle calzature tradizionali e stampate in 3d.

Per esplorare le possibilità si è dapprima studiato il contesto, la letteratura e i casi studio, identificando così il brief del progetto nella volontà di progettazione di un nuovo dispositivo indossabile, in particolare una scarpa intelligente prodotta con metodo additivo FFF al fine di minimizzare i materiali impiegati e creare un prodotto sostenibile

nonché circolare.

Il risultato di questo lavoro è il concept di "Feetable", un marchio di produzione di scarpe intelligenti. Viene messo a punto un sistema di sensori utili alla lettura ed analisi dei dati cinetici prodotti dai piedi durante la camminata ed un processo di stampa additiva che permette la realizzazione di tale scarpa (o wearable device). Si utilizza un solo materiale (TPU) e il kit di sensori ed elettronica viene inglobato al suo interno, senza l'uso di collanti e facendo sì che la scarpa sia costituita da una sola componente. Inoltre, Feetable si distingue per l'attenzione alla sostenibilità, prevedendo il recupero, il riciclo e la rigenerazione delle componenti, responsabilizzando l'utente attraverso un sistema win-to-win.

Il progetto apre la strada ad una nuova categoria di prodotti per il mercato dei wearable devices, grazie ad una innovativa combinazione tra le tecnologie di stampa additiva e le possibilità di aumento della qualità di vita che il mondo degli indossabili offre.

INDICE

01

INTRODUZIONE

1.1	Tecnologie additive e i wearable devices	2
1.2	Stampa 3D, scarpe e elettronica	6
1.3	Riciclabilità della scarpa	9
1.4	Introduzione al lavoro	12

03

SVILUPPO DEL PROGETTO

3.1	Specifiche di progetto e definizione concept	34
3.2	Studio del processo	42
3.3	Progettazione circolare per la sostenibilità	53
3.4	Dal concept al prodotto	58
3.5	Feetable 1 by Trittico	62
3.6	Brand identity	67
3.7	Customer onboarding e user experience	81
3.8	Gestione del rifiuto e sviluppo sostenibile	89
3.9	Carattere innovativo	92

02

AMBITO DI PROGETTO

2.1	Il contesto dei wearable devices	14
2.2	Wearable devices ed utenti	17
2.3	Scarpe come wearable devices	19
2.4	Il processo: Fused Deposition Modelling	25
2.5	Deduzioni e brief di progetto	29

04

CONCLUSIONI

4.1	Risultati ottenuti, criticità e sviluppi futuri	95
-----	---	----

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Tecnologie additive ed i wearable devices

“Con l’espressione tecnologie additive (Additive manufacturing, AM) ci si riferisce qui all’insieme dei processi di trasformazione volti all’ottenimento del volume ed della geometria del componente tramite l’aggiunta progressiva di materiale in assenza di stampi” (Mele e Campana, 2021).

La stampa 3d è quindi un processo volto alla produzione di oggetti che negli ultimi anni ha cambiato le regole del gioco, in quanto tale paradigma risulta essere drasticamente diverso dai “processi tradizionali” da sempre utilizzati per la produzione di oggetti che, al contrario, avviene per sottrazione di materiale. Ne consegue che le possibilità offerte da questo tipo di tecnologia per quanto riguarda la possibilità di creazione di geometrie più o meno complesse sia più ampia rispetto al metodo sottrattivo, lasciando aperte numerose possibilità di sperimentazioni sul processo stesso.

Le origini di questa tecnologia risalgono ai primi anni '80, periodo in cui iniziarono ad essere valutate nuove strategie di produzione di oggetti, senza tuttavia trovare, per molto tempo, alcuna applicazione a livello industriale tranne che nella produzione di microchip (Savini e Savini, 2015). Il primo evento significativo da cui si può convenzionalmente far partire la storia della stampa 3d è sicuramente la registrazione di un brevetto da parte di Charles Hull nel 1983 riguardo la stereolitografia (SLA), un processo basato sulla fotopolimerizzazione di materiale polimerico contenuto all’interno di una vasca. Per molti anni l’applicazione di questi processi è rimasta limitata a pochi campi e non ha conosciuto né grande espansione di mercato né forte crescita tecnologica, principalmente a causa dei brevetti e dei costi delle macchine. Le applicazioni principali viste fino ai primi anni 2000 riguardavano per lo più la prototipazione

dei prodotti (da qui anche l'appellativo "prototipazione rapida") fin quando, nel 2006, presso la Cornell University in USA, fu prodotta la stampante "Fab@Home": il primo esempio di stampante open source sia hardware che software che aveva l'obiettivo di passare da una produzione industriale ad una casalinga e democraticizzare il settore dell'additive manufacturing. In aggiunta a ciò, nello stesso periodo venne promossa, tramite il Massachusetts Institute of Technology, la creazione di una rete di "FabLabs": luoghi provvisti di macchine ad uso comune ed ospitanti communities di cosiddetti "Makers" ovvero hobbisti ed appassionati di auto fabbricazione, che negli anni contribuiranno molto alla diffusione della stampa 3d a livello casalingo ed hobbistico (Savini e Savini, 2015). A partire dalla SLA di Hull, nuovi processi di stampa additiva verranno pian piano messi a punto da diversi produttori come Stratasys, società

fondata da Scott e Lisa Crump a seguito del perfezionamento della tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) nel 1991 (Grimm, 2004) e che ad oggi è la più diffusa a livello casalingo. Tale tecnologia prevede la deposizione strato dopo strato, tramite un estrusore con ugello, di materiale polimerico fuso, fino a creare la geometria voluta.

Con il graduale decadimento di tutti i brevetti registrati tra gli anni '80 e '00, la stampa 3d è andata diffondendosi sempre di più sia a livello domestico che industriale, crescendo di popolarità per il suo aspetto innovativo e le sue possibilità di superare vincoli ritenuti insuperabili fino a prima della sua nascita. "Preme tuttavia sottolineare da subito come questo non significa, come è stato colpevolmente lasciato pensare da una certa corrente di marketing, che queste tecnologie siano prive di vincoli, bensì ne introducono



di nuovi che devono pertanto essere opportunamente compresi e gestiti durante la progettazione” (Mele, Campana. 2021).

La prima volta che il concetto di “tecnologia indossabile” è stato proposto risale al 1960, grazie al professor Edward O Thorp. “Da allora, la tecnologia indossabile ha ricevuto notevole attenzione dai ricercatori di tutto il mondo. Negli ultimi anni, con lo sviluppo di internet, hardware intelligenti e big data, la tecnologia indossabile si è sviluppata rapidamente in vari ambiti come health care, istruzione e cultura, social networking e in ambito militare” (Lu et al., 2020). La tecnologia indossabile è quindi costituita da una serie di dispositivi elettronici che si indossano al fine di ottenere la rilevazione di alcuni dati o, semplicemente, per fornire una connettività aumentata con altri nostri dispositivi, come fanno ad esempio gli smartwatches. Gli indossabili quindi possono essere considerati quali prodotti che “sostituiscono” il classico accessorio di moda (orologio, bracciale) o anche

dispositivi progettati appositamente per determinati scopi in determinate situazioni (bande toraciche). In generale possiamo trovare sul mercato dispositivi progettati per quasi tutte le parti del corpo e che possono essere divisi in 3 categorie: dispositivi per gli arti, per la testa e per torso. “Negli ultimi anni, il rapido evolvere della tecnologia dei materiali e dei sensori ha facilitato la manifattura di prodotti elettronici incorporati in tessuti che possono essere usati in vari ambiti biomedici” (Lu et al., 2020).

È dunque da queste premesse, tecnologia FDM ed opportunità dei dispositivi indossabili, che questa tesi prende spunto per la sua ricerca, atta di fatto a studiare il processo di deposizione di filamento fuso per applicarlo alla produzione di una nuova applicazione di un wearable device, una scarpa intelligente (smart shoe) dotata di componenti elettronici

integrati durante il processo di stampa e, attraverso un servizio di supporto, promotrice di comportamenti virtuosi rispetto alla questione ambientale.

1.2 Stampa 3d, scarpe ed elettronica

L'applicazione della tecnologia additiva per la stampa di scarpe è una pratica che guadagna sempre più interesse sia nella ricerca che nel mercato. Se in una prima fase la stampa 3d veniva utilizzata solo come mezzo per la produzione di componenti da inserire all'interno delle calzature (e in generale di articoli fashion), oggi sempre più prende spazio la stampa delle scarpe nella loro interezza con metodo additivo.

In particolare, per la stampa completa della scarpa, le prime sperimentazioni effettuate hanno riscontrato problemi legati alla tecnologia poiché i materiali disponibili erano ancora pochi, rigidi e poco prestanti ed il costo delle stampanti era relativamente elevato. Tuttavia, il lavoro degli early adopters di questo mercato è stato fondamentale affinché pian piano si riuscisse ad ottenere risultati qualitativi tali da generare impatti positivi, costituendo

quindi le basi per gli sviluppi futuri e la diffusione nel mercato. Un passaggio fondamentale nella diffusione delle scarpe stampate in 3d è stata l'introduzione del TPU (poliuretano termoplastico) come filamento per le stampanti 3d, in quanto flessibile e resistente. Il TPU ha permesso di aumentare le sperimentazioni sulle stampe ed arrivare a prodotti finiti in grado di competere con le scarpe prodotte in maniera tradizionale. È in questa fase che alcuni degli attori più forti sul mercato come Adidas e Nike hanno iniziato a proporre linee e modelli basati sulla stampa 3d. Adidas, per esempio, lancia nel 2017 la sua linea "Futurecraft 4D" in cui le intersuole sono create con processo additivo; è così che l'idea di indossare una scarpa stampata in 3d inizia a divenire man mano sempre più diffusa ed accettata. Sull'onda dell'interesse verso la possibilità di produrre scarpe stampate in 3d si è attivata Zellerfeld, una start-up

formata nel 2015 da due studenti tedeschi e che a gennaio 2024 è ufficialmente sbarcata sul mercato di massa, dopo una fase di beta testing. Durante la fase di test, l'azienda ha stampato ben 10.000 paia di scarpe su ordinazione di chi aveva aderito al programma beta e questo conferma come l'idea di indossare una scarpa stampata in 3d stia riscontrando molto successo ed interesse. In un'intervista il fondatore di Zellerfeld dichiara che la loro azienda permetterà di rendere di nuovo appetibile il mercato delle scarpe contribuendo alla sperimentazione del prodotto ed innovando in maniera sostenibile (Garner. 2024).

Uno degli aspetti più interessanti che la letteratura approfondisce sempre di più negli ultimi anni è quello delle smart shoes, ovvero scarpe intelligenti che seguono il concetto di wearable devices di cui sopra, diffusosi al pubblico di

massa solo grazie all'uscita sul mercato, circa intorno al 2014, dagli smartwatch e fitness trackers. Anche se al momento le "smart shoes non sono così comuni come altri dispositivi indossabili [...], con il continuo miglioramento dei sensori e delle tecnologie IOT, ci si aspetta che le scarpe con capacità intelligenti raggiungeranno la popolarità degli altri dispositivi" (Jianlin et al., 2024). Diversi sono i casi studio presenti in letteratura su come una scarpa possa diventare "smart" e su quali possano essere le sue applicazioni nella vita quotidiana; la maggior parte degli studi si preoccupa però di creare dispositivi esterni rispetto alla scarpa oppure solette intelligenti da sostituire a quella del produttore, inserendovi all'interno sensori di vario tipo in modo da raccogliere dati che saranno elaborati da un algoritmo. È il caso di "Lechal", una soletta intelligente prodotta da Ducere, una società indiana, dotata di

sensori di diverso tipo ed una batteria per l'alimentazione. Essa va inserita all'interno della scarpa al posto della soletta del produttore e così inizierà la registrazione dei dati, che verranno restituiti all'utente tramite applicazione mobile (Bhagat. 2017). Dal punto di vista dell'utilità queste funzioni offrono senz'altro interessanti applicazioni ma, al momento, il loro studio è legato dalla progettazione della scarpa che viene invece considerato come elemento di contesto e non focus di progetto. Sarebbe interessante invece, e come vedremo avanti nel capitolo sarà parte fondamentale della ricerca di questa tesi, integrare l'elettronica all'interno del processo 3d e rendere la scarpa un dispositivo autonomo sia dal punto di vista funzionale che tecnologico.

1.3 Riciclabilità della scarpa

Un approfondimento doveroso, atto a porre le basi della comprensione di un problema da evitare, va condotto sull'impatto ambientale delle calzature prodotte con metodo "tradizionale". L'industria calzaturiera, infatti, è responsabile di una grossa quantità del totale dei rifiuti prodotti a livello domestico sia a causa della quantità di scarpe pro capite che per la complessità del prodotto in sé. Rahimifard e Staikos (2007) stimano che il consumo di scarpe, a partire dagli anni '50, sia raddoppiato circa ogni 20 anni raggiungendo 20 miliardi di paia di scarpe acquistate e consumate al 2010 ed una quantità di paia pro capite all'anno consumate pari a 2,6 (dato fortemente aumentato rispetto a quello degli anni '50 di 1 paio a persona). Inoltre, Van Rensburg et al (2020) stimano che la quantità di materiali coinvolti nella produzione di una scarpa arrivi ad una media di 40 (i più diffusi la gomma naturale, i materiali

sintetici, tessuti e pelli), numeri altissimi e che fanno comprendere come la scarpa sia, in termini di prodotto e di processo, un accessorio con un alto impatto ambientale. Il report "Measuring fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study" (Quantis, 2018) analizza gli impatti dei prodotti calzaturieri (dal prelievo della materia prima al prodotto finito) secondo i seguenti indicatori: cambiamenti climatici, prelievo di acqua dolce, salute umana, risorse e qualità degli ecosistemi. Dallo studio si evince che le scarpe in pelle, nonostante costituiscano solo il 25% della produzione generale, sono responsabili di percentuali di impatto sui 5 indicatori che vanno dal 30% all'80% mentre quelle in materiali sintetici oscillano tra il 12% e 54%. I numeri ed i fatti appena descritti fanno capire come la gestione del rifiuto di questa industria sia effettivamente complicata. L'industria calzaturiera, basata su un

modello di consumo lineare, ha affrontato il problema della gestione dei rifiuti in maniera insufficiente considerando che solo pochi produttori hanno attivato iniziative volte alla diminuzione degli impatti. Le strategie possono essere di tipo reattivo o proattivo: con il primo approccio si lavora sul fine vita del prodotto e la sua gestione mentre con il secondo si cerca di ottimizzare materiali, processi e scarti già in fase di progettazione. Un esempio di attività reattiva è il riutilizzo e la distribuzione di scarpe usate o indesiderate nei paesi in via di sviluppo. Tuttavia, c'è un forte dibattito su tali attività di riutilizzo in termini di impatto ambientale complessivo e conseguenze economiche per le comunità locali; la ridistribuzione di prodotti di seconda mano nei paesi in via di sviluppo potrebbe causare danni economici netti alle economie locali a causa del "dumping" di scarpe usate a basso costo. Ad esempio,

in Uganda, l'importazione di un grande volume di scarpe di seconda mano negli ultimi anni ha ridotto significativamente le dimensioni dell'industria locale delle calzature (Staikos, Rahimifard. 2007). Al contrario, un approccio proattivo, quale l'approccio del design sistemico, può favorire il corretto smaltimento o, meglio ancora, il re-integro dei materiali arrivati a fine vita all'interno della filiera o di altre applicazioni, volto alla creazione di nuovo valore. Attraverso l'approccio sistemico, il settore calzaturiero potrebbe di fatto, coinvolgendo tanti e diversi attori (del sistema), prevedere già in fase di progettazione quale sarà il "comportamento" del rifiuto scarpa a fine vita operando su materiali facilmente disassemblabili e riciclabili e progettando il loro reintegro all'interno della filiera per ottenere poi nuovi prodotti. L'attuale modello basato su un approccio lineare prevede che il prodotto, una volta arrivato

a fine del ciclo d'uso sia anche arrivato a fine del ciclo vita, divenendo rifiuto e non valutando possibilità di riciclo e reintegro dello stesso o dei materiali che lo compongono. Il design ed i designer, in quanto progettisti, svolgono un ruolo fondamentale nella diffusione di approcci più sostenibili e salutari per il pianeta e l'eco-sistema tutto; la corretta progettazione delle cose è, in questo caso come in tutti gli altri, un aspetto fondamentale per il futuro.

1.4 Introduzione al lavoro

Da tutte queste premesse il presente lavoro prende forza e volontà per eseguire una ricerca sulla progettazione di una innovativa smart shoe che sia stampata in 3d, sostenibile e che preveda l'attivazione di pratiche virtuose per l'ambiente come il design circolare. La ricerca è motivata dall'interesse crescente verso i dispositivi indossabili e le sperimentazioni di produzione di calzature mediante stampa additiva nel settore della moda e nella letteratura. L'integrazione di un'elettronica studiata ad hoc, diversamente da quella presente sul mercato principalmente sotto forma di componenti esterne "parassite" alla scarpa (come l'esempio delle solette Lechal), consentirà il monitoraggio di vari dati, aumentando quindi le potenzialità funzionali di un prodotto, la scarpa, che segue il paradigma infinito del "è sempre stato fatto così".

L'ambizione, tramite le proprietà caratteristiche del processo di additive manufacturing ed uno studio attento

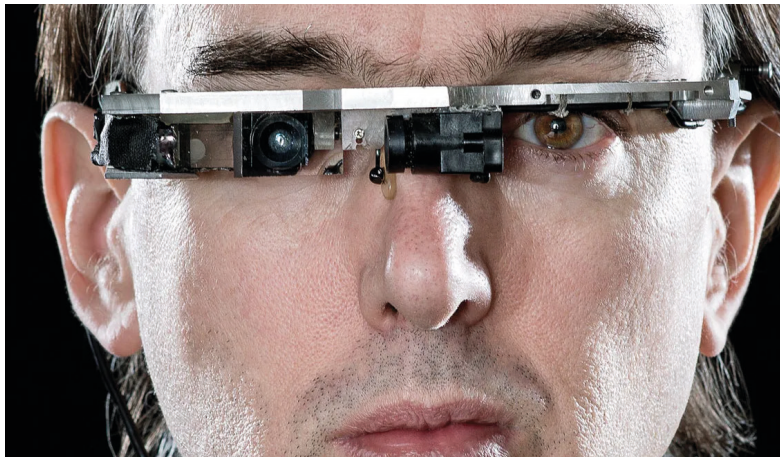
delle possibilità degli smart wearables, è quella di apportare un miglioramento significativo sulla fruibilità per gli utenti e sull'impatto ambientale delle calzature, potendo produrre in maniera personalizzata e limitando al minimo gli scarti. Un elemento fondamentale di questo progetto è la circolarità: sia le scarpe che l'elettronica, una volta raggiunta la fine del loro ciclo di vita, possono essere recuperate per essere riciclate riducendo così l'utilizzo di materiale vergine e, di conseguenza, l'impatto ambientale. Il modello proposto è quindi un modello innovativo di produzione di calzature che combina tecnologia, sostenibilità e personalizzazione attraverso l'utilizzo della stampa additiva ed un approccio di design circolare. L'obiettivo è aprire la strada a un nuovo tipo di dispositivo intelligente, una calzatura moderna, etica e capace di adattarsi alle esigenze individuali oltre che contribuire positivamente all'ambiente.

CAPITOLO 2

AMBITO DI PROGETTO

2.1 Il contesto dei wearable devices

La storia dei wearable devices (da qui WD) pone le sue radici negli anni '60 con la prima definizione fornita dal Professor Thorp. Successivamente Steve Mann, ingegnere ed inventore canadese, considerato da molti uno dei pionieri della tecnologia indossabile, inventa nel 1980 WearComp, un WD che permetteva di sovrapporre informazioni virtuali alla realtà fisica, anticipando in questo modo i concetti di AR e VR. Quattro anni dopo, nel 1984, Mann inventa EyeTap, il primo



esempio di sempre di smart glasses. Citando Baid (2023), possiamo definire la tecnologia indossabile come: “dispositivi elettronici che vengono indossati comodamente sul corpo dell’utente, integrati negli abiti, impiantati nella corporatura o persino tatuati sullo strato dermico della pelle. Questi dispositivi sono gadget che non richiedono l’utilizzo delle mani ma hanno usi pratici, alimentati da microprocessori e sono dotati della capacità di inviare e ricevere dati”. In generale l’uso di un WD inizia con l’utente che lo indossa, prosegue con i sensori che inviano dati ad un microprocessore, il quale a sua volta li elabora per inviarli ad uno smartphone che, connesso ad internet, sfrutta un’applicazione mobile per rendere fruibili i dati all’utente stesso.

Durante gli anni '90 e 2000, i wearable si sono evoluti rapidamente grazie ai progressi nella miniaturizzazione

delle componenti tecnologiche e nella connettività. Nel tempo questi dispositivi sono divenuti più accessibili al pubblico grazie all'introduzione di tipologie come



i fitness tracker e gli smartwatch, tra cui il Fitbit nel 2007 ed Apple Watch nel 2014, che hanno introdotto un nuovo modo di rapportarsi con sé stessi, le proprie capacità ed i propri dispositivi fornendo più consapevolezza sul personale stato di salute. Grazie ad essi l'interesse per la tecnologia indossabile nell'uso quotidiano è diventato sempre più alto, rendendo la stessa parte integrante anche in settori più complessi come quello della sanità e dello sport, oltre che della moda. Grazie a questi presupposti possiamo affermare che con tutta probabilità il mercato degli indossabili quindi continuerà a crescere; secondo il report di MarketsAndMarkets del 2022 infatti, il mercato delle tecnologie indossabili raggiungerà i 265.4 miliardi di dollari entro il 2026, notando come la percentuale di crescita tra il 2021 ed il 2026 sia prevista al 18%. Il progresso tecnologico fa sì che le componenti siano sempre più miniaturizzate e che le tecnologie

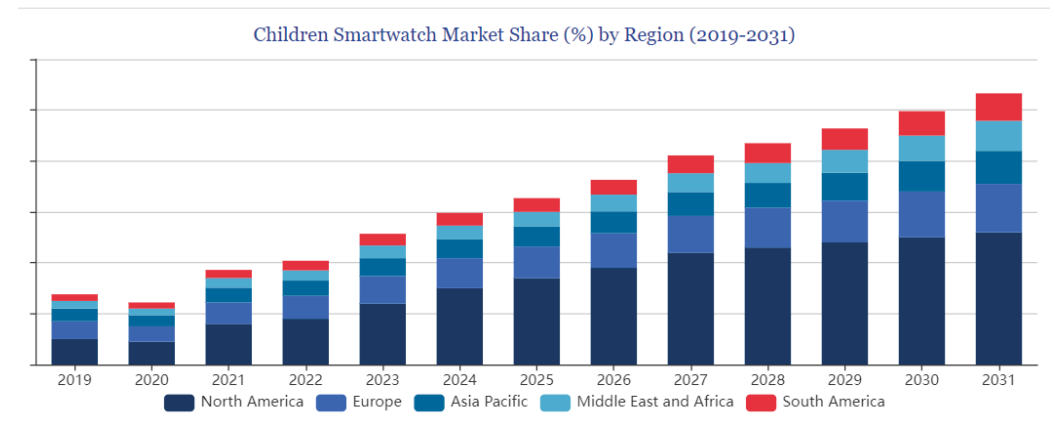
di produzione diventino sempre più compatibili: "saremo circondati da WD sin dal momento in cui lasceremo la nostra casa per dirigerci al lavoro" (Baid, 2023).

Il settore medico vede in questi dispositivi delle grosse potenzialità. Essi, infatti, oltre che accessori di moda o ausili per i propri obiettivi di sport, possono essere tranquillamente impiegati in ambito medico per il monitoraggio e la valutazione di determinati valori. Lu et al (2020) proprio in merito alle applicazioni in ambito medico, indicano che questo tipo di dispositivi ha 5 caratteristiche che ne possono fare uno standard di monitoraggio della salute, essi sono: mobilità in assenza di fili, interattività ed intelligenza, sostenibilità e durabilità, miniaturizzazione e semplicità, indossabilità e portabilità. Per queste ragioni questi dispositivi si propongono essere un valido aiuto per il potenziamento della nostra salute e della medicina.

2.2 Wearable devices ed utenti

Proprio grazie all'aumento della coscienza sulla nostra salute, sulle buone abitudini ed il miglioramento della connettività, il mercato accoglie sempre meglio questi dispositivi che ci permettono di monitorare valori che altrimenti non potremmo consultare, se non con apparecchiature specifiche ed in ambiente laboratoriale. Chong et al (2020) sottolineano, in uno studio sulla percezione dei consumatori nei confronti dei WD, come le persone trovino motivazione nel rimanere attivi impostando obiettivi proprio grazie a prodotti come Fitbit e, trascrivendo parte di una recensione post acquisto da loro riportata, "dal momento in cui diventi cosciente di ciò che stai facendo, sei spronato a migliorare e ad aggiungere più attività". Notando questa base di fiducia da parte dei consumatori nei confronti dei wearables, è importante potenziare costantemente l'efficacia e la qualità di questi prodotti. È doveroso

sottolineare come la misurazione per mezzo di wearables permette di uscire dal limite dell'ambiente di laboratorio e da attrezzature ingombranti ed "esterne" all'utente, permettendo invece una registrazione mobile, quotidiana e prolungata nel tempo. Ma il mercato degli indossabili non si rivolge solamente agli adulti. È interessante notare infatti, grazie ad un report di Sneha Mali (2024) per Cognitive Market Research, come il mercato di smartwatch per bambini, attuale e previsto, analizzato



a partire dall'anno 2019, sia in costante crescita in tutto il globo. Un altro studio di Mackintosh et al (2019) che viene condotto su un tempo di 4 settimane, osserva il rapporto dei bambini con un fitness tracker studiato per loro e, soprattutto, analizza l'accettazione di questo dispositivo da parte dei genitori. I risultati sono molto positivi e riportano una generale approvazione, da parte dei genitori, dell'uso di questi dispositivi come anche un'ottima accettazione da parte dei bambini stessi. In aggiunta si nota che i genitori prendono più coscienza relativamente alla salute dei figli, attivando ragionamenti su come aiutarli ad essere più attivi e si nota anche che, i bimbi stessi, vengono spronati dal dispositivo e dai suoi dati, ad essere più attivi. L'attivazione di questi comportamenti avviene anche grazie all'applicazione per smartphones di supporto che, si legge nello studio, viene consultata unitamente dal genitore

e dal figlio oppure direttamente dal genitore in autonomia. I bambini, dal loro punto di vista, indossano questi dispositivi sia per l'estetica, i colori, la forma e la bellezza in genere ma anche per la dinamica di competizione che viene attivata dai dati forniti dal dispositivo. I genitori invece, dal loro punto di vista, sono propensi all'accettazione dell'uso di questi dispositivi per i propri bambini perché, come sottolineano Mohammed e Redzuan (2020), percepiscono che la sicurezza dei figli sia migliorata e perché ne riconoscono l'utilità e la facilità d'uso, riponendone fiducia.

2.3 Scarpe come wearable devices

Il concetto di “scarpa intelligente” non è una novità riferibile al mercato odierno, ma ha radici storiche che risalgono a decenni fa. Già nel 1984, Adidas si mostrava visionaria con il lancio della “Micropacer”, una scarpa che includeva un piccolo computer progettato per calcolare passi e calorie. Questo prodotto, presentato in occasione delle Olimpiadi svoltesi a Los Angeles, rappresentava un’innovazione incredibile per l’epoca, forse troppo all’avanguardia rispetto alle capacità tecnologiche del tempo e alla predisposizione del mercato a recepire tali innovazioni. Un anno dopo, nel 1985, anche Puma tentò di entrare in questo mercato lanciando la linea “RS”, che montava un computer sul retro della scarpa per tracciare le attività. Come le concorrenti prodotte da Adidas, queste scarpe non riuscirono a trovare un vero riscontro commerciale. Un’azione leggermente diversa e con rischio commerciale



condiviso, vede Nike ed Apple nel 2006 proporre una soluzione innovativa con il lancio del “Nike + iPod”, una serie di scarpe appositamente progettata con alloggiamento per un dispositivo esterno, sotto la soletta, che aiutava a registrare la distanza dei passi e le calorie bruciate. Qui Nike adottava in collaborazione con Apple, un approccio diverso, rendendo

“smart” le scarpe attraverso un dispositivo esterno non ricaricabile; il progetto ebbe discreto successo e fu il primo a durare alcuni anni sul mercato, fino al 2014. È il



2016 quando Salted Venture, supportata da Samsung, propone il concept di “IOFIT” ovvero una scarpa intelligente destinata prima ad un target di nicchia con esigenze specifiche quali i golfisti, poi estesa ad un cluster più ampio di sportivi in genere. La scarpa, che avrebbe fornito un’analisi della postura e della performance con consigli sulle correzioni da adottare, viene proposta su kickstarter senza arrivare alla produzione industriale. Un anno dopo arriva Digitsole, che lancia anch’essa una campagna su Kickstarter per il suo progetto di “prime sneaker intelligenti” con funzioni avanzate come riscaldamento del piede, allacciamento automatico ed altre caratteristiche orientate alla salute; tuttavia, il progetto, pur avendo ricevuto 114.000 dollari dai donatori e superando anche il target prefissato, viene abbandonato nello stesso anno.

Fino agli ultimi anni '10 lo sviluppo di questo tipo di prodotti non ha conosciuto grande successo poiché da un lato la tecnologia è risultata spesso inadatta a garantire un'esperienza utente convincente e affidabile, dall'altro il mercato non è stato del tutto pronto ad accogliere dispositivi di questo tipo, con i consumatori che mostravano ancora una certa resistenza verso l'integrazione di tecnologia avanzata nelle scarpe.

Il primo esempio di scarpa con elettronica integrata presente sul mercato ancora oggi, lo abbiamo nel 2019, con Nike ed il lancio delle "Adapt BB", scarpe auto allaccianti con tecnologia integrata nell'intersuola; Puma segue Nike con il concept della linea "FI", anch'essa auto allacciante, che però resta solo un prototipo.

Nello stesso anno, il 2019, avviene il primo

lancio sul mercato da parte di una delle aziende che si rivelerà più attiva e dalla quale si evince maggiormente la voglia di creare una vera smart shoe: Under Armour propone sulla sua linea "Hovr" concept di scarpe per il running dotate di sensori in grado di fornire dati ai corridori tramite app. Nascono così i modelli "Machina 3" e "Velociti wind 2" di cui solo il primo ancora in vendita.

Si evince come i produttori del settore stiano provando da tempo a proporre delle vere e proprie smart shoes, ma solo a partire dall'anno 2019 ci sono stati risultati tangibili a livello di mercato. Analizzando gli ultimi 5 anni, quindi, usiamo come casi studio i prodotti di Under Armour "HOVR Machina 3" e BAL Inc. "Baliston by Starck". La prima è una scarpa da running specifica per il target dei corridori che contiene, sebbene il produttore non abbia lasciato dichiarazioni in merito, con

buona probabilità un modulo IMU (inertial measurement unit) nell'intersuola ed un modulo Bluetooth. La IMU è un dispositivo contenente un giroscopio ed un accelerometro a più assi, strumenti in grado di rilevare valori cinetici riguardo il movimento del piede e che, collegandosi via bluetooth allo smartphone, fornisce dati sulla cinematica della corsa. La relazione tra la scarpa e l'utente è mediata tramite un'applicazione di terzi, tale "MapMyRun", che fornisce indicazioni all'utente sulla propria andatura e consigli



per ottenere una performance migliore. Pur non essendo l'unico progetto proposto dall'azienda, Machina 3 è l'unico modello intelligente di Under Armour rimasto attivo sul mercato.

Il secondo caso, lanciato a maggio 2023, grazie al suo posizionamento di mercato si avvicina ancor di più gli obiettivi della presente tesi: una smart shoe sostenibile ed innovativa per un target ampio. Baliston By Starck è una tipica sneaker da passeggio progettata da BAL. Inc. in collaborazione con Philippe Starck e prodotta con soli 5 materiali bio-based; essa presenta al di sotto della soletta un alloggiamento in cui inserire una unità elettronica esterna, che registrerà determinati valori resi all'utente tramite un'applicazione proprietaria. Il concetto, quindi, non è né nuovo (si veda Nike + iPod), né propriamente definibile come "scarpa intelligente" ma, piuttosto, come

una scarpa “migliorata” per mezzo dell’elettronica. L’utente, che in questo caso è riferibile ad un target di mercato più ampio rispetto a Machina 3 (anche se le misure partono dalla 37 EU in su), avrà infatti a disposizione oltre al paio di scarpe, due capsule di plastica ed un caricatore magnetico: le capsule contengono i sensori utili ad analizzare la cinematica del piede ed andranno inserite nell’apposito alloggiamento al di sotto della soletta. I dati prodotti da questa unità elettronica



In basso a sx: Baliston By Starck. Fonte: baliston.com

saranno inviati tramite bluetooth all’applicazione proprietaria e resi fruibili all’utente. BAL Inc. prevede anche un piano premium, sottoscrivibile su base annuale, che apre l’utente ad alcuni vantaggi come ricevere gratuitamente una soletta personalizzata in base al suo piede grazie ai dati che la scarpa fornisce, una scarpa nuova gratuita quando la propria raggiunge il 20% di capacità di cushioning e la possibilità di accedere a dati più approfonditi sull’applicazione. Sebbene siano apprezzabili le dinamiche di circolarità attivate per mezzo della possibilità di restituzione e l’uso di materiali Bio-based e 100% riciclabili (anche se non vengono fornite indicazioni sullo smaltimento dell’elettronica), di fatto, senza il potenziamento delle capsule, ci troviamo davanti ad una normale scarpa da passeggio.

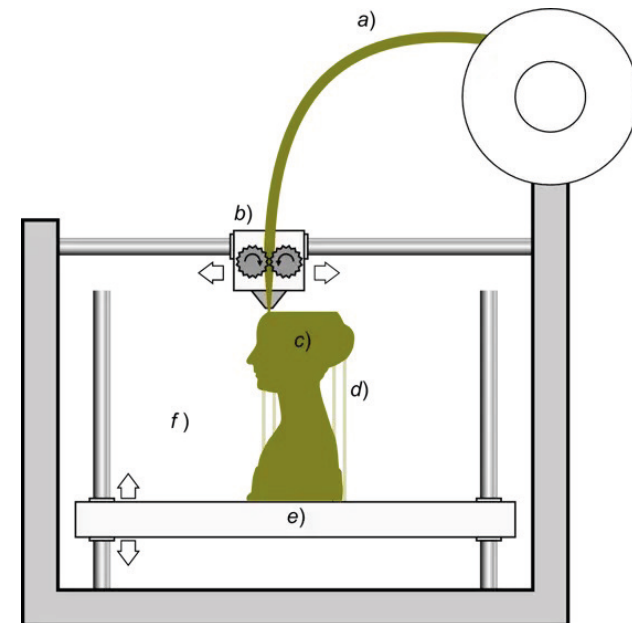
Questa carrellata di esempi mette

in luce come i progressi tecnologici e l'adozione sempre più diffusa dei dispositivi indossabili, testimoniata dal report precedentemente citato di MarketsAndMarkets, abbiano creato un contesto favorevole alla definitiva introduzione di questo tipo di wearable device sul mercato.

2.4 Il processo: Fused Deposition Modelling

Il processo scelto per lo sviluppo di questo prodotto fa parte dei metodi di produzione additiva ed in particolare della categoria FMD (Fused Deposition Modelling). Trattasi di un metodo di produzione che prevede la fusione di un materiale polimerico e la sua deposizione sul piatto di stampa, crescendo fino ad ottenere la geometria voluta. Più in particolare, trattasi di un metodo di deposizione puntuale di materiale pastoso che parte da un filamento, sottoscrivendolo quindi nella sottocategoria FFF (Fused Filament Fabrication). Si parte da una bobina che alimenta il filamento all'interno dell'estrusore il quale è costituito da una carcassa che guida il filamento attraverso due ruote spingendolo verso l'ugello di estrusione. Prima dell'ugello è presente una resistenza che genera calore per fondere il materiale ma, prima ancora di essa, dovendo fondere solo il tratto finale del filamento, è presente un dissipatore

posizionato tra le ruote e la resistenza per limitare la diffusione di calore. A questo punto il materiale viene depositato strato per strato e, poiché l'estruso è ancora morbido e potrebbe perdere precisione, viene utilizzata una ventola di raffreddamento per accelerarne la solidificazione.



Il processo FFF prevede due tipi di estrusioni:

- estrusione diretta: le ruote sono integrate nell'estrusore, il che riduce la distanza tra la spinta e l'ugello, ma rende l'estrusore più pesante
- estrusione Bowden: le ruote sono ancorate al telaio della macchina, riducendo il peso dell'estrusore ma aumentando la distanza che il filamento deve percorrere per raggiungere l'ugello, limitando i materiali utilizzabili

Un'ulteriore distinzione possibile tra le stampanti può essere fatta in base alla loro "architettura", che può essere:

- piatto mobile in Z: l'estrusore si muove sugli assi X e Y, mentre il piatto si sposta in Z
- architettura a portale: l'estrusore si

muove sugli assi X e Z, mentre il piatto si muove in Y

- architettura Delta: l'estrusore si muove in qualsiasi direzione grazie a tre guide lineari poste su tre assi diretti in Z.

Un problema comune nella stampa FFF è l'adesione del pezzo alla piattaforma, poiché durante il raffreddamento si generano tensioni che possono staccare il pezzo. Per evitare questo fenomeno si potrebbero utilizzare piattaforme di stampa riscaldate, che mantengono il pezzo caldo e riducono il rischio di distacchi, oppure geometrie ausiliarie come:

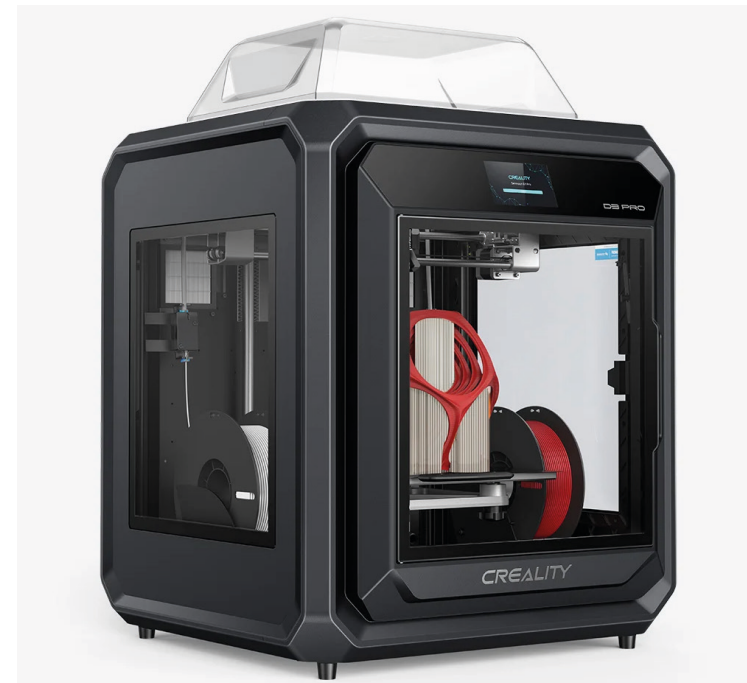
- Raft: una zattera sotto la geometria desiderata
- Brim: materiale che circonda il pezzo

Queste soluzioni migliorano l'adesione alla piattaforma, ma bisogna considerare

anche i gradienti termici tra i layer (differenze termiche tra il materiale deposto e quello in deposizione) che possono rimanere critici, motivo per cui in alcuni casi è utile riscaldare l'intera area di stampa. Importante impostare poi l'altezza del layer inferiore al diametro dell'ugello, al contrario della larghezza della traccia depositata che deve essere maggiore del diametro dell'ugello per garantire un buon legame con il layer precedente.

La macchina di stampa FFF scelta per questa ricerca è la Creality Sermoon D3 Pro, dotata di un'architettura con piatto mobile in Z, piatto e camera riscaldati che riduce le variazioni di temperatura nell'area di stampa. L'architettura in Z riduce le vibrazioni durante la stampa, migliorando la qualità dei dettagli, particolarmente importante per ottenere superfici lisce e contorni definiti

nelle scarpe. Uno dei punti di forza di questa stampante è il doppio estrusore indipendente (IDEX - Independent Dual Extruder), che consente l'utilizzo simultaneo di due materiali, di cui uno, generalmente, di supporto. L'estrusione è di tipo direct drive, il che significa che



il filamento viene spinto direttamente nell'ugello, offrendo un controllo più preciso sul materiale, fondamentale per lavorare con filamenti elastici come il TPU, materiale generalmente usato nella produzione di prodotti wearable.

2.5 Deduzioni e Brief di progetto

La ricerca e le osservazioni portate avanti nel corso di questo capitolo per quanto riguarda il mercato dei WD ed i loro utenti, confermano le ipotesi secondo le quali un nuovo dispositivo di questo tipo, che sia innovativo nel processo e nell'esperienza utente, ha senso di essere progettato e trova elementi di un terreno fertile per la riuscita della sua diffusione. Tuttavia, per completare la definizione del contesto di progettazione occorre porsi domande riguardo alla reale efficacia di questi dispositivi.

L'analisi del passo di una persona è uno strumento spesso sottovalutato ma in realtà molto potente, che può essere utile in diversi ambiti medici. Purtroppo, questo tipo di misurazione è quasi sempre limitato alla ricerca scientifica o ad analisi laboratoriali a causa degli spazi, ambienti e costi che essa richiede; sebbene alcuni tipi di misurazione prevedano già oggi

l'utilizzo di dispositivi indossabili, si tratta comunque di apparecchi medici costosi e che si agganciano "esternamente" all'utente creando intralcio anche nei movimenti (Braun, 2015). Ai dubbi naturali sull'affidabilità dei wearable devices commerciali, corre in risposta una ricerca di Blazey et al (2021) che studia diversi dispositivi per il tracciamento dell'attività fisica sul piede trovando errori molto bassi dell'ordine del 2 o 3%. Nello studio di Koska et al. (2018), confrontando i risultati di un dispositivo indossabile con una telecamera "gold standard", si nota che gli errori aumentano nel momento in cui questi dispositivi si applicano ad atleti corridori, ma per quanto riguarda uno stile di camminata quotidiano da passeggio, l'affidabilità dei dati è estremamente alta e, soprattutto, questi risultano molto utili se interpretati in ottica di prevenzione di patologie ed infortuni agli arti. Alcuni degli aspetti che si possono

appurare da un'analisi del passo, infatti, sono per esempio: uso [sfruttamento] delle articolazioni, attivazioni muscolari ed anche il consumo energetico (della camminata, ndr) (Lee, 2001). La semplice attività del passeggio, valutata qui tramite la quantità di passi giornalieri, risulta molto utile nella riduzione delle cause di mortalità generale. Da uno studio incrociato su 15 pubblicazioni svolto da Paluch et al (2022), risulta che per la fascia di età superiore a 60 anni basterebbero 6.000 – 8.000 passi al giorno per ridurre i rischi medici; per la fascia più giovane, invece, lo studio evidenzia beneficio con un'attività giornaliera che va dagli 8.000 ai 10.000 passi. La letteratura fin qui analizzata si riferisce ad una platea adulta nella quale il piede risulta già formato, ma se ci rivolgiamo ai più piccoli allora bisogna cambiare punto di vista e considerare lo sviluppo del piede in età evolutiva. Per quanto riguarda questo

target, Bosh et al (2010), conducendo uno studio longitudinale su un periodo di nove anni e seguendo la crescita di bambini dal primo anno di camminata autonoma fino al decimo anno di vita, hanno creato un database di valori utili a comprendere se il piede di un infante stia seguendo una crescita fisiologica o patologica. Essi hanno suddiviso il piede in cinque aree: retropiede, mesopiede, avampiede, alluce e dita. In queste specifiche aree si possono osservare, lungo i 9 anni di crescita della popolazione infantile, fasi di cambiamento sia morfologico che di utilizzo. L'uso del piede osserva in particolare un cambiamento, nel tempo, nei punti in cui i bambini applicano picchi di forza durante la camminata. Questo risulta essere un valore molto importante per l'utilità di un dispositivo indossabile quale una scarpa intelligente che, nel caso di questa tesi, troverà ora una distinzione tra il target infantile ed il target adulto.

In sintesi, si può affermare che motivazioni concrete derivanti sia dalla ricerca scientifica che di mercato, supportano la volontà di creazione di un nuovo dispositivo indossabile, una scarpa in questo caso, che possa innovare differenziandosi dallo stato dell'arte. Come detto in precedenza, i prodotti simili ad oggi acquistabili sono: Under Armour HOVR e Baliston by Starck. La prima si rivolge a corridori con media – alta esperienza fornendo dati sulla cinetica del piede in merito all'attività di corsa; la seconda si rivolge ad un pubblico più ampio ed è studiata per la quotidianità, fornendo dati simili e con attenzione alla circolarità del prodotto che è costituito da soli cinque materiali diversi. Lo sviluppo del concept dovrà quindi tener conto di queste caratteristiche per potersene differenziare.

Definiamo così il brief di progetto:
studio dei dispositivi indossabili elettronici

(smart wearables) e del loro scenario al fine di creare un prodotto allo stesso modo indossabile ma che si rapporti in maniera nuova e migliorata con l'utente, aumentandone le potenzialità funzionali, tecnologiche e la sostenibilità. L'attenzione è rivolta particolarmente agli arti inferiori e, tra gli obiettivi, è importante sottolineare quello di non voler semplicemente “immettere” un nuovo prodotto nel mercato ma piuttosto innovare ed attivare, grazie al processo ed all'output finale, comportamenti virtuosi sia da parte del produttore che degli utenti.

CAPITOLO 3

SVILUPPO DEL PROGETTO

3.1 Specifiche di progetto e definizione concept

Attraverso i capitoli precedenti si è ricostruita l'evoluzione storica, tecnica e commerciale dei dispositivi indossabili, ponendo man mano l'attenzione sulle scarpe. Nello specifico delle calzature si è analizzato i casi studio di Under Armour e BAL. Inc., e si è validata l'affidabilità di dispositivi di questo tipo attraverso lo studio di fonti accreditate. Lo scenario è chiaro e definito e permette ora, partendo dal contesto dei wearable devices, di stringere maggiormente il focus del presente lavoro affermando che ci si concentra sulla produzione di una innovativa smart shoe stampata in 3D. A supporto di questa scelta, si fa riferimento anche ai design trends del 2024, identificati da Mougnot (2023) per Dienamics e citati anche dalla World Design Organization in un post Instagram, nei quali si afferma che “nel 2024, i designer industriali continueranno ad esplorare modi di integrare tecnologie

intelligenti inglobate nei prodotti. Dalle applicazioni riguardo la casa intelligente alla tecnologia indossabile la sfida del design sarà di creare prodotti con funzioni intelligenti mantenendo un'apparenza user-friendly ed elegante. [...] Possiamo aspettarci di vedere più prodotti personalizzati che intervengono sulle preferenze individuali. Da oggetti di fashion personalizzati a decorazioni casalinghe su misura, la stampa 3D permetterà maggiore flessibilità e creatività”.

Una revisione sul design e le applicazioni di prodotti indossabili condotta da Minaoglou et al. (2024), analizza 161 studi, suddividendoli in otto categorie principali: tecnologie di stampa 3D, antropometria, progettazione computazionale, cinematica del corpo umano, calzature, salute e sicurezza, tessuti intelligenti e atletica. A queste sottocategorie vengono associate delle parole chiave con le quali

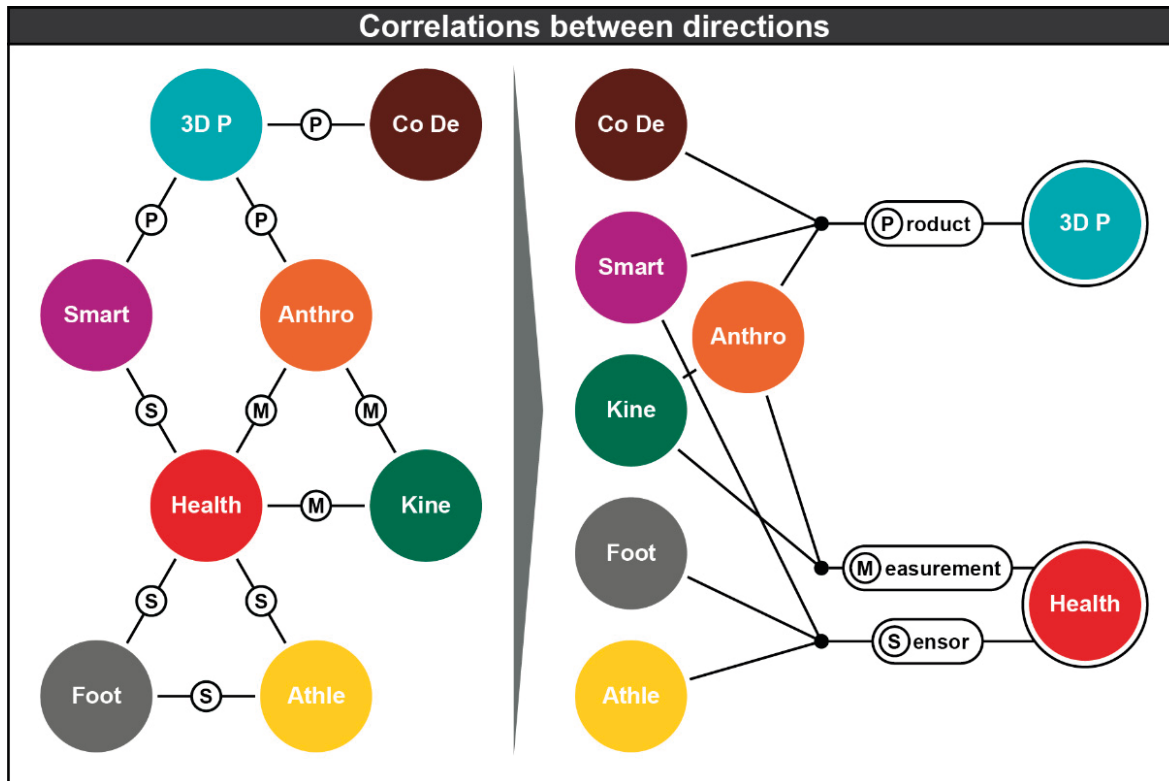
viene etichettato ogni studio, atte a identificarne l'obiettivo o il tema principale; incrociando questi elementi gli autori si propongono di individuare tendenze e lacune nella ricerca e di evidenziare le connessioni tra le diverse aree di studio. Possiamo esaminare la Tab.11 presente nella suddetta pubblicazione che ci indica come le parole chiave "sensori" e "sistema di sensori" trovino numerosi riscontri, rispetto agli altri incroci, con 4 elementi che oltretutto sono oggetto di

studio della presente tesi: salute, piedi, smart e stampa 3d.

Gli autori successivamente, attraverso la Fig. 5 presente nella pubblicazione, propongono una sintesi del "mezzo" (prodotto, sensori, misurazione) attraverso cui le otto categorie sono collegate (Lato sx dell'immagine) ed elaborano questi collegamenti per suggerire opportunità di ricerca (lato dx); si evidenzia qui come i "mezzi" prodotto e sensori creino collegamenti incrociati con: piedi, smart, stampa 3D e salute.

Table 11. The connection of the categories with the keywords that emerged.

Key Words	3D P	Anthro	Co De	Kine	Foot	Health	Smart	Athle
3D pattern	1		1		1			
3D/4D printing	5	1	3					
Auxiliary tool	2	5	7	11		7		1
Body measurement		7	6					
Measurement optimization	1	4			1			
Metamaterial	1				1			
Parametric design	1		4					
Robotic technology		1		7				1
Sensor	6	5				7	14	10
Sensor system		1		1	11	13		8
Triboelectric	2				2	2	1	



In ragione a quanto analizzato sin qui si prevede che la calzatura oggetto del presente lavoro abbia, inglobate al suo interno, sensori e componenti elettroniche che possano renderla intelligente e connessa con l'utente. La scelta di rendere le componenti inglobate nella scarpa è motivata anzitutto da una funzionalità migliorata, in quanto in questo modo la calzatura sarà progettata per far sì che esse siano parte integrante della stessa, poi dalla volontà di renderle del tutto sicure nei confronti di polvere, umidità e acqua ed infine, oltre questo, ne beneficia il comfort della persona che indossa la calzatura, dato che non vi saranno nella suola aggiunte o parti vuote (come visto nei casi studio), che rischiano di creare deformazioni sotto il peso costante della persona.

In ragione a quanto analizzato sin qui si prevede che la calzatura oggetto del

presente lavoro abbia, inglobate al suo interno, sensori e componenti elettroniche che possano renderla intelligente e connessa con l'utente. La scelta di rendere le componenti inglobate nella scarpa è motivata anzitutto da una funzionalità migliorata, in quanto in questo modo la calzatura sarà progettata per far sì che esse siano parte integrante della stessa, poi dalla volontà di renderle del tutto sicure nei confronti di polvere, umidità e acqua ed infine, oltre questo, ne beneficia il comfort della persona che indossa la calzatura, dato che non vi saranno nella suola aggiunte o parti vuote (come visto nei casi studio), che rischiano di creare deformazioni sotto il peso costante della persona.

Occorre ora condurre uno studio riguardo queste componenti, capirne l'utilità, le funzioni, la fattibilità e la compatibilità tecnica con il proposito appena enunciato.

All'interno della revisione appena citata, vi si trova un esempio, utile a questa tesi, di progettazione di un dispositivo medico per l'analisi della postura del piede durante la deambulazione che sia indossabile e che non interferisca con la camminata dell'utente, prodotto da Pineda-Gutierrez et al. (2019). Per questo tipo di analisi gli autori posizionano una serie di sensori di pressione all'interno dell'intersuola di una scarpa in quanto, oltre all'analisi dinamica della cinetica del piede di cui si è parlato nel capitolo precedente, lo studio della mappa di pressione risultante dalla nostra camminata è un altro potente indicatore che permette di prevenire patologie e lesioni; in questo modo i dati risultano accurati e la deambulazione del paziente non subisce interferenza.

Analizzando le informazioni ottenute fin qui, si procede ora alla precisa definizione del tipo di sensori, e dell'elettronica in

genere, da integrare nella smart shoe. Sono state selezionate componenti elettroniche in grado di fornire una gamma completa di dati utili per il monitoraggio dell'attività fisica e del comportamento motorio dell'utente; di seguito si illustra in dettaglio il componente scelto ed il ruolo di ciascuno, motivando le ragioni della scelta:

- **Sensori di pressione:** misurano il carico esercitato dal piede; la combinazione di sei di essi permetterà di ottenere una mappa di pressione utile sia per la consultazione dell'utente stesso che per una eventuale valutazione medica. Si scelgono sensori resistivi in film di PVDF (polivinilidene fluoruro) di forma rotonda, hanno costi e consumo energetico ridotto, adatti nelle dimensioni ad essere impiegati nella calzatura; modello SEN024 di DFRobot

- **Unità di misurazione inerziale (IMU):** misura accelerazione e rotazione attraverso un giroscopio a 3 assi ed un accelerometro a 3 assi, utile ad analizzare velocità, passo, pronazione e supinazione. Si sceglie una unità IMU che contenga i 6 assi di registrazione e che abbia un consumo energetico basso; si sceglie il modello BMI323 di Bosch

- **GPS:** fornendo dati sulla posizione, sarà utile per avere un tracciamento dei percorsi fatti e dell'attività fisica; si sceglie il modello GM10Nano di Goku, per la sua compattezza

- **Microprocessore (MCU):** gestisce l'elaborazione dei dati forniti dai diversi sensori e la comunicazione con altri dispositivi tramite il bluetooth; si sceglie il modello ESP32 SoCs prodotto da Espressif in quanto a basso consumo e con una memoria sufficiente per il processamento

dei dati prodotti, risulta ideale per un dispositivo indossabile

- **Batteria:** tipologia Li-Po con capacità da 1500 mAh, scelta per il suo equilibrio tra capacità e dimensioni contenute, fornendo un'autonomia di circa 4 giorni (considerando una media di 7.500 passi al giorno, corrispondenti a circa 90 minuti di camminata); si sceglie il modello LP503069 prodotto da LiPol Batteries
- **Modulo di ricarica wireless:** al fine di mantenere intatta l'impermeabilità intrinseca del concetto di smart shoe con elettronica inglobata, si sceglie un metodo di ricarica wireless attraverso un ricevitore in rame con output da 500mAh, posizionato al di sopra della batteria ed abbinato ad un foglio di ferrite per evitare interferenze tra le due componenti. Attivo fino ad una distanza di 8mm, renderà la

batteria carica in circa 3 ore.

Mentre i sensori di pressione avranno posizioni precise ed obbligate all'interno dell'area descritta al fine di fornire un mapping completo ed accurato, le altre componenti saranno posizionate in corrispondenza dell'arco plantare, zona che concede più spazio. Due schede elettroniche PCB si troveranno all'interno dell'intersuola: una per IMU e GPS e l'altra per la MCU. Esse, collegate tra loro e agli altri componenti della scarpa tramite il protocollo di comunicazione I2C che prevede cablaggi limitati, permetteranno la comunicazione ed il funzionamento del sistema. Per stimare il consumo energetico complessivo della scarpa e calcolarne l'autonomia, sono stati analizzati i consumi di ciascuna componente in base alla durata d'uso e alle specifiche tecniche:

- Sensori di pressione: questi sensori hanno un consumo limitato, poiché sono attivati per brevi periodi durante ogni passo, con una durata di due minuti di registrazione attiva all'ora. Assumendo un consumo medio stimato di 0.1 mA per sensore in funzione, l'apporto complessivo di questi sei sensori rimane minimo, contribuendo marginalmente al consumo complessivo.

- MCU: elemento principale per la gestione dei dati, ha un consumo in modalità attiva di circa 240 mA in trasmissione e 80 mA in stato di stand-by. Poiché non sarà costantemente attiva, si stima un consumo medio ponderato attorno a 120 mA, con l'utilizzo di protocolli di risparmio energetico per limitare il tempo di trasmissione.

- GPS: il modulo GPS ha un consumo di circa 50 mA, ma viene attivato solo

periodicamente per limitare l'impatto sulla batteria. Assumendo che il GPS funzioni per il 30% del tempo totale di attività, contribuisce con un consumo medio di 15 mA

- IMU: questa unità registra dati di accelerazione e rotazione in modo continuo, contribuendo con circa 1 mA al consumo, dato il suo basso assorbimento energetico.

Sommando questi dati otteniamo che il consumo totale stimato dell'elettronica contenuta nella smart shoe sia di 136.6 mA/h.

Ricapitolando, in questa prima fase di ipotesi si prefigura il concept di una scarpa intelligente che permetterà all'utente di analizzare il proprio stile di camminata sia da punto di vista del singolo piede, analizzando il modo in cui lo muove,

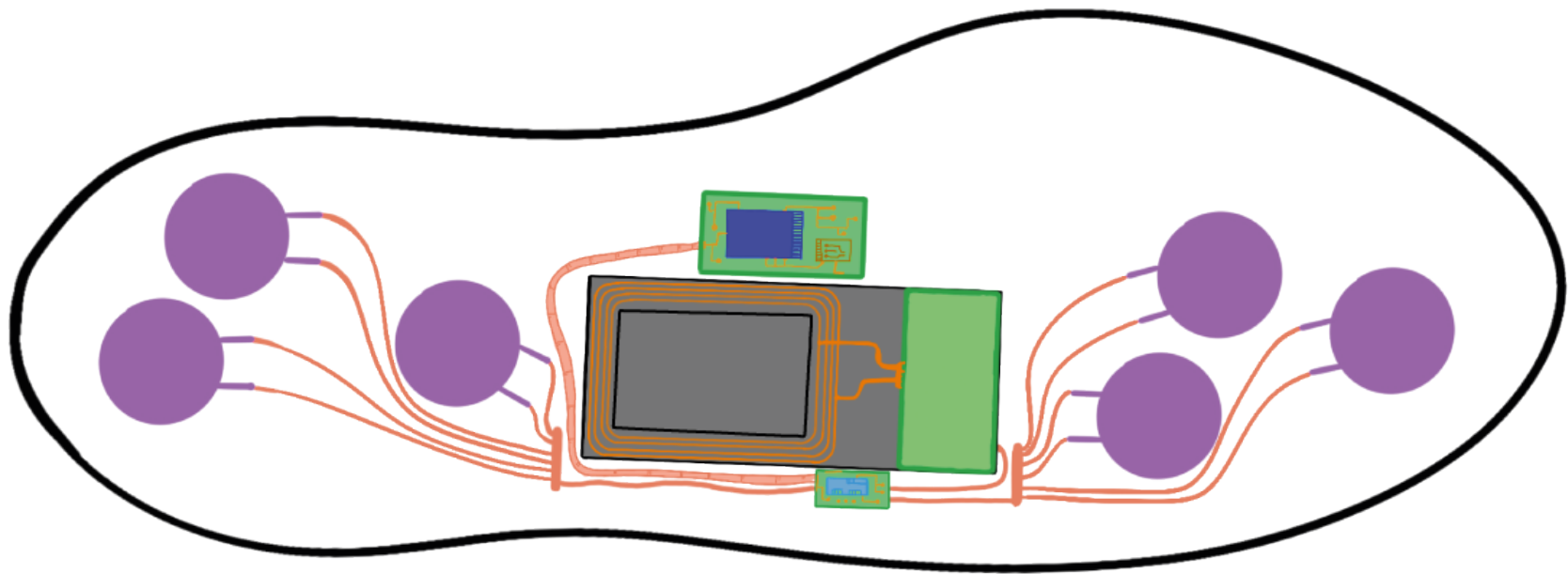
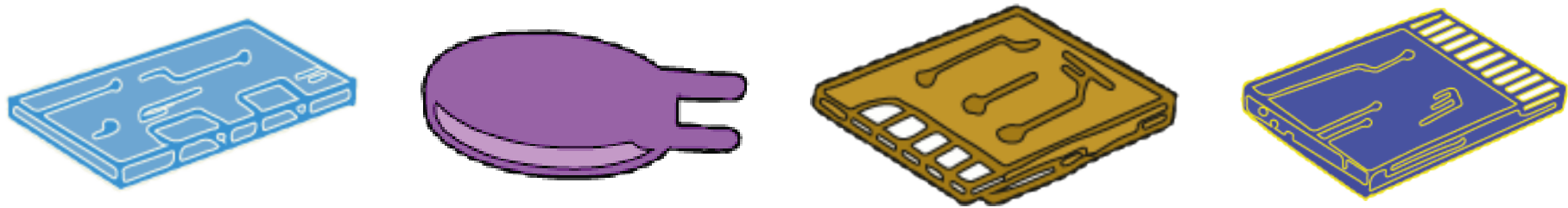
lo inclina e come compie il ciclo del passo, sia dal punto di vista di come egli distribuisce il peso durante la camminata. Inoltre, grazie al GPS, potrà tenere traccia degli spostamenti percorsi. Facendo riferimento allo studio precedentemente citato “Development of healthy children’s feet—Nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns” di Bosh et al. (2010) è opportuno fare una distinzione di funzione, oltre che di elementi, tra le calzature con i numeri da adulto e quelle da bambino. Sui bambini, infatti, si è detto che il parametro utile da analizzare non è la pressione ma più precisamente le forze esercitate nelle varie aree del piede, in quanto questo valore è strettamente correlato allo sviluppo muscoloscheletrico e alla capacità del piede di assorbire carichi e distribuire forza in modo adeguato, cambiando nel tempo. Di conseguenza definiamo che nelle calzature dalla

misura 25 alla 35 (3 – 11 anni) i sensori di pressione saranno sostituiti da sensori di forza modello FSR04 di OHMITE che, al di là della funzione, presentano le stesse caratteristiche enunciate per i sensori SEN024. Essi saranno cinque, uno per area evidenziata dallo studio citato. Basandoci su quanto analizzato nel capitolo precedente, si ipotizza che la consultazione dei dati sarà effettuata dai genitori, che potranno così monitorare la crescita del proprio figlio, sia in autonomia che in compagnia dei figli.

3.2 Studio del processo

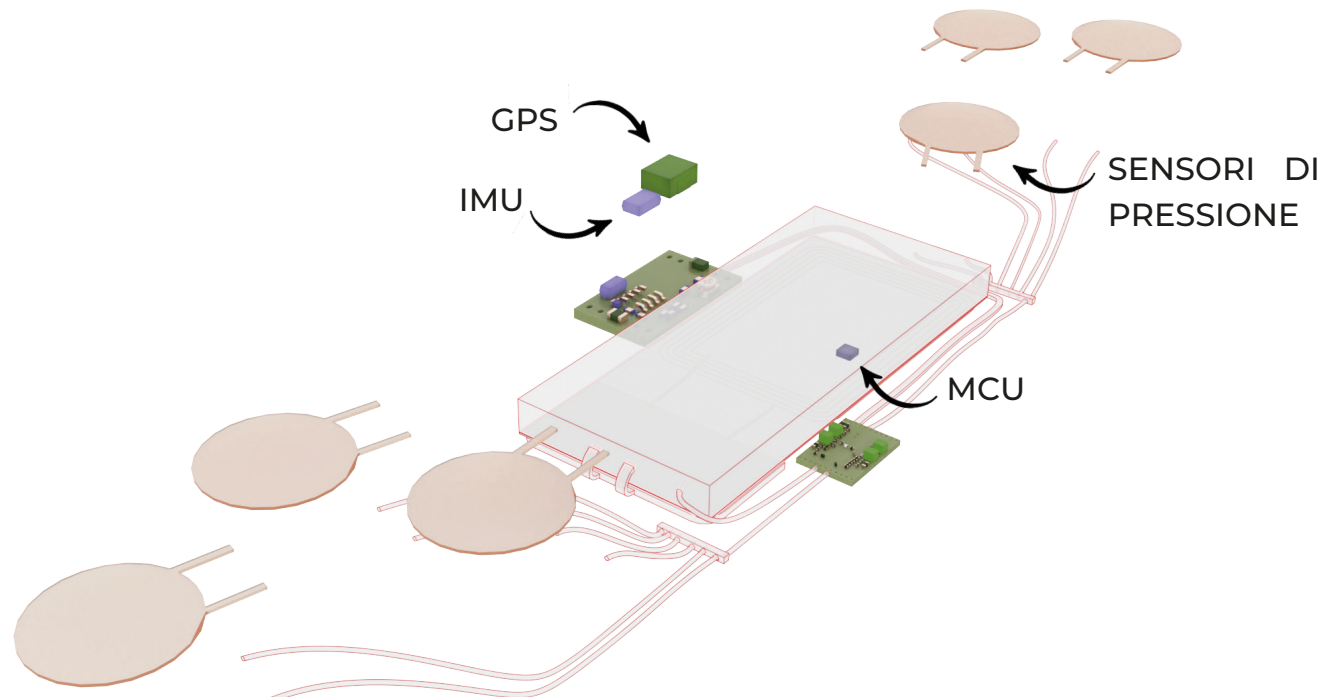
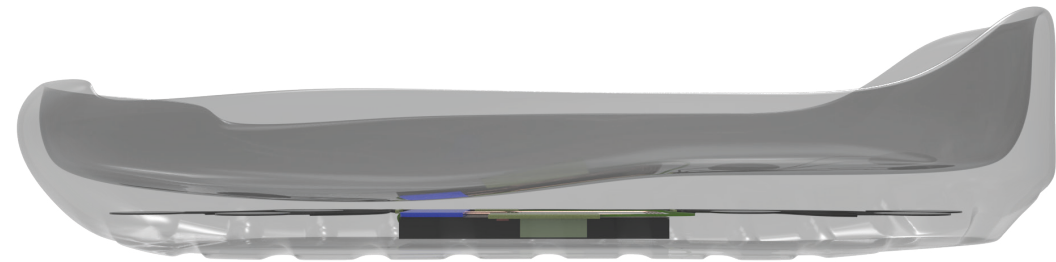
A questo punto occorre studiare in quale modo una scarpa e componenti elettroniche come quelle descritte possano dar vita ad un unico prodotto, per mezzo della stampa 3D. Avendo come obiettivo quello di creare una piattaforma base grazie alla quale, utilizzando lo stesso metodo, si potranno produrre diverse versioni del prodotto “scarpa intelligente”, partiamo lavorando su una forma generica di calzatura per definire i vincoli di produzione, che risultano essere: metodo di produzione, set di componenti elettroniche (inserimento, funzione, estrazione) e materiale. I vincoli derivanti dal metodo di produzione sono relativi alla tecnologia scelta e alla macchina di stampa che, ricordando, si tratta della stampante Sermoon D3 Pro di Creality, con sistema IDEX, rientrando nella categoria FFF (Fused Filament Fabrication).

Avendo la volontà di inglobare l’elettronica all’interno della scarpa, bisogna far sì che la geometria (termine tecnico per indicare il prodotto che si vuole ottenere tramite il processo di stampa) venga costruita attorno alle componenti senza risultare problematica per il successo della stampa e, piuttosto, mantenendo una buona struttura e solidità. Per questo vincolo quindi partiamo prima di tutto creando un mapping 2D delle componenti all’interno della scarpa. Per questa operazione si possono definire due “sotto vincoli”: i sensori di pressione devono essere distribuiti in punti strategici e definiti in partenza e, avendo scelto la ricarica wireless, batteria e ricevitore devono essere posizionati uno sopra l’altro per occupare meno spazio possibile, considerando il ricevitore rivolto verso il piede.



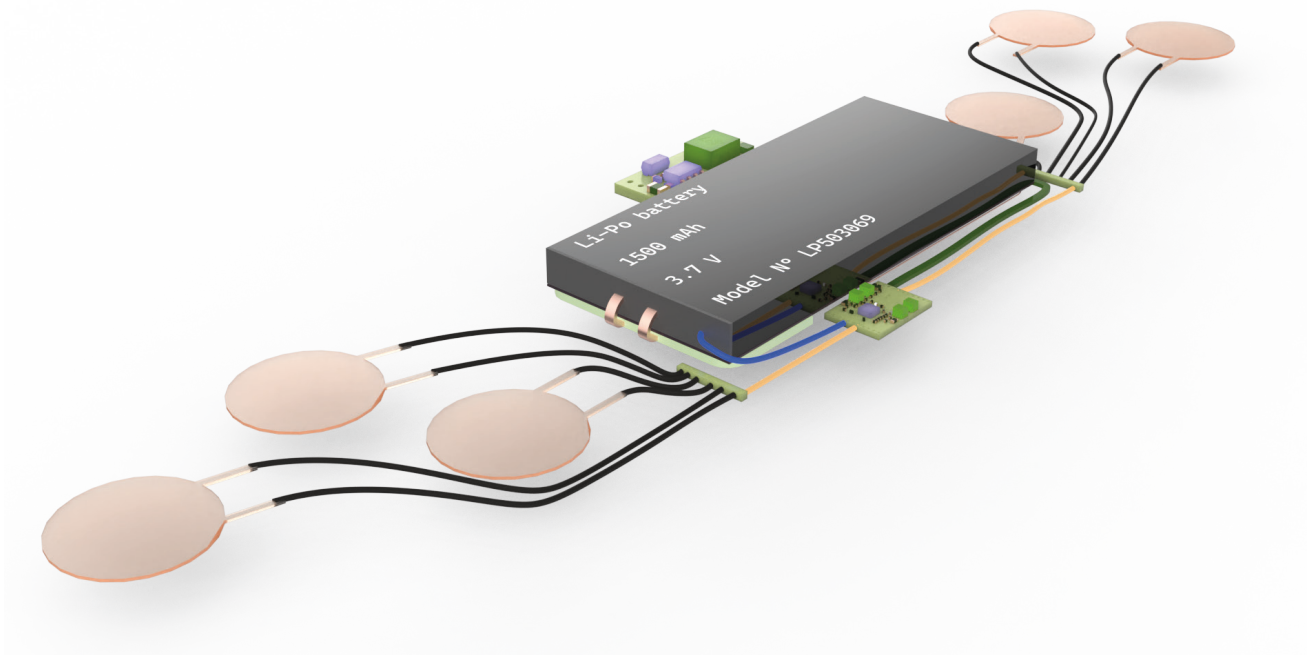
In alto, da sx a dx: rappresentazione grafica di GPS, sensore di pressione, IMU ed MCU
In basso: mapping 2D degli elementi all'interno di una suola

In seconda battuta si crea un modello 3D in scala reale di ciascuna componente scelta e si lavora al fine di ottenere il corretto posizionamento nell'intersuola, area designata a contenere questi pezzi. Si ricorda che il modello di calzatura usato per questa fase è un modello piattaforma, che rispecchia il tipo di sneaker analizzato nei precedenti capitoli.



In questa fase si ipotizza che la direzione di crescita della scarpa nella stampante, un aspetto che definiremo nel dettaglio più avanti, sarà lungo l'asse Z, potendo confermare che l'elettronica sarà inglobata nella scarpa. Con questa sistemazione si potranno produrre calzature di diverso tipo e grandezza semplicemente adattando in modo proporzionale la distanza tra i sensori di pressione, in quanto gli elementi sono

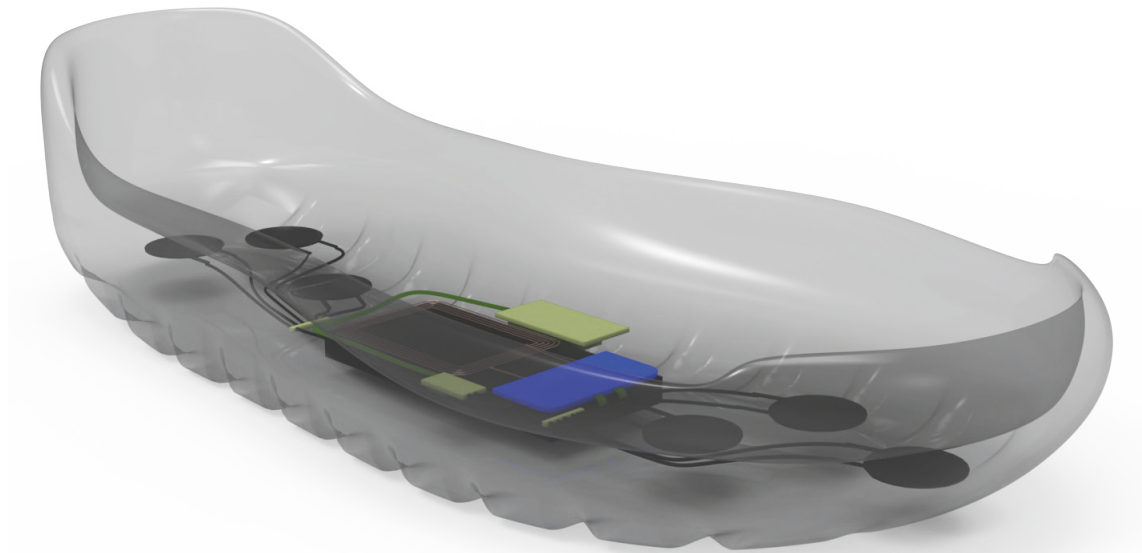
stati scelti affinché possano adattarsi a più misure; dalla misura 25 alla 35 (calzature da bimbi) le componenti si differenzieranno nel tipo di sensori e nella tipologia di batteria, che sarà in questo caso più piccola: il modello CS-IPW185 di Cameron Sino, specifico per dispositivi indossabili con capacità di 350mAh, sarà adottato per queste misure, fornendo circa un giorno di autonomia.



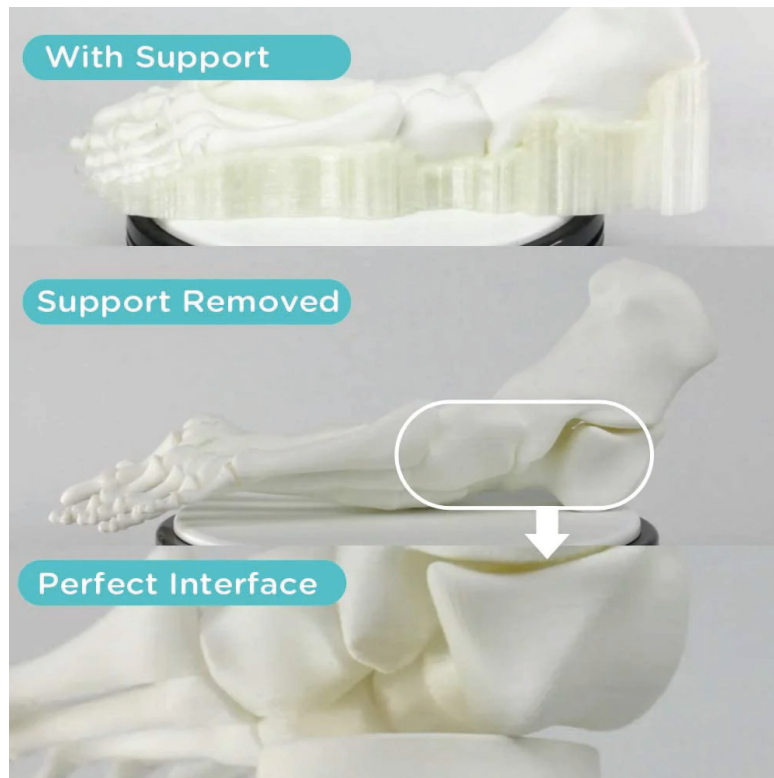
Dettaglio del set elettronico

In terza fase ipotizziamo il posizionamento ed orientamento di crescita della geometria nell'area di stampa. La Sermoon D3 Pro consente di avere un volume di stampa molto ampio, con una lunghezza di 29cm, profondità di 22cm ed altezza di 30cm, risultando ottimale per contenere l'intero ingombro di una scarpa e permettendo di stampare la calzatura

perfettamente poggiata sul piano di stampa, in un unico pezzo, senza dover assemblare ed incollare null'altro; ciò consente di mantenere alta la riciclabilità dei materiali. Grazie alle caratteristiche della stampante, si conferma la direzione di crescita e di conseguenza l'ipotesi di posizionamento del set di elettronica all'interno dell'intersuola. La stampa



3D prevede generalmente la creazione, oltre che della geometria voluta, di supporti che fungono da ausilio a quelle superfici del pezzo che, sviluppandosi con un'inclinazione critica, rischierebbero di



cadere e far fallire la stampa. Stampando la scarpa poggiata sul piatto di stampa quindi, i supporti si rendono necessari sulle parti a sbalzo dell'intersuola e all'interno della scarpa stessa, nell'area in cui dovrebbe alloggiare il piede. L'aspetto critico dei supporti, specialmente nel momento in cui ci si trova a lavorare con materiale flessibile, è il loro distacco: è generalmente semplice eliminarli ma spesso essi lasciano residui o "dentini" sulla geometria completa, rovinandone sia la qualità estetica che, come in questo caso, il comfort e rischiando di creare rotture sul pezzo durante il distacco. Ancora una volta la D3 Pro si rivela adatta a questo compito grazie al sistema a doppio estrusore che permette l'uso di un materiale di supporto diverso da quello di stampa. In questo caso, quindi, considerate le criticità legate ad i supporti e le possibilità della macchina, si sceglie di utilizzare il PVA (alcool polivinilico),

un materiale idrosolubile perfetto per supportare i pezzi durante la stampa permettendo di avere una qualità superficiale molto alta.

Il PVA, infatti, ha proprietà meccaniche che lo rendono perfettamente stampabile e rigido al punto da supportare componenti di un certo peso e, una volta finita la stampa, può essere eliminato attraverso l'uso di acqua calda: esso si scioglierà e libererà facilmente la scarpa.

Si procede ora alla definizione del materiale con cui produrre la calzatura, che deve risultare idoneo a uso e sollecitazioni tipiche di una scarpa ma anche adatto a macchina, processo e vincoli studiati. Nella fase di ricerca ed analisi dello stato dell'arte, si è visto come le scarpe stampate in 3D abbiano avuto una crescente diffusione grazie all'avanzamento tecnologico dei materiali flessibili e resistenti come il TPU (poliuretano termoplastico), un elastomero particolarmente adatto per

calzature grazie alla sua combinazione di morbidezza e robustezza. La varietà di gradi di durezza disponibili nel TPU, misurati in "Shore A", permette di adattare il materiale a diverse applicazioni e livelli di comfort richiesti dalle calzature. Il grado "Shore A" varia, generalmente, da 60A fino a 80A: valori più bassi rappresentano materiali più morbidi e flessibili, mentre valori più alti indicano maggiore durezza. Per esempio, il TPU con un valore Shore A di 90 offre un equilibrio tra flessibilità e resistenza, risultando particolarmente adatto per la produzione oggetto del presente lavoro.

In particolare, considerando di dover supportare la geometria in stampa con il PVA, si sceglie di utilizzare il TPU PolyFlex 90A prodotto da Polymaker, in quanto il produttore afferma piena compatibilità con un filamento in PVA presente nel proprio portfolio, il PolyDissolve S1.

In ultima battuta, avendo definito i

materiali, la geometria 3D ed i vincoli di processo, si passa ora ad analizzare il modello digitale nell'ambiente di slicing prima della stampa. Per poter produrre un pezzo con una stampante 3D occorre infatti avere un modello digitale, ma questo modello dovrà essere impostato e "tradotto" secondo il linguaggio della macchina.

Si parte definendo il formato di esportazione del file della geometria dall'ambiente di modellazione, che sarà STL; questo formato costituisce una discretizzazione della geometria in elementi triangolari. A questo punto si importa il modello nel software di slicing, ovvero il programma attraverso cui si progetta il processo additivo; il primo passo qui sarà quello di definire l'area di lavoro, corrispondente al volume di stampa a disposizione della macchina. All'interno di questo volume bisognerà stabilire il nesting, ovvero il

posizionamento ed orientamento della geometria, considerando che questi aspetti incidono su diversi fattori quali la qualità, la durata, il costo ma anche la riuscita del processo. Effettuato il nesting ed impostati i parametri di stampa (dettati dal nesting stesso, dalle caratteristiche della stampante e dall'ottimizzazione dei materiali usati), è ora la fase dello slicing (letteralmente "affettare"). Ad oggi quasi tutte le tecnologie additive, e sicuramente la FFF, idealizzano la costruzione della geometria finale tramite la sovrapposizione di figure piane (piano X, Y) lungo l'asse Z, creando quindi una vera e propria stratificazione virtuale. Il modello (e l'area di lavoro in generale) sarà quindi virtualmente suddiviso in una serie di piani, normali a Z, all'interno dei quali saranno definite le aree da stampare che avranno un determinato spessore, definendo così l'altezza del layer ("livello") di stampa. A questo punto esporteremo il

progetto di stampa creato tramite un file di testo (g-code) contenente le istruzioni da fornire alla macchina per svolgere il processo (Mele, Campana. 2021).

Seguendo queste fasi importiamo il modello STL all'interno del software di slicing "Creality print", software specifico per la macchina in cui si è precedentemente impostato il profilo tecnico della Sermoon D3 Pro. Come stabilito, lasceremo che il modello sia poggiato parallelo al piatto di stampa; si imposta quindi nell'estrusore 1 il materiale TPU 90A e nell'estrusore 2 il materiale PVA. L'ottimizzazione dei parametri di stampa relativi ai materiali ed agli ugelli è avvenuta a seguito di una serie di test sugli stessi dove, gradualmente, si è testato in un primo momento il singolo materiale e successivamente la stampa contemporanea dei due e la reciproca adesione, al fine di garantire una piena compatibilità tra TPU e PVA ed il successo

della stampa. Si selezionano perciò i suddetti profili e si procede ad impostare alcuni aspetti incisivi sulla qualità del risultato finale, in relazione a prodotto e materiale:

- **Altezza e spessore layer:** 0.25mm, 0.4mm
- **Densità di riempimento:** 20%, scelta in base allo shore del materiale, finalità d'uso e considerando l'elettronica contenuta all'interno
- **Pattern del riempimento:** triangoli, scelto in base al supporto che riesce a fornire al piede e all'elettronica
- **Raffreddamento:** ventola attiva sul pezzo in stampa a partire dal layer n° 3, per evitare che il materiale depositato e sul quale deve essere depositato altro materiale risulti troppo morbido
- **Supporti:** ovunque con opzione

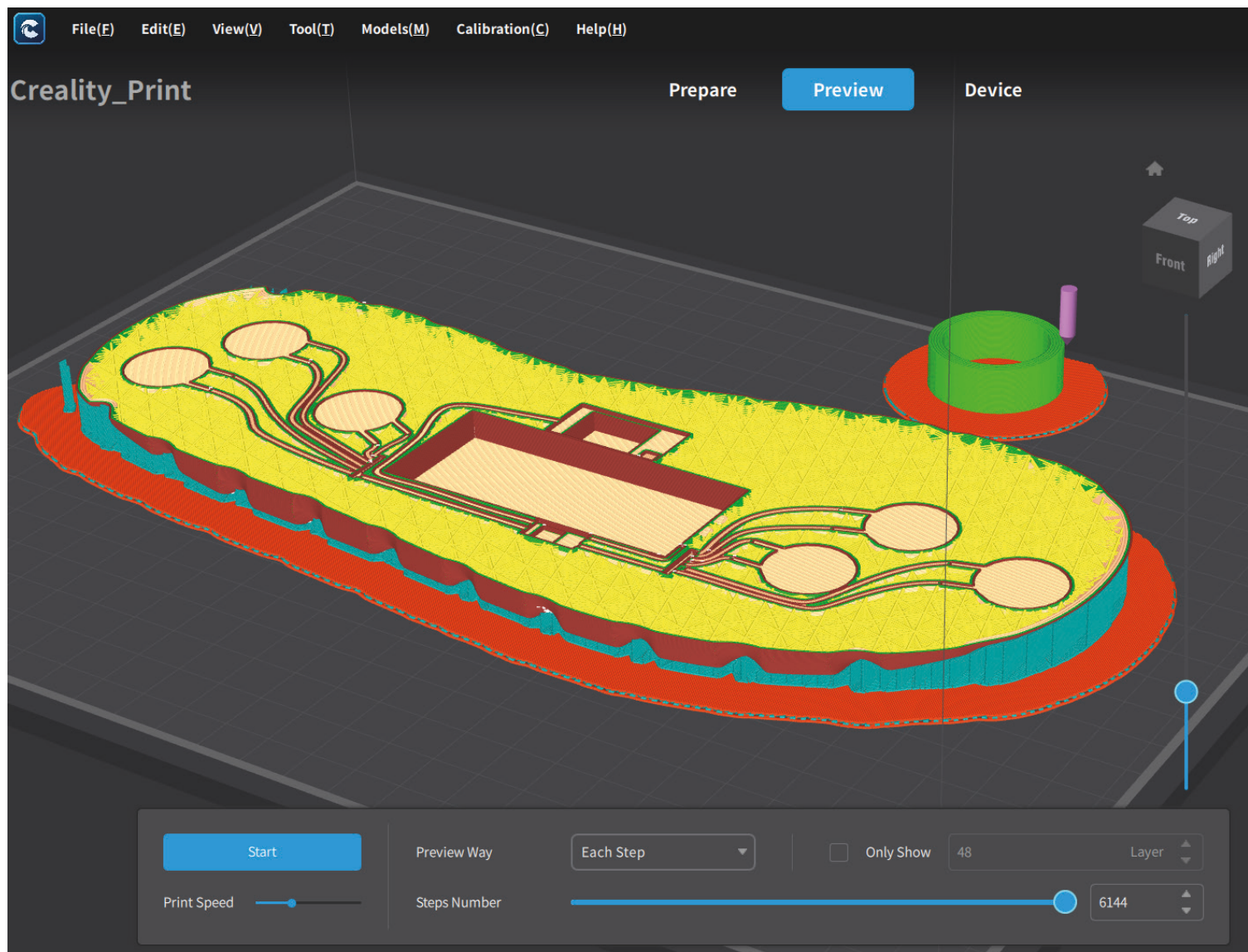
di “eraser” negli alloggiamenti dell’elettronica che, altrimenti, essendo cavità, verrebbero riempiti con il materiale di supporto.

- **Torre di spurgo:** abilitata. Questa torre, da attivare quando si opera una doppia estrusione, è un artefatto che viene creato durante la stampa e utile a far sì che l’alternanza dei due ugelli sulla stampa non crei difetti

- **Pausa di stampa al layer 59:** questo è l’ultimo layer utile alla costruzione delle cavità che costituiranno l’alloggiamento dell’elettronica. Si imposta questa pausa del processo tramite l’inserimento di uno script, per dar modo all’operatore di effettuare il suddetto inserimento e far ripartire la stampa, inglobando il set.

Una volta terminata la stampa si potrà rimuovere la scarpa dal piano e procedere

allo scioglimento dei supporti in PVA tramite acqua calda.



3.3 Progettazione circolare per la sostenibilità

Nel 1990 il professor Thomas Lindhqvist introduce formalmente la definizione di “Responsabilità Estesa del Produttore” (EPR, Extended Producer Responsibility). Nel 2001 l’Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) definiscono le linee guida di questo concetto, un principio normativo che attribuisce al produttore l’onere di gestire il ciclo di vita dei propri prodotti anche dopo la fase di consumo, inclusa la raccolta, il trattamento, il riciclo e lo smaltimento dei rifiuti generati. Questo principio è nato con la volontà di favorire pratiche sostenibili e la transizione verso un’economia circolare, ritenendo il produttore direttamente responsabile non solo della corretta progettazione e produzione del bene in ottica di eco-sostenibilità, ma anche del suo corretto smaltimento a fine vita. Come accennato nel brief di progetto, nella progettazione oggetto di questa tesi, uno degli obiettivi

principali è garantire la sostenibilità e la riduzione dell’impatto ambientale attraverso un sistema efficiente di recupero e una gestione delle componenti a fine ciclo di vita.

Assumendo, in qualità di potenziale produttore di wearable devices, gli obblighi normativi ma soprattutto morali dettati dalla EPR e partendo dal presupposto che si intende gestire internamente lo smaltimento del rifiuto, la parte più critica risulterebbe essere il recupero, a fine vita della calzatura, dell’elettronica contenuta nell’intersuola, in quanto completamente inglobata all’interno della stessa. In realtà la progettazione del kit elettronico ha posto l’attenzione sin da subito sul creare un insieme che fosse allo stesso tempo sia facilmente inseribile che agevolmente estraibile. Sebbene il mapping 2D delle componenti fosse ottimizzato, la fase di modellazione 3D ha

richiesto uno studio di mapping anche in merito all'asse Z (altezze), arrivando a livellare le componenti su un unico piano, in modo tale da ottenere un unico layer di stop durante la stampa e permettere all'operatore che si occuperà dello smaltimento, di individuare tutto il set in un unico punto e provvedere facilmente all'estrazione. Dal punto di vista tecnico il processo di disassemblaggio inizia con un taglio dell'intersuola che, progettata senza colle o adesivi, presenta un'indicazione del punto di taglio camuffata dall'estetica del prodotto, garantendo un disassemblaggio rapido e agevole da parte dell'operatore. Una volta separati, il polimero segue un percorso di riciclo dedicato, mentre le componenti elettroniche entrano in un ciclo differenziato di riuso, riciclo e smaltimento. Si parte con la spiegazione di quest'ultimo:

- MCU: il microcontrollore ha una vita

utile che può estendersi per diversi anni. Una volta recuperato, viene sottoposto a test funzionali per verificarne l'integrità e se funzionante, può essere riutilizzato in nuove calzature o in altri dispositivi. Qualora non fosse più idoneo al riuso il componente viene inviato a impianti specializzati dove vengono estratti materiali come il rame, il silicio e altri metalli preziosi presenti nei circuiti integrati.

- IMU: essa risulta essere un componente robusto che, simile alla MCU, ha una vita molto lunga. Verrà testata per essere riutilizzata in nuovi modelli ed in caso di malfunzionamenti viene smaltita in impianti di recupero specializzati, che recuperano i metalli rari impiegati nei sensori inerziali come il platino e l'oro

- GPS: come le due precedenti, anch'esso se ritenuto idoneo può essere

riutilizzato. Tuttavia, questo tipo di sensore ha una vita utile inferiore rispetto ad IMU ed MCU

- Batteria: tra le componenti più critiche per l'ambiente, dopo un anno di utilizzo, queste batterie potrebbero mostrare una diminuzione della capacità fino al 20%, rendendole non più idonee per essere riutilizzate in nuove scarpe. Se non adoperabili in prodotti in cui è richiesta una capacità energetica bassa, esse verranno inviate a centri di smaltimento idonei a recuperarne le materie prime.

- Sensori di pressione: i sensori resistivi a film sottile, grazie alla loro costruzione semplice possono essere riutilizzati se non mostrano segni di usura o danni significativi. Tuttavia, data la loro natura più fragile rispetto ad altri componenti, una parte dei sensori potrebbe essere destinata al riciclo; in questo caso il film

sottile di PVDF può essere recuperato e riutilizzato in applicazioni future.

- Ricevitore di ricarica wireless: questo è un elemento soggetto ad una bassissima usura e di conseguenza facilmente riutilizzabile. Nel caso in cui dovesse essere destinato allo smaltimento si potrebbe recuperare quasi il 100% del rame impiegato

- Schede PCB: in linea teorica le schede elettroniche potrebbero essere facilmente usate in una nuova calzatura ma, prima del loro riuso, bisogna valutare le condizioni generali della scheda, delle saldature e che non siano diventate obsolete.

Per quanto riguarda il riciclo del poliuretano termoplastico (TPU), prendiamo in esame uno studio condotto su un articolo simile ma più complesso e con destinazione

d'uso diversa: lo scarpone da scii. Nanni et al. (2023) analizzano le possibilità di riciclo meccanico del TPU contenuto in questi articoli (56,8% del peso totale), dimostrando che esso può essere riciclato fino a 3 volte per scarponi nuovi e 2 volte per scarponi usati, in quanto presenta uno scarso decadimento delle proprietà meccaniche. Sebbene lo studio si concentri su articoli simili ma differenti, si può dedurre come, considerando che il materiale è lo stesso, il riciclo nelle scarpe potrebbe essere ancora più semplificato in quanto esse sono composte esclusivamente da questo polimero (considerando che l'elettronica viene separata prima del conferimento). Tuttavia, bisogna sottolineare come, nella pubblicazione, venga evidenziato che la sostenibilità economica di questo processo si conferma solo nel momento in cui si raggiunge un certo volume di riciclo (nel caso degli scarponi, 30.000

esemplari riferendosi ad un impianto terzo per l'esecuzione del riciclo), ma ancora una volta, il riciclo delle scarpe potrebbe richiedere un numero di esemplari inferiore.

Si può affermare dunque che il presente progetto risponda positivamente alle buone pratiche progettuali ed ai principi del design circolare, grazie all'attenzione posta durante tutte le fasi del processo. Fin dalle prime fasi di progettazione, l'attenzione è stata focalizzata sulla sostenibilità, considerando non solo la provenienza, l'efficienza e la durata dei componenti, ma anche l'idoneità alla rigenerazione in modo da creare un prodotto responsabile e in linea con le sfide ambientali attuali. Ricapitolando, la progettazione consente una facile separazione dei materiali al fine di recuperare e reintegrare ciò che è possibile in nuovi modelli; per ogni elemento

elettronico è previsto un potenziale riuso o riciclo ed il TPU è l'unico materiale che compone la calzatura, nella quale inoltre non vengono usati collanti. Esso risulta essere ben riciclabile e se ne prevede quindi il riuso per la produzione di nuove calzature.

3.4 Dal concept al prodotto: Feetable

Partendo da un contesto di prodotto e di mercato favorevole e che evidenziava buone opportunità progettuali, l'evoluzione naturale della presente ricerca ha portato man mano alla definizione di un concept di scarpa intelligente, con elettronica integrata e che offra al suo utilizzatore un'esperienza che va al di là del semplice "indossare l'oggetto": questo prodotto fornirà informazioni e dati basati su evidenze scientifiche, dando così la possibilità all'utente, grazie ad un'applicazione digitale, di poter comprendere ed imparare nozioni sul proprio modo di camminare e sulla propria salute; inoltre, il progetto prevede una fase di gestione del fine vita in modo da assicurare che il prodotto sia sostenibile e circolare. Lo sviluppo tecnico è avvenuto su un modello definito "piattaforma base", ovvero che rispecchia le necessità richieste dal progetto ma non identifica ancora un alto livello di dettaglio formale,

permettendo di non limitare lo scenario di progettazione ad un solo output formale ma, piuttosto, di mantenere attive diverse possibilità. La scelta delle tecnologie e del processo è stata ponderata basandosi sulla concreta fattibilità tecnica ed economica. Si procederà ora allo sviluppo più profondo del progetto, definendo il prodotto risultato di questa ricerca: lo scenario, l'innovazione, le caratteristiche, le funzioni, il servizio utile alla sua fruizione, il modello di business e la user journey.

Nasce da queste premesse "Feetable" un brand la cui attività sarà quella di produrre scarpe intelligenti che rispecchino il concept delineato sin qui: intelligenti grazie al kit progettato, stampate in 3D tramite TPU e PVA e che mantengano alta la sostenibilità. Il nome "Feetable" deriva da tre parole chiave; "wearable", "feet", e "able". Wearable è un termine che si riferisce alla tecnologia indossabile,

“Feet” sottolinea il focus della tecnologia sul piede e sul movimento, mentre “able” rappresenta l’idea di abilitare una nuova esperienza d’uso per chi la indossa. Il risultato è un gioco di parole che evoca lo scenario del prodotto.

Per delineare al meglio le dinamiche degli affari del brand Feetable ed averne una panoramica facilmente comprensibile, è stato usato il “Business Model Canva” (BMC) ideato da Alexander Osterwalder, uno strumento visivo e strategico molto diffuso ed utile, nella sua massima semplicità, a sviluppare ed analizzare modelli di business. Grazie al modello si delineano aspetti chiave dell’azienda come, per esempio, il modo in cui crea, distribuisce e cattura valore ma anche analizzare i costi ed i canali di ricavo. Come si evince dalla figura 18, il valore offerto all’utente si riscontra in: un nuovo tipo di wearable device, un accurato

ed innovativo modo di raccogliere dati relativi alla propria camminata, un monitoraggio utile per la propria salute, un prodotto che risponde alle dinamiche del design circolare e la creazione di un design estremamente distinguibile e caratteristico. Ancora, i ricavi sono previsti attraverso: la vendita delle scarpe, il recupero dei materiali dal prodotto rifiuto ed un abbonamento da sottoscrivere per avere dati più profondi (ma si ipotizzano anche ricavi da collaborazioni esterne).

Key Partners

- Fornitore TPU
- Fornitore componenti elettroniche
- Fornitore stampanti 3D
- Aziende per collaborazioni stilistiche



Key Activities

- Promozione del marchio e diffusione dei valori
- Presenza online
- Programmazione delle novità stilistiche
- Recupero dei rifiuti



Key Resources

- Processo di produzione studiato ad hoc
- Applicazione
- Marchio
- Operatori di processo



Value Proposition

- Nuovo tipo di wearable device
- Accurato ed innovativo modo di raccogliere dati relativi alla propria camminata
- Monitoraggio utile per la propria salute
- Prodotto sostenibile e che risponde alle dinamiche del design circolare
- Prodotto estremamente distinguibile e caratteristico



Customer Relationships

Le relazioni saranno create ed intrattenute principalmente per mezzo dei supporti digitali. Tramite i social verrà trasmessa la promozione dello scenario aziendale; tramite applicazione mobile saranno gestiti gli aspetti pratici della relazione cliente-azienda, che è prevista essere attiva oltre la vita utile del prodotto.

Channels

Promozione:

- Online (sito, social e partnership)
- Rare partecipazioni ad eventi

Vendita:

- Canale diretto online

Consegna:

- Gestita dal back office interno

Post vendita:

- Interfaccia tramite app mobile
- Gestita da back office interno

Customer Segments

Mercato di massa:

- Appassionati del mercato tech e fashion
- cluster Gen-Z
- clienti eco-consapevoli

Mercato di nicchia:

- Genitori che acquistano per i figli
- clienti con necessità di monitoraggio del passo ed andatura



Cost Structure

- Materie prime
- Stampanti
- Manutenzione stampanti
- Stipendi del personale
- Promozione
- "Ricompensa" al cliente quando smaltisce il prodotto



Revenue Streams

- Vendita scarpe
- Rientro delle scarpe a fine vita (recupero materiali)
- Abbonamento in app
- Pagamenti elettronici



È in questo contesto che, a seguito di un incontro in cui si sono evidenziate affinità ed opportunità tecniche, di sviluppo e di vedute, nasce, per quanto concerne lo sviluppo stilistico della prima scarpa di Feetable, la collaborazione con Christian Segreto. Contemporaneamente allo svolgimento del presente lavoro, infatti, Christian Segreto conduce una ricerca sulla produzione additiva di calzature dal punto di vista della moda, creando il brand “Trittico” e risultando un partner ideale per creare un supporto tangibile che permetta a questo lavoro di sviluppare il primo “modello commerciale”, dando così vita alla prima linea del brand Feetable.

3.5 Feetable 1 By Trittico

“Feetable 1 by Trittico” è il primo output formale di Feetable, prodotto in collaborazione con Trittico, brand di Christian Segreto. La ricerca stilistica che ha condotto all’ideazione di questa linea estetica è stata condotta in maniera congiunta, passando attraverso la visualizzazione di uno scenario futuro e hi-tech in cui le tecnologie sono pervasive e costituiranno un supporto costante per la vita umana. Le linee che costituiscono questo modello tendono, quindi, a proporre un design nuovo e dirompente, rispecchiando la filosofia dei due brand.. Per comprendere al meglio la relazione tra l’utente e la funzione, risulta utile l’analisi di un esploso del prodotto e di una sua spiegazione.

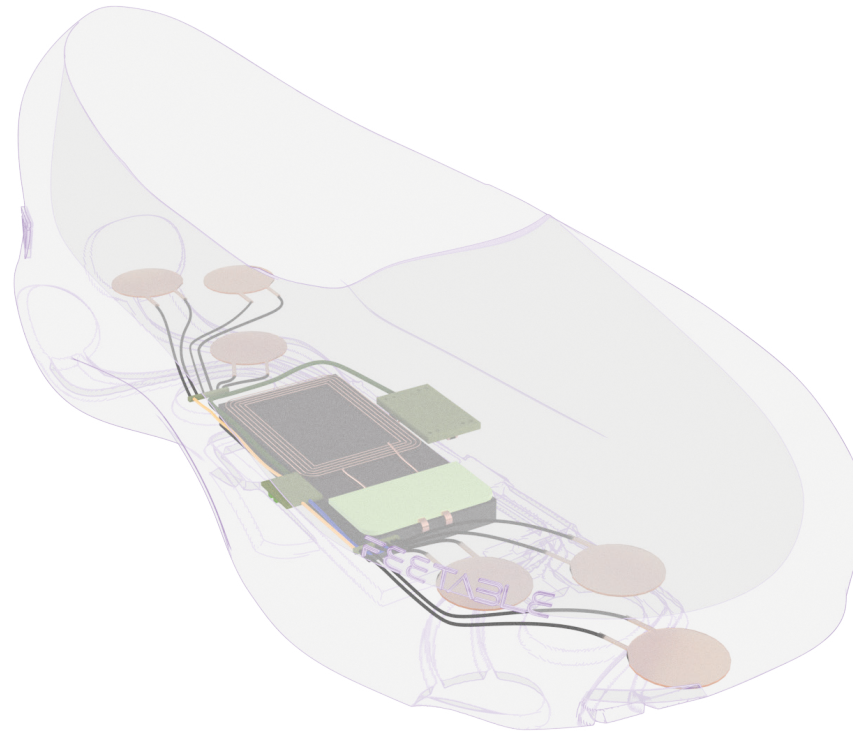
FEETABLE



Feetable 1 by Trittico

Dalla figura al lato si può apprezzare la semplicità di un prodotto così complesso: gli unici elementi visibili sono la calzatura ed il set di elettronica. Si chiarisce che la divisione, nell'immagine, della calzatura in due elementi è meramente atta a rendere più semplice la comprensione del prodotto, ma in realtà le due parti costituiscono un unico elemento. Tale raffigurazione, tuttavia, risulta utile ad apprezzare il modo in cui le scelte progettuali abbiano dato vita ad una scarpa intelligente con elettronica inglobata al suo interno. Lo studio sulla sistemazione spaziale degli elementi elettronici tra loro e nei confronti della scarpa, consente ai sensori di pressione di svolgere correttamente la loro funzione, potendo leggere gli sforzi impressi dal piede durante la camminata.

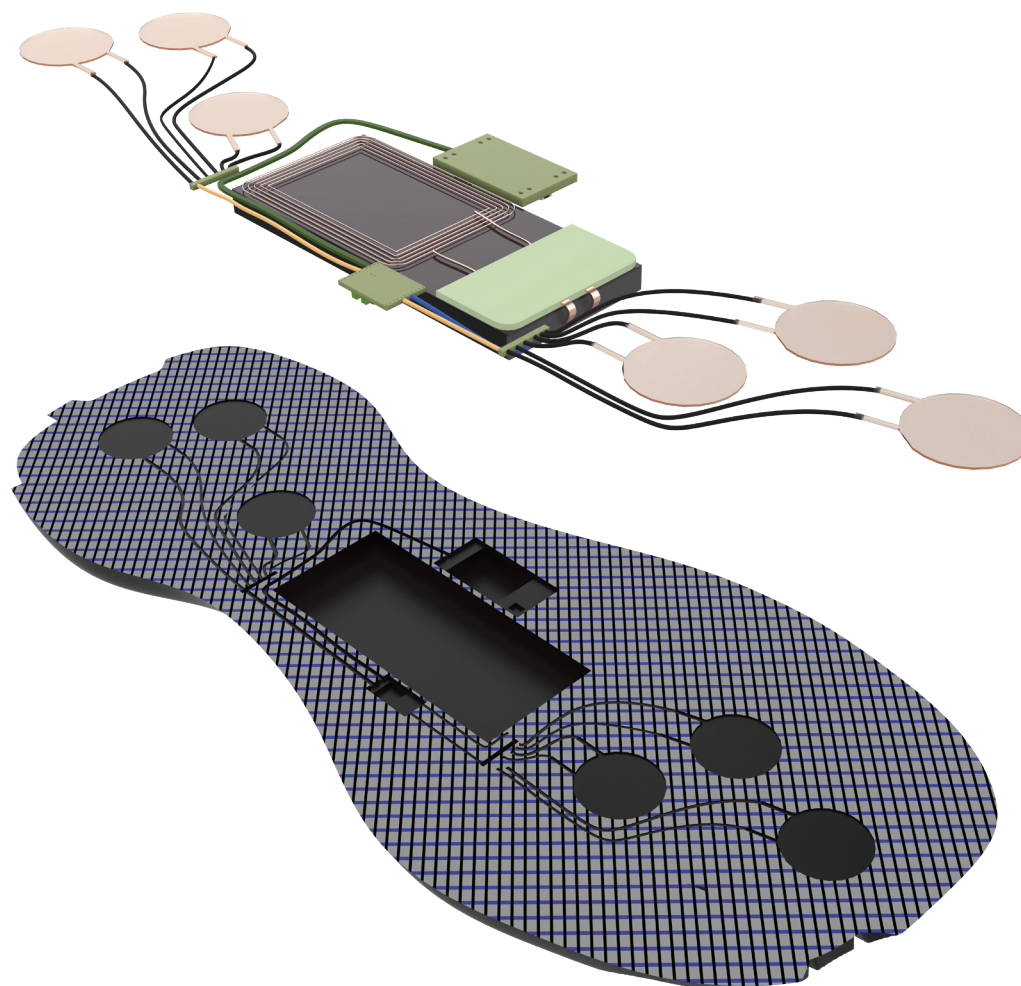




Nella zona centrale, la zona dell'arco plantare, troviamo tutte le altre componenti. Le due schede PCB accolgono, saldate su di esse, IMU, GPS e MCU, oltre che i collegamenti con batteria e sensori di pressione. La posizione dell'unità inerziale è scelta sia in base a criteri di spazio ma anche in base alla necessità di una posizione ottimale per la corretta misurazione dei movimenti del piede. Batteria e ricevitore wireless

sono posizionati l'uno sull'altro in modo da ottimizzarne l'ingombro ed avvicinare il più possibile la spira di ricezione alla superficie della suola, luogo in cui sarà poggiato il piatto di ricarica.

Questi elementi saranno in funzione durante l'attività fisica dell'utente raccogliendo dati che saranno inviati grazie al modulo Bluetooth contenuto nella MCU, all'applicazione "Feetable".



3.6 Brand identity

Feetable vuole proporsi come un nuovo ed impattante attore sul mercato dei wearable devices, trasmettendo un senso di proiezione verso un futuro ad alta tecnologizzazione, promettente e visionario. La scelta stilistica per la creazione dell'identità del brand parte da questi presupposti, con la volontà di creare un branding essenziale e pulito ma non per questo piatto e privo di emozioni; da qui deriva la scelta di elaborare non un logo ma un logotipo, ovvero una raffigurazione grafica del nome del marchio attraverso una personalizzazione aziendale dei caratteri.

Il processo creativo per la realizzazione del logotipo è partito dalla ricerca d'ispirazione su diversi siti che propongono "Type families" gratuite e con licenze d'uso gratuite (Google fonts, DaFont etc.). Le "famiglie" ricercate per l'ispirazione appartenevano alla categoria "Sans Serif"

e rispecchiavano uno stile moderno. Sono state selezionate 4 famiglie di caratteri che corrispondevano allo scenario delineato ed alle volontà di comunicazione visiva: "Dune Rise", "Nasalization", "Tourner" e "Dissolve". Successivamente ci si è spostati all'interno del software Adobe Illustrator per testare le varie famiglie nei vari Font con il nome "Feetable" con l'obiettivo di ridurre la scelta da 4 a 2 famiglie; da sinistra verso destra: Dune Rise, Nasalization, Tourner e Dissolve.

FEETABLE
FĈĈTABLEĈ
FEETABLE

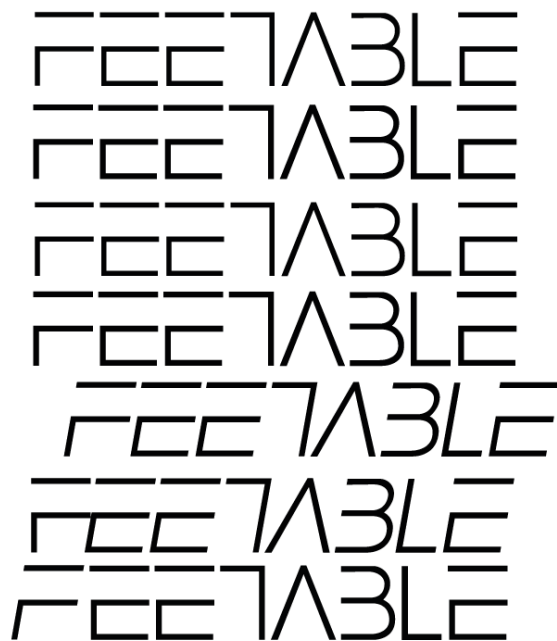
FEETABLE

feetable
FEETABLE
Feetable

feetable
FEETABLE
Feetable

Testate le 4 famiglie, si è scelto di procedere con la sperimentazione su Dissolve e Nasalization. Si è convertito i font da “oggetto testo” a “contorno”, in modo tale da poter elaborare e modificare i caratteri in forme, caratteristiche e colori.

I font rispecchiano l’immaginario estetico ricercato ma allo stesso tempo risultano troppo statici e abituali per poter essere adatti a rappresentare l’immagine di “Feetable”, l’obiettivo è quello di creare dinamicità.



FEETABLE
FCCTABLE
FEETABLE
FEETABLE

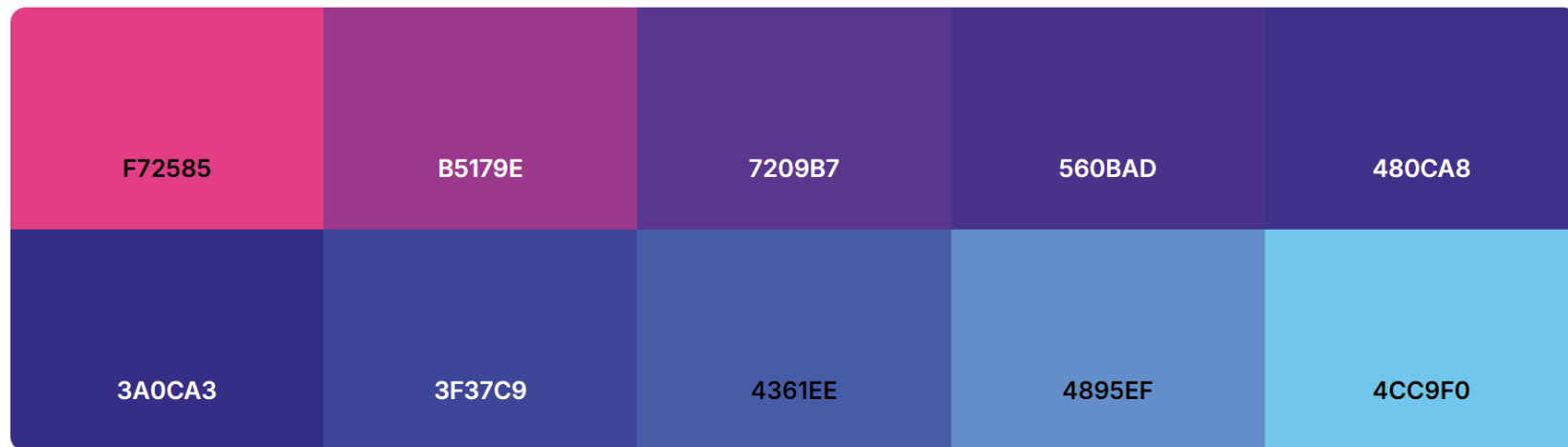
FCCTABLE
FEETABLE

FCCTABLE
FCCTABLE
FCCTABLE
FCCTABLE
FCCTABLE
FCCTABLE
FCCTABLE

Le prime prove hanno riguardato la modifica di alcune linee dei tracciati e l'inclinazione dei caratteri; il risultato è stato buono con entrambi i font, per cui si è proseguito partendo con l'inserimento di colore tramite gradiente. Il primo gradiente testato deriva da uno scenario

“fluo” ed è composto dai colori #6affba, #6affad e #6affdf sia per i riempimenti che per i contorni. Tuttavia, questo gradiente si discosta dallo scenario desiderato. Si è deciso di elaborare una palette colori adatta attraverso il tool online fornito dal sito “colors.co”.

Palette



Grazie a questa palette, i successivi tentativi sono stati sempre più accurati, fino ad arrivare ad una combinazione vincente di colori sia per il tracciato che per il riempimento dei caratteri.



FEETABLE



FEETABLE



FEETABLE



FEETABLE

FEETABLE

Trovati i colori adatti, i font risultavano ancora leggermente statici e mancanti di un riferimento più esplicito al prodotto di Feetable. Gli ultimi tentativi, quindi, hanno riguardato la combinazione dei due font tra di loro e la modifica di alcune curve di tracciato. In particolare, la lettera “B” del font “Dune Rise” è stata riflessa e modificata al fine di fungere da “E” ma

soprattutto di ricordare visivamente la tipica texture a scalini dei pezzi prodotti tramite stampa additiva FFF dovuta alla sovrapposizione di due layer di stampa. In questo modo quindi caratteri, colori ed elementi grafici, rispecchiano perfettamente l’immaginario identificato da Feetable.



FEETABLE
BE



FEETABLE
EE



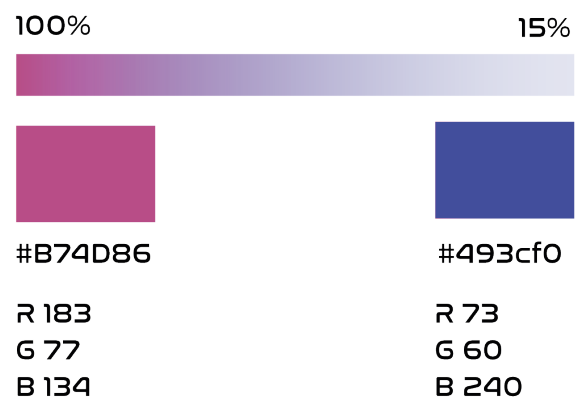
FEETABLE
EE



FEETABLE
EE

Il logotipo di Feetable, risultato di questa elaborazione, deriva da una ricerca di caratteri e colori che, combinati tra loro, danno vita ad un elemento grafico riconoscibile e che esprime

perfettamente l'identità del brand e lo scenario di riferimento per i suoi utenti. Per quanto riguarda l'applicazione si sceglie di basare l'intera grafica su questi colori e di usare il font "Nasalization" per i testi in essa contenuti.



NASALIZATION - REGULAR
nazalization - regular

Lo sviluppo della brand identity è proseguito, infine, con l'ideazione di un packaging adatto a supportare la riconoscibilità del marchio e la filosofia aziendale riguardo gli impatti dei propri prodotti. Per mantenere elevata la sostenibilità e la riciclabilità del packaging delle sneakers, è stata condotta una ricerca approfondita sui materiali che rispondessero ai principi di circolarità e riduzione dell'impatto ambientale. Lo studio ha preso in considerazione diverse opzioni, tra cui la polpa di cellulosa e la bagassa, con un'analisi delle loro caratteristiche e della loro impronta ecologica. La scelta finale è ricaduta sulla bagassa, poiché offre un ulteriore vantaggio nella riduzione dell'impatto di carbonio rispetto alla polpa di cellulosa. La scelta è dovuta al fatto che la bagassa è un sottoprodotto della lavorazione della canna da zucchero, un materiale che risulta abbondante e velocemente

rinnovabile ed utilizzarla riduce lo spreco agricolo, convertendo un residuo che altrimenti verrebbe scartato in una risorsa per la produzione di imballaggi. Essendo biodegradabile e compostabile, la bagassa si decompone naturalmente a fine vita, evitando l'accumulo di rifiuti plastici e riducendo le emissioni legate al loro smaltimento. Per ottenere un packaging funzionale, la bagassa verrà trasformata in polpa e modellata tramite stampaggio a umido, un processo che crea forme rigide e resistenti senza l'utilizzo di materiali tossici.

Per lo sviluppo stilistico dell'imballaggio si è lavorato sugli elementi riconoscibili del prodotto, scegliendo in questo caso di provare a richiamare il concetto della stampa additiva tramite la forma. Nello sviluppo del logotipo tale caratteristica del brand è riscontrabile, come spiegato, nella lettera "E" del nome Feetable

ed è quindi da qui che lo sviluppo del packaging prende ispirazione: come nel logotipo l'obiettivo per lo stile del packaging è di richiamare la forma di due layer di stampa sovrapposti. Esportando il tracciato di curve della lettera "E" da Illustrator a Rhinoceros 8, lo si è lavorato per ottenere curve adatte a generare delle superfici. Attraverso una duplicazione con riflessione e diverse altre trasformazioni si sono ottenute le curve del packaging, costituito da una scatola con chiusura a tappo (l'attrito garantisce la tenuta) al cui interno vi è presente una terza forma che funge da alloggiamento per le scarpe e per il caricabatterie.

L'unico materiale utilizzato per la realizzazione di questo imballo è la Bagassa che, come detto, è compostabile. Inoltre gli inchiostri utilizzati per la stampa delle informazioni riportate sono a base di soia, ovvero di origine vegetale

ed anch'essi biodegradabili. A questo punto, gli elementi essenziali della brand identity sono stati sviluppati.





FEETABLE



DON'T GENERATE WASTE!

When these shoes are no longer useful to you, let us know through the app and you'll receive a reward.

OH, don't forget to download FEETABLE APP and connect



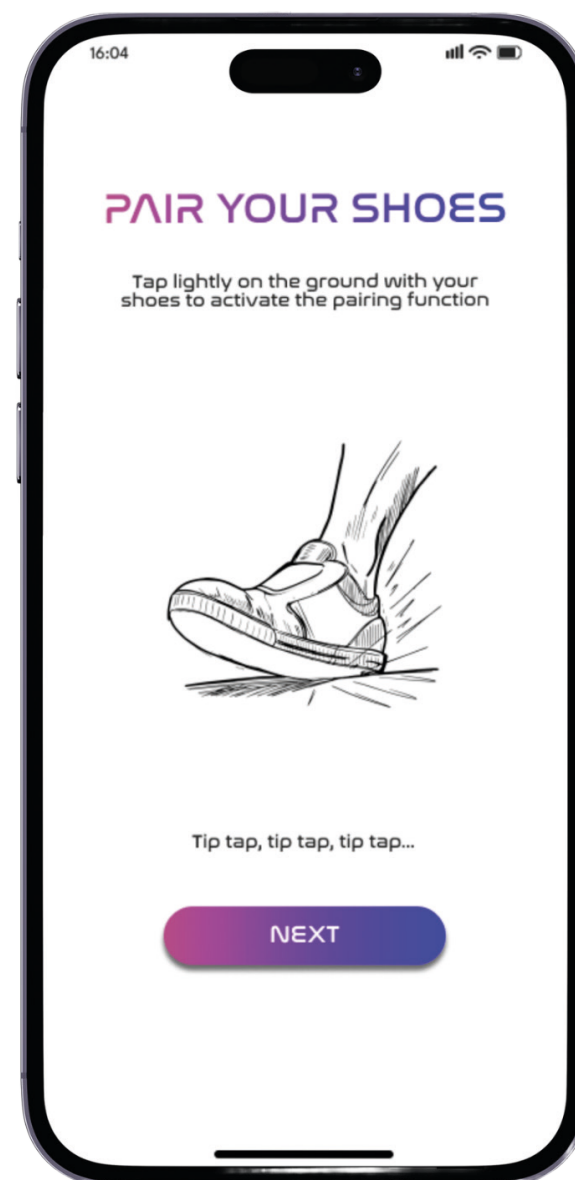


3.7 Customer onboarding e user experience

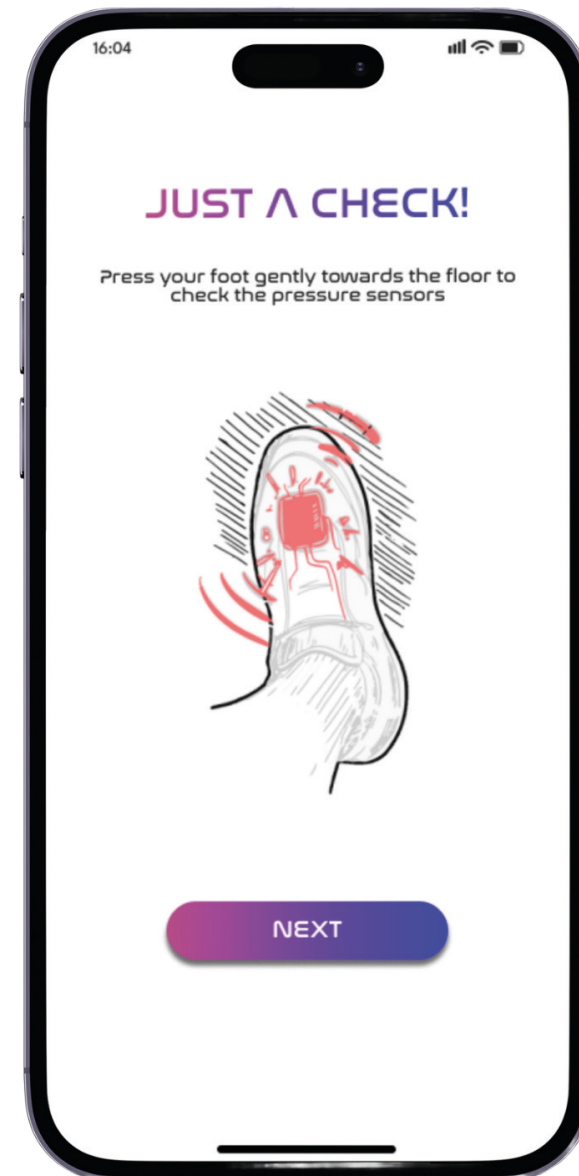
Feetable 1 è un prodotto tecnologico che presenta una nuova modalità d'uso e nuove funzioni, per tale motivo potrebbe essere non immediata la comprensione del suo utilizzo e, è per evitare complicazioni, si prevedono alcune operazioni da svolgere alla prima attivazione per introdurre l'utente all'uso del prodotto. Tali operazioni partono con la prima apertura della scatola, definendo la fase di "customare onboarding" utile ad evitare problemi ed emozioni negative all'utente come, per esempio, frustrazione per eventuali difficoltà nella connessione e per introdurlo alle diverse funzioni.

Il packaging conterrà le scarpe, il caricatore, alcune indicazioni relative alla sostenibilità del prodotto, l'importanza del suo recupero ed informazioni sulla prima connessione all'applicazione.

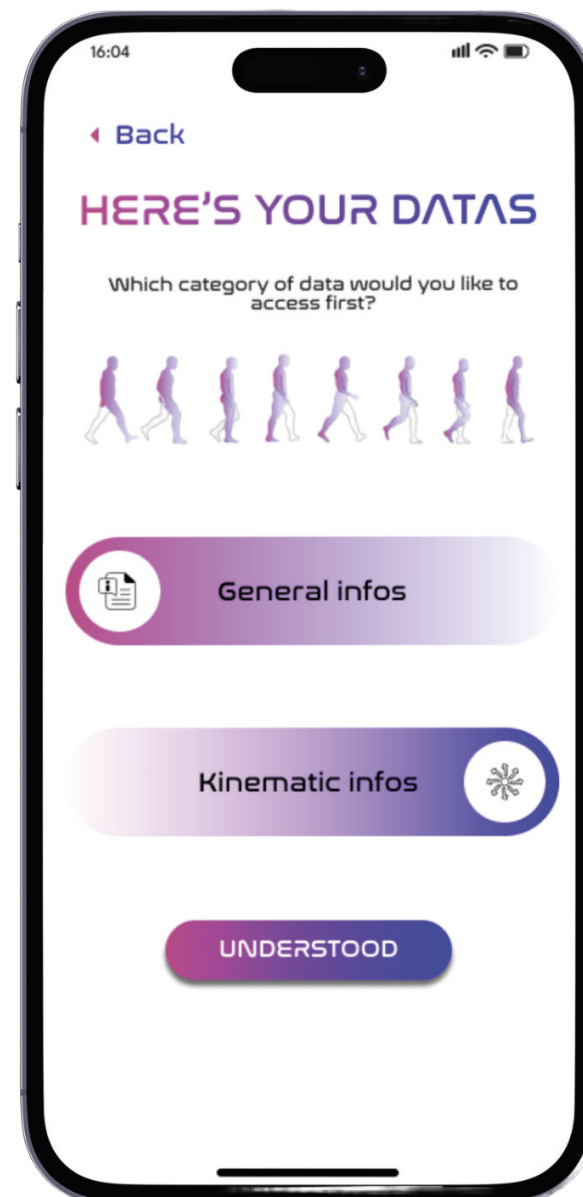
Per attivare la funzione di accoppiamento sarà necessario battere leggermente le scarpe a terra: la IMU percepirà l'accelerazione ed attiverà la connessione.



A questo punto scarpe ed applicazione saranno connesse e verrà richiesto all'utente di eseguire un breve check sul corretto funzionamento delle scarpe tramite l'attivazione volontaria dei sensori per mezzo della pressione.

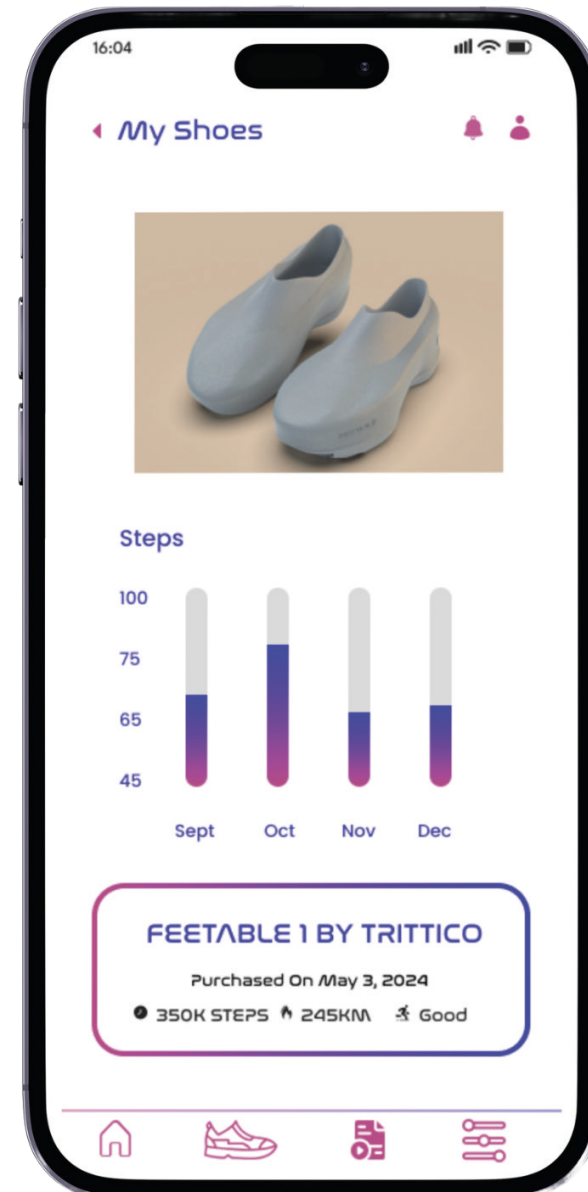


Appurato il corretto funzionamento del dispositivo, l'applicazione inizierà ad illustrare le sue sezioni e le possibilità che il prodotto Feetable appena acquistato permette. Le prime informazioni trasmesse all'utente sono quelle relative ai vantaggi dell'analisi del passo e del modo in cui poggia il piede che possiamo dividere in due categorie: parametri generali e parametri cinematici. Nella prima categoria rientrano: la velocità, cadenza, lunghezza del passo, tempo di appoggio e tempo di oscillazione, doppio appoggio e propulsione; nella seconda categoria rientrano: altezza passo, pronazione e supinazione, angolo di battuta, circonduzione. Verrà eseguita una breve introduzione all'importanza di tali dati.



In ultima battuta, all'utente verrà mostrata una sezione in cui può consultare dati relativi alla vita della sua calzatura (numero totale di passi, distanza percorsa, tempo di camminata etc.) ed eventualmente avviare la procedura di smaltimento, che verrà analizzata in seguito. Finisce qui la fase di onboarding.

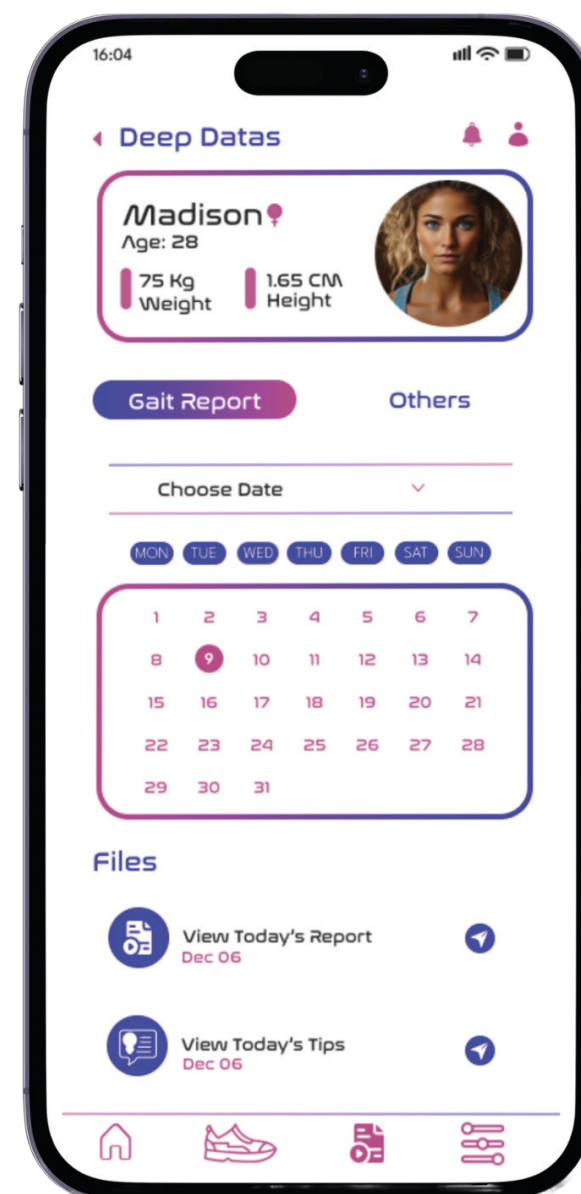
L'utente può ora iniziare a godere del suo nuovo prodotto: usare questa smart shoe non richiede nessuna attività specifica alla persona che la indossa se non, appunto, indossarla e proseguire la sua giornata come se nulla fosse.



Schermata di riepilogo sullo stato delle proprie scarpe

La scarpa sarà attiva tutto il tempo e nel momento in cui l'utente vorrà, potrà consultare l'applicazione per avere i singoli dati in tempo reale e monitorare la sua andatura o esplorare l'universo Feetable. La scarpa lavorerà in background in sintonia con l'applicazione, registrando i dati e fornendo notifiche push relative a consigli ed inviti a migliorare determinati aspetti.

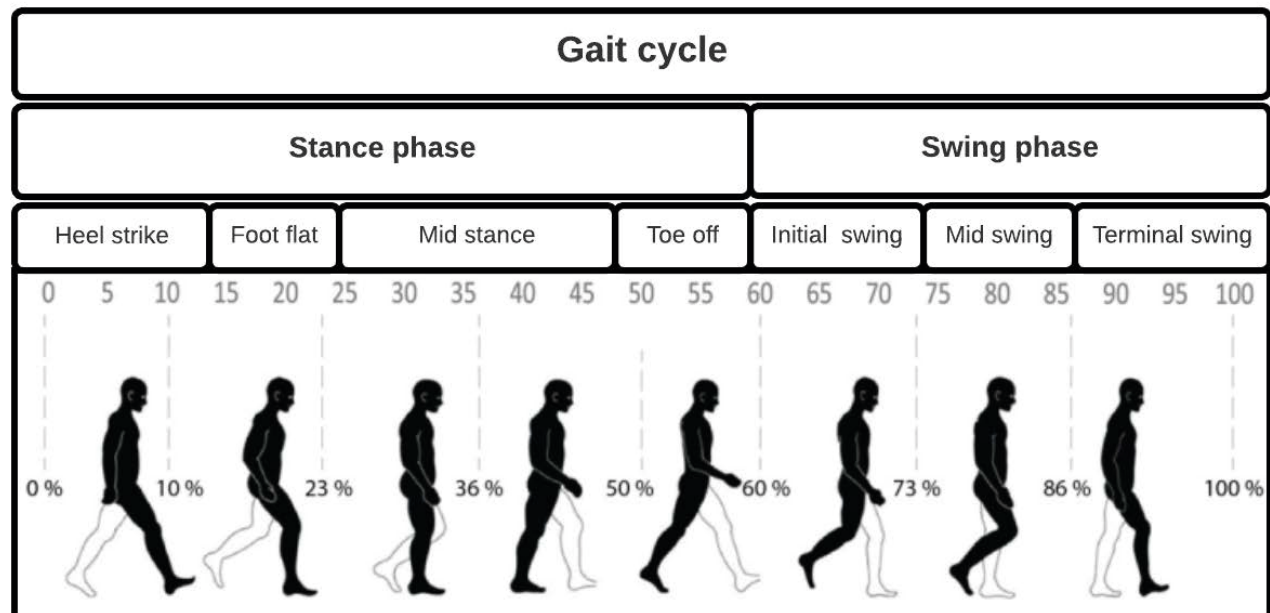
A fine giornata l'utente può consultare il reso conto della sua attività e la sezione "report": una sezione in cui i dati non vengono presentati singolarmente, come nel live tracking, ma sotto forma di una panoramica che permette alla persona di comprendere il modo in cui cammina, la sua andatura e la mappa di pressione. Questi dati potranno essere approfonditi grazie alle spiegazioni ed ai collegamenti alle fonti scientifiche che hanno strutturato le motivazioni per la creazione di questo progetto.



Un'andatura scorretta, un passo troppo basso, un angolo di battuta troppo accentuato ed altri aspetti possono risultare molto impattanti su muscoli e articolazioni, soprattutto nel lungo periodo.

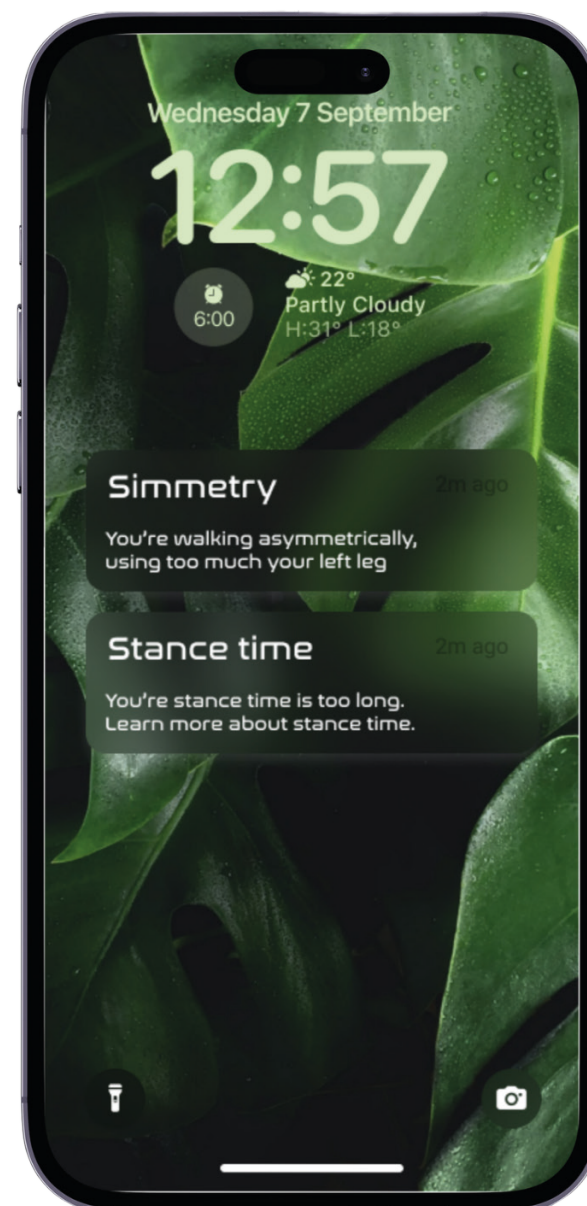
Come dimostra l'immagine, si può distinguere il ciclo di un passo in due fasi

distinte, la fase di oscillazione e quella di appoggio. Migliorare questi aspetti può contribuire a diminuire l'affaticamento di fine giornata, i dolori articolari ma, ancor più importante, prevenire patologie future grazie a piccoli accorgimenti. I sensori, dati e report forniti dall'applicazione aiuteranno l'utente nella comprensione del proprio ciclo e nel valutarne la qualità.



A sx: esempio di notifica in tempo reale su smartwatch. A dx: ciclo del passo. Fonte: Asif et al. (2021)

È ovvio come un'analisi di questo tipo effettuata tramite una scarpa piuttosto che per mezzo di un altro wearable oggi presente sul mercato (bande, smartwatches etc.), risulti vantaggiosa e più accurata. Feetable non è un dispositivo medico e non può sostituire una figura del genere, ma è indubbiamente un dispositivo utile a promuovere un miglioramento delle proprie condizioni. I suggerimenti forniti dai report, infatti, riguardano le conseguenze di un determinato stile di andatura ma anche indicazioni, per esempio, su una eventuale soletta personalizzata utile a migliorare la propria condizione; a supporto dell'utente, sono previste notifiche push riguardo all'attività in atto.



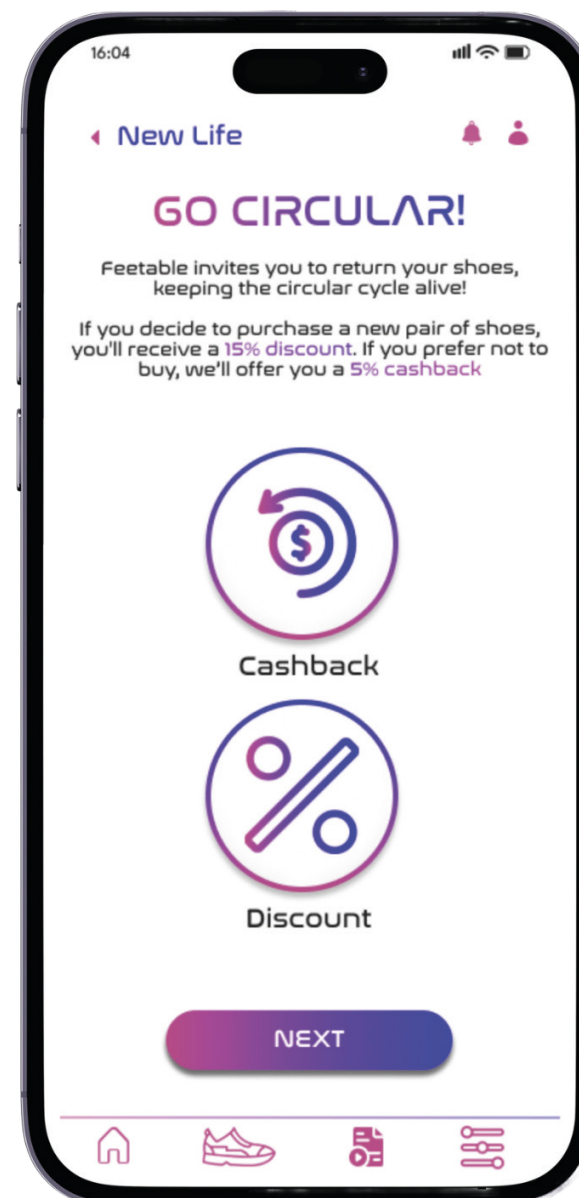
3.8 Gestione del rifiuto e sviluppo sostenibile

Come visto precedentemente, la progettazione della scarpa è stata guidata, tra le altre cose, anche dalla sua sostenibilità e circolarità. In quanto produttore di prodotto tecnologico, Feetable è responsabile degli impatti che esso produce e di conseguenza del suo corretto smaltimento e del rispetto della circolarità. È fondamentale quindi considerare che la vita utile del prodotto non finisce nel momento in cui esso perde le caratteristiche per ottemperare alle sue funzioni primarie (causa deterioramento o rottura) e, di conseguenza, progettare la relazione dell'utente con lo stesso anche in questo momento. È per questo motivo che è stato previsto uno specifico sistema per questa fase, che coinvolge l'utente in cambio di una ricompensa. All'interno dell'applicazione è prevista una sezione di procedura guidata per il reso delle scarpe. L'utente dovrà semplicemente rendere disponibili le scarpe per il ritiro, presso

la propria abitazione o pick up point, in modo tale che esse possano essere condotte verso la fase di smaltimento e rigenerazione. Per far sì che quanti più utenti possibile attivino questa procedura, Feetable non prevede solo uno sconto offerto per l'acquisto di una nuova calzatura (pari al 15% del prezzo del nuovo acquisto (soluzione tipica adottata dai produttori) ma, in ottica di responsabilità, permette anche la scelta, nel caso in cui l'utente non voglia acquistare un nuovo paio di scarpe, di ottenere un cashback pari al 5% del prezzo di acquisto.

Questo tipo di operazione permette di attivare una dinamica win-to-win in cui sia il produttore che il cliente possono ritenersi soddisfatti ed ottenere una “ricompensa”, che nel caso del produttore è materiale prezioso da poter reintegrare nelle nuove produzioni.

Analizzando e ricapitolando lo scenario delineato con Feetable dal punto di vista di un designer, a partire dalle prime ipotesi fino a questa ultima fase di definizione, si può affermare che, attraverso questa dinamica, produttore e cliente attivano una condizione di “partnering” nella quale, ognuno con il proprio ruolo, contribuiscono attivamente sia su aspetti user-centered sia su aspetti più ampi come quelli relativi alla sfera ambientale. Prendendo come quadro di riferimento l’agenda 2030 dell’unione europea, possiamo definire in che modo e misura Feetable contribuisca agli obiettivi per uno sviluppo sostenibile:





Goal 3: Feetable, inteso qui come scarpa intelligente, può contribuire a migliorare la salute delle persone favorendo un'attività fisica regolare e migliorata. Monitorare il movimento e prevenire posture errate o lesioni legate alla camminata può avere un impatto positivo sulla salute, in particolare durante la crescita se si parla della versione da bambino, promuovendo benessere fisico e uno stile di vita attivo.



Goal 9: questo progetto sfrutta l'innovazione tecnologica per migliorare la vita quotidiana e introdurre soluzioni smart nel campo dell'abbigliamento e della salute. Utilizzando una combinazione di elettronica ad hoc, rappresenta un esempio di come la tecnologia possa essere integrata nei prodotti di uso comune, promuovendo nuove forme di imprenditorialità e sostenendo l'evoluzione dell'industria della calzatura.



Goal 12: la questione della riciclabilità e del riuso delle componenti elettroniche è affrontata esplicitamente riducendo i rifiuti e promuovendo la circolarità. Attraverso un sistema che facilita il recupero della batteria, dei sensori e di altre componenti, si mira a ridurre l'impatto ambientale, allungando la vita utile dei materiali e limitando la produzione di rifiuti elettronici.

3.9 Carattere innovativo

Feetable risulta essere un progetto innovativo sotto diversi aspetti.

Innanzitutto, il progetto rappresenta un nuovo modo di produrre un dispositivo indossabile, facendo in modo tale che esso sia costituito da un unico elemento.

Il processo è stato studiato appositamente per la produzione di questo specifico tipo di calzatura e non ne esistono simili precedentemente sviluppati.

L'innovazione tecnologica risulta quindi proprio in questo, ovvero lo studio di un processo e di un kit di componenti elettroniche atte alla produzione di una calzatura intelligente composta da un solo materiale, senza collanti.

In secondo luogo, Feetable rappresenta una nuova proposta in un mercato crescente che, come visto nei precedenti

capitoli, inizia a proporre soluzioni di monitoraggio del piede e della propria attività. Tuttavia, Feetable lo fa in maniera differente, sia grazie alla tecnologia, sia implementando diverse funzioni in maniera inedita, sia contribuendo in modo massiccio alla sostenibilità del prodotto, del processo e del suo recupero.

Attraverso questi aspetti, il progetto si rivolge agli utenti in modo nuovo e migliorato, dando vita ad un nuovo tipo di wearable device appetibile e che migliora la quotidianità.

CAPITOLO 4

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

4.1 Risultati ottenuti, criticità e possibili evoluzioni

Feetable si configura come un marchio produttore di smart shoes stampate in 3D e prodotte rispettando le dinamiche del design circolare. Partendo da un'analisi del contesto relativo alle tecnologie additive ed i wearable devices, approfondendo le sperimentazioni dei vari marchi di calzature negli anni ed il loro impatto sul mercato, il prodotto nato da questo lavoro di tesi si propone come un nuovo tipo di dispositivo indossabile che migliora le potenzialità dello stato dell'arte suggerendo una nuova combinazione di sistemi (calzature, wearable devices, salute, processi additivi) ed un nuovo metodo produttivo per il settore moda-tech, implementano nuove funzionalità integrate. Più precisamente, il prodotto sviluppato nel presente lavoro, identificabile con il marchio Feetable, è riferibile al sistema di produzione di una scarpa intelligente tramite stampa FFF e posizionamento, durante il

processo, di un kit elettronico all'interno dell'intersuola; tale prodotto è sviluppato tenendo conto della Responsabilità Estesa del Produttore per la quale si è progettato anche il ciclo di recupero e ri-lavorazione del rifiuto. "Feetable 1 by Trittico" rappresenta l'output formale della progettazione oggetto di questa tesi. Come è naturale per un lavoro svolto a questo livello, vi sono questioni che necessitano ulteriori approfondimenti e test ma si può affermare che le basi per un concreto sviluppo sul mercato sono state create.

Gli sviluppi futuri per questa scarpa intelligente si concentrano in primis sull'incremento dell'efficienza energetica, studiando soluzioni innovative come l'implementazione di sensori e sistemi piezoelettrici; questo approccio permetterebbe di convertire parte dell'energia cinetica del piede in carica

elettrica sfruttando i movimenti naturali dell'utente durante la camminata. Qualcosa di simile è già stato ipotizzato, come per esempio il caso studio di Vibram con "Hero", il concept di una calzatura in grado di produrre energia per caricare lo smartphone, ma esaminando ed approfondendo il tema, si evidenzia che, volendo mantenere intaccati comfort e vestibilità della calzatura, la quantità di energia prodotta è ancora bassa ed insufficiente. L'obiettivo di questo sviluppo sarà quello di aumentare l'autonomia della scarpa e ridurre la dipendenza dalle batterie, minimizzando così la frequenza di ricarica o addirittura rendendola completamente autonoma dal punto di vista energetico.

Un'ulteriore possibilità è rappresentata dall'integrazione dell'intelligenza artificiale nel progetto, ampliando le capacità analitiche e predittive

dell'applicazione mobile e rendendole più profonde, potendo fornire un'esperienza utente più ricca ed accurata. Tale sviluppo potrebbe prevedere anche, seppur non tecnicamente correlato, lo sviluppo di un real-time feedback durante l'attività, atto ad aiutare l'utente nella correzione della propria attività.

Una criticità del progetto risiede nell'impossibilità di riparazione delle componenti elettroniche senza compromettere l'integrità della scarpa: in caso di rottura di un elemento, infatti, essa andrà distrutta per poter operare la riparazione. Il flusso è così previsto: il cliente restituisce la scarpa non funzionante, l'azienda provvede all'invio di un nuovo paio garantendo la continuità d'uso e mantenendo alta la soddisfazione del consumatore. La scarpa difettosa viene tagliata ed a questo punto sia TPU che elettronica seguono il processo di

riciclo e recupero già progettato. Grazie a questo approccio, questa criticità risulta probabilmente impattante nel percepito, ma meno dal punto di vista tecnico in quanto il ciclo di sostenibilità del prodotto non viene rotto. Tuttavia, si riconosce la necessità di sviluppare soluzioni future che eliminino questa criticità, come sistemi modulari che permettano la sostituzione dei componenti elettronici senza compromettere il prodotto ed allinearsi al meglio con i principi di un design totalmente sostenibile.

A livello di mercato, Feetable si posiziona in un contesto particolarmente favorevole: negli ultimi cinque anni, infatti, il mercato dei dispositivi indossabili ha subito una notevole crescita dal punto di vista delle calzature, abituando il pubblico all'idea di indossare prodotti di questo tipo. Feetable punta a differenziarsi dai competitor tramite un approccio innovativo e

funzionalità distintive, ma anche grazie alla sostenibilità e alla facilità di riciclo dei materiali, in linea con i principi del design circolare.

RINGRAZIAMENTI

Lo sviluppo di questa ricerca e del progetto sono risultati molto interessanti e stimolanti oltre che formativi, permettendomi di approfondire la conoscenza e competenze su aspetti tecnici relativi al processo ma anche culturali, relativi al contesto e mercato, potendo quindi sviluppare un concept che pone concretamente delle basi per ulteriori sviluppi.

In particolare, i miei ringraziamenti vanno al relatore, il Prof. Mattia Mele, che si è dimostrato sempre celere, disponibile e pronto ad ascoltare dubbi e richieste e capace di dare sempre risposte e consigli mirati ed utili all'avanzamento del progetto.

Ringrazio anche Paolo Cosseddu, tutor e collega che, sin da prima della genesi del tema di ricerca, è sempre stato disponibile ad aiutare e fonte di input da offrire nelle fasi critiche di sviluppo del progetto, dimostrando un grande altruismo e umanità.

BIBLIOGRAFIA

Asif, M., Tayyab, M. A., Shahid, M. H., Arif, U., Tiwana, M. I., Khan, U. S., & Qureshi, W. S. (2022). *Analysis of Human Gait Cycle With Body Equilibrium Based on Leg Orientation*. IEEE Access, 10, 123177–123189. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3222859>

Baid, N. (2023). *Wearables: Technology That Can Be Worn*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4385581>

Bhagat, H. R. (2017 Mar 19). *GET - Lechal: Smart Interactive Insoles [Feel Smart]*. The Economic Times (Online) <https://www-proquest-com.ezproxy.unibo.it/newspapers/get-lechal-smart-interactive-insoles-feel/docview/1878489279/se-2>

Blazey, P., Michie, T. V., & Napier, C. (2021). *A narrative review of running wearable measurement system accuracy and reliability: Can we make running shoe prescription objective?* Footwear Science, 13(2), 117–131. <https://doi.org/10.1080/19424280.2021.1878287>

Bosch, K., Gerß, J., & Rosenbaum, D. (2010). *Development of healthy children's feet—Nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns*. Gait & Posture, 32(4), 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.08.003>

Braun, B. J., Veith, N. T., Hell, R., Döbele, S., Roland, M., Rollmann, M., Holstein, J., & Pohlemann, T. (2015). *Validation and reliability testing of a new, fully integrated gait analysis insole*. Journal of Foot and Ankle Research, 8(1), 54. <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0111-8>

Chong, K. P. L., Guo, J. Z., Deng, X., & Woo, B. K. P. (2020). *Consumer Perceptions of Wearable Technology Devices: Retrospective Review and Analysis*. JMIR mHealth and uHealth, 8(4), e17544. <https://doi.org/10.2196/17544>

Garner, S. (2024 Jun 25). *How 3D-Printed Shoe Innovator Zellerfeld Is Hoping to 'Demolish' Traditional Footwear Production Barriers*. Footwear News: FN (Online), <https://www-proquest-com.ezproxy.unibo.it/magazines/how-3d-printed-shoe-innovator-zellerfeld-is/docview/3072050115/se-2>

Grimm, T. (2004). *User's Guide to Rapid Prototyping*. Society of Manufacturing Engineers. <https://books.google.it/books?id=o2B7OmABPNUC>

Jianlin, H., King, R. R., Yuan, C., & Weijun, W. (2024). *A knitted smart sneaker system based on piezoresistive strain sensing for stride counting*. *Industria Textila*, 75(01), 97–101. <https://doi.org/10.35530/IT.075.01.20232>

Koska, D., Gaudel, J., Hein, T., & Maiwald, C. (2018). *Validation of an inertial measurement unit for the quantification of rearfoot kinematics during running*. *Gait & Posture*, 64, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.06.007>

Lu, L., Zhang, J., Xie, Y., Gao, F., Xu, S., Wu, X., & Ye, Z. (2020). *Wearable Health Devices in Health Care: Narrative Systematic Review*. JMIR mHealth and uHealth, 8(11), e18907. <https://doi.org/10.2196/18907>

Lee, Gysung MS1; Pollo, Fabian E. (2001). *Technology Overview: The Gait Analysis Laboratory*. *Journal of Clinical Engineering* 26(2):p 129-135.

Mackintosh, K. A., Chappel, S. E., Salmon, J., Timperio, A., Ball, K., Brown, H., Macfarlane, S., & Ridgers, N. D. (2019). *Parental Perspectives of a Wearable Activity Tracker for Children Younger Than 13 Years: Acceptability and Usability Study*. JMIR mHealth and uHealth, 7(11), e13858. <https://doi.org/10.2196/13858>

Mele, M., & Campana, G. (2021). *Tecnologie additive. Introduzione ai processi e alle strategie produttive*. Esculapio. <https://books.google.it/books?id=7BwwzgEACAAJ>

Minaoglou, P., Efkolidis, N., Manavis, A., & Kyratsis, P. (2024). *A Review on Wearable Product Design and Applications*. Machines, 12(1), 62. <https://doi.org/10.3390/machines12010062>

Mohammed, Z., & Redzuan, F. (2020). *Parent's acceptance on wearable technology for children's safety*. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 17(2), 1066. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i2.pp1066-1073>

Nanni, A., Crosetta, L., La Fauci, G., Biagi, F., Parisi, M., Colombo, D., & Colonna, M. (2023). *Study of the mechanical properties of thermoplastic polyurethane (TPU) recycled from end-of-life ski-boots and techno-economic analysis (TEA) of the mechanical recycling processes*. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 33, 101059. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101059>

Paluch, A. E., Bajpai, S., Bassett, D. R., Carnethon, M. R., Ekelund, U., Evenson, K. R., Galuska, D. A., Jefferis, B. J., Kraus, W. E., Lee, I.-M., Matthews, C. E., Omura, J. D., Patel, A. V., Pieper, C. F., Rees-Punia, E., Dallmeier, D., Klenk, J., Whincup, P. H., Dooley, E. E., Fulton, J. E. (2022). *Daily steps and all-cause mortality: A meta-analysis of 15 international cohorts*. The Lancet Public Health, 7(3), e219–e228. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00302-9](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00302-9)

Pineda-Gutierrez, J., Miro-Amarante, L., Hernandez-Velazquez, M., Sivianes-Castillo, F., & Dominguez-Morales, M. (2019). *Designing a Wearable Device for Step Analyzing*. 2019 IEEE 32nd International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS), 259–262. <https://doi.org/10.1109/CBMS.2019.00062>

Savini, A., & Savini, G. G. (2015). *A short history of 3D printing, a technological revolution just started*. 2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and Their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON), 1–8. <https://doi.org/10.1109/HISTELCON.2015.7307314>

Staikos, T., & Rahimifard, S. (2007). *Post-Consumer Waste Management Issues in the Footwear Industry*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 221(2), 363–368. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM732SC>

Van Rensburg, M. L., Nkomo, S. L., & Mkhize, N. M. (2020). *Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry: A review*. Waste Management & Research, 38(6), 599–613. <https://doi.org/10.1177/0734242X20908938>

Quantis (2018) *Measuring fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study*. Quantis BCG company. 17-26 https://catalogue.unccd.int/1359_measuringfashion_globalimpactstudy_full-report_quantis_cwf_2018a.pdf

Zolfagharian, A., Lakhi, M., Ranjbar, S., & Bodaghi, M. (2021). *Custom Shoe Sole Design and Modeling Toward 3D Printing*. International Journal of Bioprinting, 7(4), 396. <https://doi.org/10.18063/ijb.v7i4.396>

SITOGRAFIA

MarketAndMarket (2022). *Wearable Technology Market by product*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wearable-electronics-market-983.html/>

Mougenot, A. (2023, dicembre 12). *Industrial Design Trends to Watch in 2024*. Dienamics. <https://dienamics.com.au/blog/industrial-design-trends-to-watch-in-2024/>

Sneha Mali (2024). *Children Smartwatch Market Report*. Global Edition, Cognitive Market Research. https://www.cognitivemarketresearch.com/children-smartwatch-market-report?campaign_source=google_ads&campaign_name=cmr_max7_EURO&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw68K4BhAuEiwAyIp3kkUVpyxX56WYbq7UJGi2Iq8o0U_y958bcRRbexqddJFYru-WxWzQxoCTPIQAvD_BwE#tab_report_details

