



**POLITECNICO
DI TORINO**

**Facoltà di Architettura
Laurea Magistrale in Design Sistemico**

Design Sistemico per la Produzione di Dispositivi Ortopedici

**Fabbricazione digitale individuale di
Prodotti Ortopedici**

Candidato

Paola Andrea Torres Avila

Relatore

Fabrizio Valpreda

Politecnico di Torino

2018

Abstract

Le mine anti personale in **Colombia** vengono utilizzate come un meccanismo di protezione per le colture di droga in zone di montagna e giungla del nostro territorio, anche essi agiscono come difesa armata gruppi fuorilegge, che dal 1990 hanno mietuto vittime con utilizzare.

Il conflitto armato interno ha causato più di 11.000 feriti con l'uso di mine antiuomo e altri ordigni esplosivi, impiantato in **515 comuni in 32 dipartimenti**. In percentuale, il 20% di queste persone non può sopravvivere, o perché muoiono sul luogo dell'esplosione o perché muoiono prima di ricevere cure mediche adeguate. Questo è dovuto in gran parte al fatto che i comuni più colpiti da questo tipo di ordigni esplosivi sono lontani dai comuni, rendendo difficile trasportare i feriti in ospedale. L'80% dei sopravvissuti soffre di un qualche tipo di mutilazione, con gli arti inferiori più frequentemente colpiti.

Il ferito deve attraversare un processo di riabilitazione lungo, soffrendo vari livelli di amputazione degli arti inferiori, che impedisce loro di svolgere le attività quotidiane e tornare alla vita lavorativa. Questo genera un impoverimento accelerato, perché sono per lo più le persone con bassi livelli di reddito, questo, combinato con i costi elevati che devono pagare per i servizi medici e dispositivi ortopedici.

Alla ricerca di una soluzione, le nuove tecnologie sono state analizzate per l'uso con l'obiettivo di ridurre i costi di produzione digitale individuale di questo tipo di prodotto. Questa proposta presenta un sistema diverso dal tradizionalmente usato per produrre i protesi, che genera che sono coinvolti vari soggetti nel sistema, tra i quali comprendono il movimento **Makers** in Colombia, che stanno già costruendo le proprie stampanti e filamenti in vari materiali, questo favorisce il miglioramento del territorio, un aumento dei posti di lavoro intorno alla produzione di protesi, lavoro collaborativo e l'inclusione sociale, il tutto ha portato a risultati nella disponibilità del prodotto per l'utente finale (ferito dal MAP).

Anti-personnel mines (APM) in **Colombia** are used as a protection mechanism for drug crops in the mountainous areas and in the forest of our territory, they also act as a defense for illegal armed groups, which since 1990 have claimed victims with its use.

The internal armed conflict has caused more than 11,000 wounded by the use of antipersonnel mines and other explosive devices implanted in **515 municipalities in the 32 departments of the country**. As a percentage, 20% of these people cannot survive, either because they die at the site of the explosion or because they die before receiving appropriate medical attention. This is due in large part to the fact that the municipalities most affected by this type of explosive devices are removed from the municipal capitals, which makes it difficult to transfer the injured to a hospital center. with the lower extremities being the most frequently affected.

The APM wounded must undergo long rehabilitation processes, as they suffer from various levels of amputation in the lower extremities, which prevents them from carrying out daily tasks and returning to working life. This generates an impoverishment of the accelerated form, since most of them are already people with low income levels and the high costs they have to pay for the medical services and orthopedic devices that are added to it.

In search of a solution, the new technologies were analyzed to be used with the objective of reducing costs in the individual digital production of this type of product. This proposal proposes a different production system from the one has traditionally used to produce prosthesis, which generates several actors involved in this system, among which we can mention the movement of the makers in Colombia, who are already building their own printers and filaments of production in several materials, this promotes the improvement of the territory, the increase of the places of work around the production of prosthesis, the collaborative work and the social inclusion, all led to results in the accessibility of the product for the final user (who was injured by the APM).

INDICE

INTRODUZIONE

1. LE MINE ANTI PERSONALI E IL CONFLITTO INTERNO IN COLOMBIA

1.1	Il conflitto	2
1.2	Mina Antipersona o Antiuomo	4
1.2.1	Tipi di Mine	5
1.2.1.1	Tipo chimico per pressione	5
1.2.1.2	Tipo elettrico per pressione	5
1.2.1.3	Pirotecnica tipo di tropiezo	5
1.2.1.4	Tipo elettrico per movimento	6
1.2.1.5	Tipo elettrico di tropiezo	6
1.2.1.6	Mina antigroup improvvisata	6
1.2.1.7	Tipo meccanico per la pressione	7
1.2.1.8	Tensione di pressione di tipo elettrico	8
1.3	Dati dei feriti in Colombia per mine antipersonali	9
1.3.1	Vittime MAP e UXO in base all'età e alla fascia di età	9
1.3.2	Frequenza annua degli incidenti per dipartimento	9
1.3.3	Vittime MAP e UXO per gruppo etnico	10
1.4	Sminamento umanitario	11
1.4.1	Tipo di Mine terrestre in Colombia	11
1.4.1.1	Mine Antiuomo (MAP)	11
1.4.1.2	Munizioni inesplose (MUSE)	12
1.4.2	Fasi di sminamento umanitario	12
1.4.2.1	Studio non tecnico	12
1.4.2.2	Studio tecnico	12
1.4.2.3	Liquidazione	12
1.5	Tecniche di Sminamento	12
1.5.1	Manuale	12
1.5.2	Meccanico	13
1.5.3	Canine	13
1.6	Strategie in contro delle MAP	13

2. ATTENZIONE MEDICA AI FERITI DA MINE ANTIPERSONALI

2.1	Assistenza medica	17
2.1.1	Attenzione medica di urgenza	17
2.1.2	Cure ospedaliere	18
2.1.3	Riabilitazione e reintegrazione	18
2.1.4	Reintegrazione sociale ed economica	19

3. SITUAZIONE ATTUALE: TIPI DI FERITE, PRODOTTI E METODI DI FABBRICAZIONE

3.1	Tipi di lesioni causate da MAP	24
3.2	Livello di amputazione per estremità inferiore	25
3.3	Tipi di Protesi per Estremità inferiore	26
3.3.1	Protesi per l'amputazione delle dita del piede	26
3.3.2	Protesi per amputazione transmetatarsale	27

3.3.3	Protesi per l'amputazione di Lisfranc	27
3.3.4	Protesi per amputazione Chopart	27
3.3.5	Protesi Syme per amputazione	27
3.3.6	Protesi tibiali PTB, PTS e KBM	27
3.3.7	Protesi tibiale con pizzo 3S (sospensione di aspirazione siliconica)	27
3.3.8	Protesi endoscheletriche per disarticolazione del ginocchio	27
3.3.9	Protesi femorale con pizzo CAT-CAM	27
3.3.10	Protesi femorale con sezione quadrangolare	28
3.3.11	Protesi per la disarticolazione dell'anca e dell'emisectomia	28
3.3.12	Protesi tibiale esoscheletrica PTB, PTS, KBM	28
3.3.13	Protesi esoscheletrica per disarticolazione del ginocchio	28
3.3.14	Protesi esoscheletrica femorale con sezione quadrangolare	28
3.4	Parti della protesi	28
3.4.1	Liner	28
3.4.1.1	Silicona (SIL)	28
3.4.1.2	Poliuretano (PUR)	29
3.4.1.3	Copolimero (COP)	29
3.4.2	Socket o presa	29
3.4.2.1	Presa convenzionale	29
3.4.2.2	Presa quadrangolare	29
3.4.2.3	Presa di contatto totale	30
3.4.3	Sistema di sospensione	30
3.4.3.1	Sistema di sospensione con valvola di aspirazione	30
3.4.3.2	Sistema di sospensione con cinghie flessibili o cinghie che circondano il Vita	31
3.4.3.3	Sistema di sospensione con cinghie rigide	31
3.4.3.4	Ginocchio protesico	31
3.4.4.1	Meccaniche	31
3.4.4.1.1	Ginocchio singolo asse	31
3.4.4.1.2	Ginocchia policentriche	32
3.4.4.1.3	Ginocchia bloccanti manuali	32
3.4.4.1.4	Ginocchio con controllo della posizione attivato dal peso	32
3.4.4.2	Idrauliche	33
3.4.4.3	Neumatiche	33
3.4.4.4	Ginocchetti computati (con microprocessori)	33
3.4.5	Pilastro	33
3.4.6	Piede protesico	33
3.4.6.1	Piede non articolato	34
3.4.6.1.1	Piede Sach	34
3.4.6.1.2	Piede con chiglia elastica	34
3.4.6.2	Piede articolato	34
3.4.6.2.1	Piede di asse semplice	35
3.4.6.2.2	Piedi multiasse	35
3.4.6.2.3	Piedi di risposta dinamica	35
3.5	Processi di Fabbricazione dei protesi per estremità inferiore	35
3.5.1	Metodo tradizionale	35
3.5.1.1	Bende di gesso	35
3.5.1.2	Stampo in gesso	36
3.5.1.3	Termoformato al vuoto	36
3.5.1.4	Assemblaggio dei componenti	36
3.5.2	Metodo utilizzando Scanner e Stampa 3D	37
3.5.2.1	Scanner 3D	37
3.5.2.2	Modellazione 3D	37
3.5.2.3	Produzione delle parti	37
3.5.2.3.1	Fresatrice numerica	37
3.5.2.3.2	Stampante 3D	37

3.5.2.4 Assemblaggio dei componenti	38
-------------------------------------	----

4. SCENARIO LE TECNOLOGIE 3D

4.1 Scanner 3D	40
4.1.1 Definizione di Scanner 3D	40
4.1.2 Tipi di Scanner 3D	40
4.1.2.1 Scanner 3D a contatto	40
4.1.2.2 Scanner 3D senza contatto	40
4.1.2.2.1 Laser	40
4.1.2.2.2 Luce bianca strutturata	40
4.1.2.2.3 Tempo di volo (Time of flight)	41
4.2 Stampante 3D	41
4.2.1 Definizione di Stampante 3D	41
4.2.2 Processo di stampa	41
4.2.3 Tipi di stampanti 3D	41
4.2.3.1 Modellazione mediante deposizione fusa (FDM)	41
4.2.3.2 Stereolitografia (SLA)	42
4.2.3.3 Elaborazione digitale della luce (DLP)	42
4.2.3.4 Sinterizzazione laser selettiva (SLS)	43
4.2.3.5 Fusione laser selettiva (SLM)	43
4.2.3.6 Fusione a fascio di elettroni (EBM)	44
4.2.3.7 Fabbricazione per oggetti rotanti (LOM)	44
4.2.3.8 Iniezione di legante (BJ)	44
4.2.3.9 Iniezione di materiale (MJ) / stampaggio a cera persa	45
4.2.4 Usi della stampante 3D	46

5. PROGETTAZIONE DI PIEDE PER PROTESI DI ESTREMITA INFERIORE

5.1 Biomeccanica della Caviglia	54
5.1.1 Flesso estensione	54
5.1.2 Cinetica	55
5.2 Tipi di filamenti per Stampa 3D	56
5.2.1 PLA	56
5.2.2 ABS	57
5.2.3 Fibra di Carbonio	58
5.3 Requisiti della Progettazione	59
5.3.1. Forma	59
5.3.2. Materiale	59
5.3.3. Tecnologia	59
5.3.4. Modularità	60
5.3.5. Flessibilità	60
5.3.6. Usabilità	60
5.3.7. Ciclo di vita	60
5.4 Strategie di progettazione	60
5.4.1 Forma	60
5.4.2 Materiale	61
5.4.3 Tecnologia	61
5.4.4 Modularità	61
5.4.5 Flessibilità	62
5.4.6 Usabilità	62
5.4.7 Ciclo di Vita	62
5.5 Modello sistemico per la produzione digitale dei prodotti ortopedici	62
5.5.1 Attori	63

5.5.1.1 A Livello Globale	63
5.5.1.2 A Livello Nazionale	63
Conclusioni	65
Bibliografia	67
Siti web	69

Introduzione

Il creatore della mina in Europa è stato *Pedro Navarro*, ufficiale spagnolo del XVI secolo, che ha messo a punto un sistema per volare le mura di fortezze in Italia. Sebbene nella Guerra Civile venissero già utilizzate versioni più primitive, le mine anticarro iniziarono ad essere utilizzate durante la **Prima guerra mondiale**. Durante la Seconda guerra mondiale si diffuse l'uso di mine anti persona in Europa e Nord Africa.

Durante la Guerra fredda, furono usati intensamente nei conflitti locali. In **Vietnam**, l'esercito americano ha iniziato a lanciarli dal cielo. Nel corso del tempo, è stato frequentemente utilizzato dagli eserciti ribelli in luoghi di coltivazione, fonti d'acqua e altre infrastrutture di base. Così, hanno iniziato a essere usati in molti conflitti come arma contro la popolazione civile, terrorizzandola e negando l'accesso alle risorse di base.

Le mine antiuomo sono state utilizzate nei conflitti in Angola, Afghanistan, Argentina, Bosnia, Cambogia, Cecenia, Cile, Colombia, Ecuador, Egitto, Guatemala, Kosovo, Mozambico, Falkland, Nicaragua, El Salvador, il Sudan, il Sahara Occidentale, tra gli altri.

Nel 2005, un rapporto delle Nazioni Unite (**ONU**) ha stimato che oltre 167 milioni di questi dispositivi sono stati archiviati in tutto il mondo, 82 paesi hanno mine non localizzate. Tra 15 mila e 20 mila persone nel mondo sono vittime ogni anno di mine anti persona.

La **Colombia** è il secondo paese più colpito dalle mine in tutto il mondo, questo assicura una relazione della Direzione Contro le Mine della Presidenza della Repubblica, che indica anche che dal 1985 al 31 maggio 2018 sono stati colpiti 11.585 persone nel nostro territorio. Questa cifra è tutt'altro che incoraggiante, anche se hanno cominciato a sminare i **688 comuni** che hanno piantato le mine questo come parte del **Trattato di Ottawa** (firmato il 4 novembre 1997 da 122 governi, tra cui la Colombia), e gli accordi di pace firmato tra il Governo colombiano e le Forze Armate Rivoluzionarie di Colombia (FARC), che si è conclusa il conflitto armato con la firma di tali accordi il **26 settembre 2016**.

Ora, se sei stato scontri sospesi tra l'esercito e la guerriglia c'è ancora molto da fare, in quanto vi sono migliaia di persone colpite dal conflitto, i contadini sfollati dalle loro terre, che sono stati costretti a venire verso le grandi città per sopravvivere agli scontri, ma non sono ancora riusciti a tornare alle loro trame perché non è sicuro, ci sono ancora così tante mine che non sono state trovate. Ciò genera diversi problemi a livello sociale, dal momento che queste persone vivono come mendicanti nelle grandi città, poiché non hanno nessun altro posto dove andare, ma non possono nemmeno tornare alle loro case. Questo è lo

scenario migliore, perché ci sono così tanti altri contadini che hanno perso familiari o sono stati feriti a causa del conflitto. Tutti coloro che fanno parte delle statistiche come feriti, in questo caso dal **MAP**, soffrono non solo la perdita di qualsiasi parte del vostro corpo, subire anche la perdita della loro indipendenza, in quanto sono limitati nella loro mobilità, leader che non possono svolgere compiti quotidiani, tanto meno lavoro, che aumenta i problemi a livello di famiglia e l'impoverimento della comunità.

Cosa ci fa pensare di trovare una possibile soluzione attraverso la progettazione e l'uso di nuove tecnologie, per migliorare la qualità della vita dei feriti dal MAP e riportarli alla vita produttiva.