

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione



**Politecnico
di Torino**

Modellazione Frame by Frame

Progettazione e stampa 3D di pupazzi per l'animazione in
stop motion

Relatori:

prof. Riccardo Antonio Silvio Antonino
Niccolò Gioia

Candidato:

Lucia Ianniello

Abstract	7
L'Animazione 2D	10
Principi dell'animazione.....	11
Smearing	18
Esempi di utilizzo degli smear frames in animazione.....	19
Animazione 2D.....	19
Animazione 3D.....	20
Stop Motion.....	21
L'animazione in Stop Motion	22
La Stampa 3D	25
Tecnologie di Stampa 3D.....	25
Materiali per la Stampa 3D	29
Fasi del processo di stampa con tecnica MSLA.....	31
Supporto del modello.....	31
Stampa.....	32
Trattamento post stampa.....	32
Rimozione dei supporti e rifiniture.....	33
Pittura.....	33
Stima dei costi.....	34
Smaltimento dei materiali e sicurezza.....	35
PLA.....	35
Resina.....	36
Stampa 3D per la stop motion: tra arte e tecnologia	38
L'animazione a sostituzione.....	38
L'animazione "on ones" e "on twos".....	39
Il caso di LAIKA.....	39
Lo stato dell'arte: alcuni casi studio.....	43

Altre applicazioni della stampa 3D nella stop motion	45
Meccanismi interni	46
Armature	46
Rigs.....	47
Il progetto Gateau.....	48
CANE	49
Blender.....	53
Modellazione poligonale	53
Modificatori	54
Sculpting	56
Retopology e ottimizzazione	58
Analisi dell'animatic	60
Azioni principali	60
Animazioni cicliche	63
Ciclo di camminata	63
Ciclo di animata	64
Movimento della coda	64
Movimento delle palpebre.....	64
Realizzare gli smear frames di Gateau	66
Zampe.....	66
Coda	67
Testa	67
Elongated inbetween.....	68
Multiples	69
Remesh.....	70
Testing.....	70
Ingegnerizzazione del modello	72
Rigging.....	72

Testa-corpo	74
Occhi-testa	75
Coda-corpo	76
Testa (smear frame)	76
Tabelle riassuntive	78
Conclusioni	84
Link e Bibliografia.....	86
Riferimenti alle immagini.....	88

Ringrazio Q per le notti in bianco, per i discorsi esistenziali e per le parole incoraggianti che sa dedicarmi nei momenti più bui.

Ringrazio Claudia per la tenerezza con la quale mi ha sostenuto e per la forza con cui lotta ogni giorno con me, per lei e per me.

Ringrazio i miei genitori per il loro affetto e il loro sostegno, ma soprattutto per aver creduto in me.

Ringrazio Nico, Marco, Fede, Fili e tutte le altre persone che mi hanno accompagnata in questo viaggio di cinque anni mettendo passione in ogni progetto e impreziosendo ogni giornata passata al Poli.

Ringrazio Pava e Army per le avventure che abbiamo condiviso e le emozioni che abbiamo vissuto e affrontato insieme.

Ringrazio Irma, Marco, Gemma e Teresa per le feste e la gioia che mi regalano ad ogni occasione.

Ringrazio Chri, Ema, Matte, Ale, Fra e Tuma per i nostri momenti passati a scannarci sui giochi da tavola che mi lasciano sempre un sorriso a fine serata.

Ringrazio Nick per il supporto che mi ha dato e per la passione che mette ogni giorno nell'arte che crea.

Ringrazio Rick per avermi accolta a braccia aperte nello studio.

Ringrazio tutti i ragazzi di Robin per tutto l'aiuto e i preziosissimi consigli, in particolare Edo e Nico a cui ho rotto le scatole più di tutti.

Abstract

La stampa 3d è una tecnologia che consente la realizzazione di oggetti tridimensionali a partire da modelli realizzati in digitale. La prima stampante 3D entrò in commercio alla fine degli anni Ottanta grazie al brevetto dell'ingegnere Chuck Hull. Nel corso degli anni questa tecnologia ha conosciuto uno sviluppo significativo che ha messo a portata di mano una vasta gamma di stampanti e materiali rendendo la stampa 3D un'opzione diffusa in numerosi settori.

Tra i vari ambiti artistici all'interno dei quali la stampa 3D ha portato innovazione oltre a grandi vantaggi produttivi figura quello della stop motion.

La stop motion (o tecnica passo uno) è una tecnica di animazione presente fin dagli albori della settima arte che consiste nel simulare il movimento di oggetti inanimati attraverso una serie di fotografie riprodotte in rapida successione. Nei primi decenni di vita del cinema la stop motion era spesso impiegata nell'ambito degli effetti speciali, tuttavia con il passare del tempo la complessità e i lunghi tempi necessari per la sua realizzazione ne hanno limitato l'uso, confinandola ad una tecnica artistica di nicchia.

Nel corso degli anni gli artisti che praticavano questo tipo di tecnica hanno studiato diversi tipi di materiali che potessero agevolare il processo di animazione, senza dover rinunciare all'estetica materica dei pupazzi e delle scenografie

In questo contesto, la stampa 3D si propone come una soluzione pratica, versatile e a basso costo, il cui principale vantaggio risiede nella possibilità di serializzare rapidamente e con precisione la produzione di modelli o parti di essi destinati all'animazione.

L'aspetto interessante della progettazione di modelli 3D destinati alla stampa è la necessità di conciliare la scelte artistiche ed estetiche con le limitazioni tecniche al fine di ottenere risultati ottimali in fase di

animazione. Il modello infatti non solo deve rispettare il character design ma deve inoltre essere ottimizzato, leggero (senza che ne risenta il livello di dettaglio) e ingegnerizzato in modo tale da poter essere facilmente assemblato e modificato rendendo la fase di animazione il più fluida possibile.

Ma quindi come si realizza un modello da stampare in 3D e quali sono le varie fasi di progettazione che consentono di stampare un modello funzionale alla stop motion?

In questa tesi approfondirò questo tema contestualmente alla realizzazione di un personaggio chiave del cortometraggio “Gateau” di Niccolò Gioia, scritto da Riccardo Silvio Antonino e prodotto da Robin Studio s.r.l.

Il personaggio in questione è CANE, uno Zwergpinscher tonto e nevrotico, concepito per essere realizzato completamente tramite stampa 3D a resina. Analizzerò ogni fase di realizzazione a partire dal concept, passando per gli approcci alla modellazione 3D e l'ingegnerizzazione del modello per concludere con le prove di animazione. Il concept e il character design di CANE erano già stati realizzati e curati da Niccolò Gioia e dal tesista Alessandro Vaccarino. L'idea di partenza è stata quella di realizzare un modello 3D “schacciato” in due dimensioni e molto stilizzato attribuendo così al personaggio del cane molte caratteristiche tipiche dell'animazione classica in 2D.

Dopo aver stabilito il concept si è proseguito con l'analisi dell'animatic (realizzata in precedenza da Niccolò Gioia) e da ciò si è estrapolata la lista di tutte le pose necessarie.

A partire da questa ricerca è iniziato il processo di progettazione vera e propria del modello ed è arrivato quindi il momento di rispondere a diverse domande: quanti corpi bisogna modellare? Quante teste? Quanti occhi e quante code? Come incastrare insieme le varie parti per renderle facilmente interscambiabili?

Una volta definiti questi dettagli si è potuto procedere alla modellazione vera e propria utilizzando il software gratuito Blender. Durante la fase di

modellazione, al fine di ottenere un risultato coerente con il character design di CANE e al contempo ottimizzato per la stampa ho sperimentato con diverse funzionalità di Blender che descriverò in dettaglio più avanti.

È solo dopo un lungo processo “trial and error” sia nella stampa che nella modellazione che sono riuscita a raggiungere il risultato che presento in questa tesi e benché ci sia ancora molta strada da fare prima che il modello del cagnolino sia completo credo che il lavoro svolto in questo progetto sia rappresentativo di ciò che è effettivamente il percorso che dall’idea iniziale porta alla creazione di un personaggio tangibile e pronto a prendere vita grazie alla magia della stop motion, percorso non certo privo di sfide e di stimoli.

L'Animazione 2D

Animazione: "L'infondere o il ricevere l'anima, la vita: l'a. della creta, da parte di Dio, per la creazione di Adamo"

L'animazione è una tecnica cinematografica attraverso la quale disegni, modelli o oggetti vengono ripresi fotogramma per fotogramma per creare l'illusione del movimento. Con animazione 2D si intende l'arte di simulare il movimento di oggetti, personaggi e ambienti all'interno di uno spazio bidimensionale. Si basa sulla successione di disegni che variano leggermente tra un fotogramma e l'altro in modo che, se riprodotti velocemente, diano l'impressione di un movimento fluido.

Le prime sperimentazioni nell'ambito dell'animazione risalgono alla fine del XIX secolo, tuttavia l'animazione 2D come la conosciamo oggi ha iniziato a prendere forma nei primi decenni del XX secolo, con la nascita del cinema d'animazione.

Con il tempo l'animazione 2D si è evoluta, dai frame disegnati interamente a mano, con migliaia di disegni, alla produzione digitale grazie a software come After Effects che permettono un flusso di lavoro rapido ed efficiente.

Nell'animazione ogni movimento di ogni personaggio deve raccontare una storia. Per questo motivo al fine di ottenere un risultato efficace e credibile gli animatori devono seguire determinate regole che possono essere riassunte nei 12 principi dell'animazione.

Principi dell'animazione

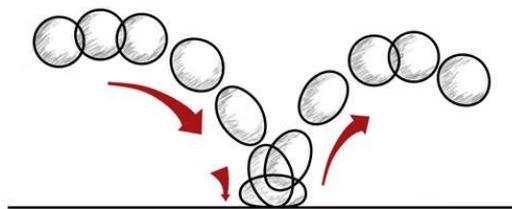
I 12 principi dell'animazione furono illustrati nel 1981 dagli animatori Frank Thomas e Ollie Johnston nel libro "The Illusion of Life". Thomas e Johnston concepirono questi principi negli anni '30 quando, lavorando per la Disney, si ritrovarono a dover ricercare dei metodi efficaci per produrre animazioni che fossero più realistiche possibile.

Dalla pubblicazione di "The Illusion of Life" l'animazione si è senz'altro evoluta, ma i 12 principi rimangono ancora la base di tutte le tecniche di animazione. I principi sono i seguenti:

- **Squash and stretch**

Si applica per conferire un senso di flessibilità agli oggetti. Ad esempio animando una palla che rimbalza essa apparirà schiacciata mentre colpisce terra.

Sebbene spesso la deformazione sia esagerata, questo principio crea l'illusione che sull'oggetto agisca una forza esterna, come nella realtà.

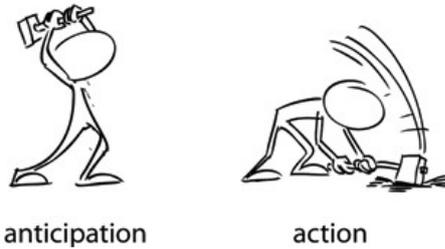


1.1 - Esempio di squash and stretch

- **Anticipation**

Questo principio serve a comunicare preventivamente allo spettatore l'azione che sta per avvenire. Consiste nel far precedere un

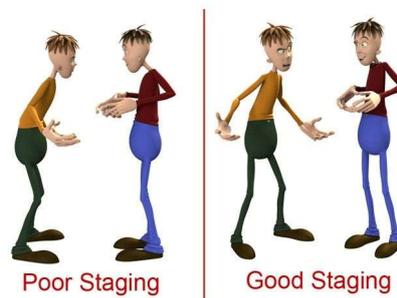
movimento da una breve azione nella stessa direzione ma con verso opposto.



1.2 - Il modo in cui l'omino alza il martello prima di utilizzarlo è un esempio di anticipazione

- **Staging**

Serve a dirigere l'attenzione dello spettatore sugli elementi importanti della storia. Si ottiene combinando inquadratura, luci e composizione ed eliminando elementi di disturbo.



1.3 - Un esempio di buona messa in scena. Nella seconda immagine sono ben visibili i volti e i movimenti dei personaggi

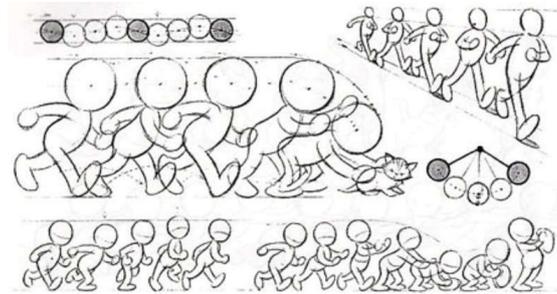
- **Straight Ahead e Pose to Pose**

Si tratta di due principi in uno e indicano due approcci diversi al disegno.

Straight Ahead: le scene vengono animate fotogramma per fotogramma dall'inizio alla fine. Questo crea un'illusione di movimento più fluida ma c'è il rischio di perdere le proporzioni.

Pose to Pose: in questo approccio gli animatori disegnano come

prima cosa dei fotogrammi chiave per poi aggiungere in un secondo momento i fotogrammi centrali. In questo caso si mette in evidenza il rapporto dell'oggetto animato con l'ambiente circostante.



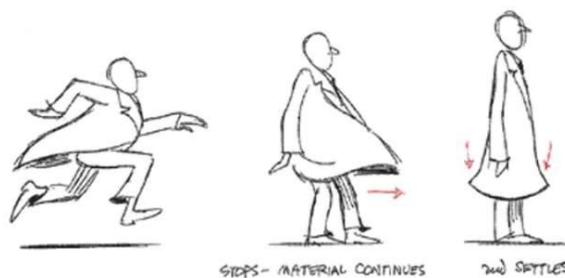
1.4 - Una serie di pose successive. Quelle più scure rappresentano le pose chiave.

- **Follow Through e Overlapping Action**

Sono due modi diversi di descrivere lo stesso principio. Il Follow Through si riferisce a come parti di un oggetto o un corpo animato continuano a muoversi dopo che questo si è fermato.

L'overlapping Action si riferisce alla diversa velocità in cui diverse parti del corpo si muovono durante l'azione.

Entrambi questi principi si combinano per rendere il movimento realistico e per creare l'illusione che i personaggi si muovano secondo le leggi della fisica.

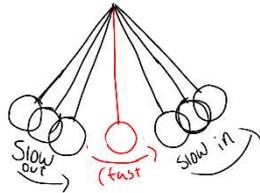


1.5 - Follow through degli abiti del personaggio

- **Slow in e Slow Out**

Nel mondo reale qualsiasi movimento parte con un'accelerazione e finisce con una decelerazione. Questo principio fa sì che anche gli oggetti animati rispettino questa regola.

Slow in - Slow Out

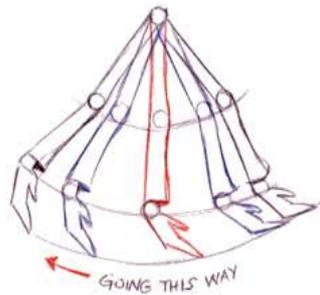


1.6 - Movimento della pallina con accelerazione e decelerazione

- **Arcs**

Seguendo questo principio tutte le azioni devono seguire una traiettoria ad arco, come avviene nel mondo reale.

Questo aiuta a far sì che i movimenti siano fluidi e naturali.



1.7 - Movimento ad arco di un braccio

- **Secondary Action**

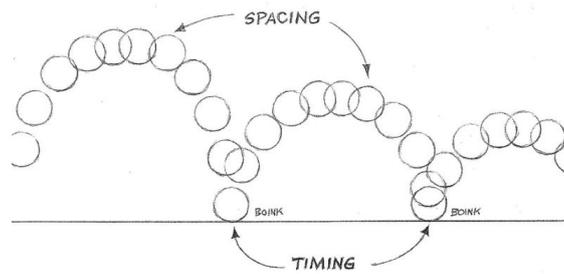
Questo principio aiuta a enfatizzare l'azione primaria e aggiunge spessore all'animazione. Si ottiene aggiungendo un'azione secondaria contemporanea a quella principale



1.8 - Il movimento del braccio costituisce la secondary action

- **Timing and spacing**

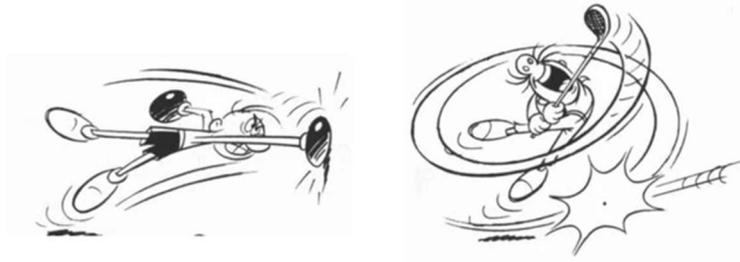
L'utilizzo del giusto numero di frames per il compiersi dell'azione permette di rendere realistico un movimento e anche di dare indizi sulle sue caratteristiche fisiche come il peso.



1.9 - Esempi di timing e spacing nel rimbalzo di una pallina

- **Exaggeration**

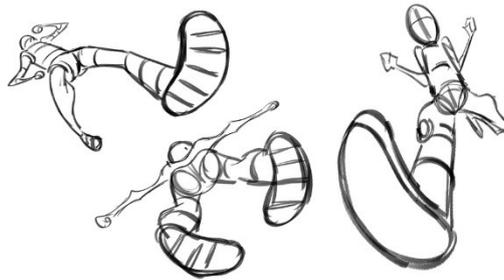
Nonostante l'obiettivo dell'animazione sia quello di ottenere movimenti più realistici possibile è spesso necessario ricorrere all'esagerazione per evitare che l'animazione risulti troppo reale e noiosa.



1.10 - Azioni esagerate di un personaggio

- **Solid Drawing**

Questo principio ribadisce la necessità di considerare lo spazio occupato dai personaggi e dare loro una tridimensionalità nonostante l'animazione si svolga in uno spazio bidimensionale. Questo principio si applica principalmente sulle animazioni in 2D.



1.11 - Prospettive tridimensionali di un personaggio

- **Appeal**

Il principio dell'appeal indica l'importanza che i personaggi abbiano carisma. Un animatore dovrebbe quindi sfruttare al meglio tutti gli altri principi per dare vita e spessore ai propri personaggi e far sì che

gli spettatori possano affezionarsi a loro.



1.12 - Character design di alcuni personaggi di Gateau

Smearing

Lo smearing è una tecnica utilizzata sin dagli anni '40 che consiste nell'aggiungere uno "smear frame" tra due pose chiave per simulare il motion blur.

A differenza del movimento tradizionale nell'animazione che è reso tramite dei fotogrammi chiave (che rappresentano l'inizio e la fine dell'azione) e fotogrammi "in between" (che collegano i fotogrammi chiave e danno l'illusione di movimento) uno smear raffigura un'unica "macchia" di movimento in un solo frame.

Questo effetto si ottiene mediante l'uso di forme distorte che creano l'illusione di un movimento molto rapido che dà un ritmo che non potrebbe essere reso altrettanto efficacemente con un serie di frames classici.



2.1 - Smear frame estratto da *The Dover Boys* (1942)

Lo smearing è una tecnica molto utilizzata anche perché permette di risparmiare tempo e denaro nella realizzazione delle animazioni in quanto evita di dover disegnare più frame per un unico movimento. Per questo motivo è una tecnica molto utilizzata dai prodotti animati televisivi che hanno tempi di produzione più stringenti.

Ci sono due tipi di smear frames nell'animazione 2D:

- **Elongated inbetween**

Smear frame "classico" dove la forma dell'oggetto in movimento viene allungata e distorta.



2.2 - Smear frame della rotazione della testa di Bugs Bunny

- **Multiples**

L'oggetto viene duplicato in diverse istanze che seguono la curva di movimento.



2.3 - Gli smear frames possono dare vita a veri e propri incubi

Esempi di utilizzo degli smear frames in animazione

Animazione 2D

La tecnica dello smearing ha definito di fatto lo stile dei cartoni animati classici della Warner Bros. Ma è largamente utilizzata anche in numerosi lungometraggi Disney.



2.4 - Esempio di smear frame in Tarzan (1999)

Animazione 3D



2.5 - Smear frame tratto da Hotel Transylvania (2012). La scopa è stata duplicata per accentuarne il movimento rotatorio



2.6 - Smear frame tratto da The Lego Movie

Stop Motion



2.7 - Esempio di duplicazione in Coraline (2009)



2.8 - Stampe 3D di smear frames utilizzati in Paranorman (2012)

L'animazione in Stop Motion

La stop motion, conosciuta anche come tecnica passo uno, è una tecnica di animazione nella quale oggetti inanimati subiscono una manipolazione progressiva tra un frame e l'altro, in modo da simulare un movimento fluido se i fotogrammi vengono riprodotti in rapida successione. Questa pratica affonda le sue radici nelle origini stesse del cinema. Già dall'epoca del muto la stop motion era usata non solo nel campo dell'animazione pura ma anche come tecnica di supporto agli effetti speciali nei film live action.

Uno dei pionieri più celebri dell'animazione in stop motion, tra i primi ad introdurre la stop motion nel cinema, fu George Melies. L'artista, pur non utilizzando propriamente la stop motion sperimentò la pixilation ovvero di una tecnica nella quale i personaggi (o le scene) vengono ripresi fotogramma per fotogramma.

Solo successivamente con *La battaglia dei Cervi Volanti* di Starevich, si inizia ad esplorare la caratteristica fondamentale della stop-motion: dare vita ad oggetti inanimati. L'artista realizzò il suo cortometraggio utilizzando insetti impagliati.



3.1 - Un frame tratto da "Rozhdestvo obitateley lesa" (Il Natale degli Insetti, 1911) di Wladyslaw Starevich

La stop motion adotta metodi complessi e i suoi tempi di realizzazione sono lunghissimi. Nonostante queste sue caratteristiche alimentino il fascino di questa tecnica al tempo stesso hanno fatto sì che, per questioni pratiche, la stop motion fosse messa da parte e relegata ad una nicchia artistica in favore della computer animation.

A dispetto della sua complessità questa forma d'arte ha continuato a suscitare meraviglia ed è sopravvissuta, tuttavia sono poche le case di produzione che puntano su questa tecnica a causa delle molteplici difficoltà di realizzazione. Tra le più importanti troviamo Aardman (*Wallace & Gromit, Galline in Fuga*) e LAIKA (*Coraline, Missing Link*), inoltre registi di fama internazionale come Wes Anderson e Tim Burton hanno utilizzato sovente la stop motion all'interno dei loro lungometraggi. Alcuni esempi sono, rispettivamente, *Fantastic Mr. Fox* e *L'Isola dei Cani* (Anderson) e *La Sposa Cadavere, Frankenweenie* e alcune scene di *Beetlejuice* (Burton).



3.2 - La preparazione di un personaggio de *La Sposa Cadavere* (2005)

Uno degli aspetti più affascinanti della stop motion è la sua fisicità. A differenza di altre forme di animazione come quella 2D o la computer grafica, la stop motion si basa sulla manipolazione di oggetti reali e tangibili. Poter riconoscere il materiale del pupazzo che prende vita sullo schermo e rendersi conto che si tratta di qualcosa di reale e tridimensionale è un piacere irrinunciabile per tutti gli appassionati di questa forma d'arte.

I materiali utilizzati nella stop motion si sono evoluti nel tempo, seguendo il progresso delle tecnologie e adattandosi sempre meglio alle esigenze artistiche. Uno dei materiali più iconici della stop motion è la plastilina, tanto che le animazioni che la utilizzano hanno una propria denominazione: claymation (case di produzione come la Aardman hanno basato il loro successo su opere in claymation come *Galline in Fuga*). La plastilina è estremamente versatile e malleabile e ciò permette di creare oggetti dettagliati e modificarli con facilità. Questo materiale, tuttavia, ha alcune limitazioni: è sensibile al calore, si deteriora con l'uso e viene facilmente rovinato da impronte digitali e sporczia.

Oltre alla plastilina, la stop motion ha visto l'impiego di materiali come lattice e silicone, spesso utilizzati per creare pupazzi più resistenti e dettagliati, dotati di armature interne che ne facilitano il movimento. Con l'avvento della stampa 3D materiali rigidi come la resina hanno trovato largo impiego nella stop motion. La stampa 3D consente di creare oggetti in breve tempo e con un grande livello di dettaglio. Negli ultimi anni, l'avvento della stampa 3D ha portato una vera e propria rivoluzione nel settore, permettendo la creazione di modelli rigidi e altamente dettagliati in materiali come resina e PLA.

Prima di discutere in maniera più approfondita il ruolo della stampa 3D nelle produzioni stop motion dedicherò un paragrafo all'introduzione di questa tecnologia e alle diverse tipologie di stampanti e di materiali impiegati.

La Stampa 3D

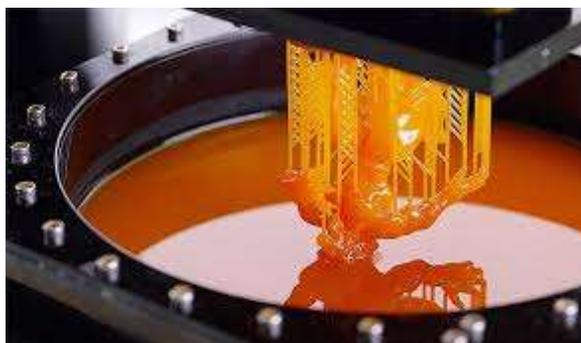
La stampa 3D è un processo di produzione che prevede la creazione di un oggetto tridimensionale a partire da un modello digitale. È definita manifattura additiva in quanto gli oggetti stampati vengono realizzati attraverso l'aggiunta progressiva di materiale strato per strato. Questa tecnologia nasce alla fine degli anni '80 quando l'ingegnere Chuck Hull brevetta il primo metodo di stampa 3D, ovvero la stereolitografia (SLA). Da allora il settore ha conosciuto una rapida evoluzione introducendo sul mercato diversi tipi di stampanti e di materiali. Oggi la stampa 3D trova applicazione nei più disparati settori: dall'alimentare alla medicina, dall'architettura all'arte.

Tecnologie di Stampa 3D

Le stampanti 3D possono essere classificate in base al loro principio di funzionamento. Di seguito una panoramica delle principali tipologie:

- **Stereolitografia (SLA)**

La prima tecnologia di stampa 3D. Funziona tramite luce UV che indurisce strato dopo strato della resina liquida fotosensibile. Questo metodo garantisce un'elevata precisione ma la resina può essere costosa e richiede delle particolari cure come il lavaggio e la post polimerizzazione.



4.1 - Una stampante SLA al lavoro

- **Modellazione a deposizione fusa (FDM)**

Si tratta di una delle tecnologie più accessibili e diffuse. In questo caso il modello viene realizzato depositando strati successivi di un materiale termoplastico fuso (in genere PLA o ABS) attraverso un ugello riscaldato.

Le stampanti FDM sono utilizzate soprattutto da amatori e appassionati per i loro costi contenuti ma non garantiscono un livello di dettaglio al pari degli altri tipi di stampanti.



4.2 - Una stampante FDM al lavoro

- **Sintesi laser selettiva (SLS)**

Questa tecnologia utilizza un laser per solidificare polveri di materiali come nylon e metalli.

A differenza delle tecnologie SLA e FDM non richiede supporti strutturali perché la polvere non sintetizzata agisce essa stessa da sostegno per il modello.

Questo tipo di stampanti è particolarmente adatto per applicazioni industriali in quanto i materiali possono essere molto costosi.



4.3 - Un oggetto stampato con tecnica SLS

- **Digital Light Processing (DLP)**

La tecnologia DLP utilizza un proiettore come sorgente di luce per polimerizzare la resina liquida strato dopo strato. A differenza della SLA il DLP solidifica interi strati di materiale contemporaneamente velocizzando quindi il processo. Anche in questo caso i costi sono più elevati ma è possibile ottenere modelli di altissima qualità.



4.4 - Processo di stampa DLP

- **Binder Jetting**

Questa tecnologia utilizza un legante liquido per aggregare strati di polvere creando oggetti solidi. Si tratta di un metodo estremamente versatile che consente l'uso di diversi materiali inclusi sabbia, ceramica e metalli. I pezzi prodotti, tuttavia, richiedono spesso ulteriori lavorazioni per ottenere la massima resistenza.



4.5 - Componenti di una stampante binder jetting

- **Electron Beam Melting (EBM)**

L'EBM utilizza un fascio di elettroni per fondere di metallo in un ambiente sottovuoto. Questa tecnica è molto utilizzata in ambito aerospaziale e medico. Le macchine EBM sono molto costose e richiedono competenze specifiche per essere utilizzate.



4.6 - Una serie di oggetti stampati con tecnica EBM

Materiali per la Stampa 3D

Uno degli aspetti interessanti della stampa 3D è la varietà di materiali utilizzabili per creare i propri modelli. Ecco alcuni dei più comuni:

- **Polimeri**

Si tratta dei materiali più utilizzati per il loro basso costo. Il PLA (Acido Polilattico) è tra i più utilizzati per applicazioni hobbistiche, mentre l'ABS offre maggiore resistenza.

- **Resine**

Impiegate nelle tecnologie SLA e DLP, offrono una grande precisione e superfici dei modelli molto lisce. Richiedono tuttavia una manipolazione attenta e diversi trattamenti post-stampa.

- **Metalli**

Sono utilizzati soprattutto nelle tecnologie SLS e EBM. I materiali più comuni includono alluminio, titanio, acciaio, oro e argento, ideali per applicazioni industriali e gioielleria.

Per la stampa dei modelli che hanno permesso lo svolgimento di questa tesi è stata utilizzata una delle stampanti di proprietà di Robin Studio s.r.l., la **Elegoo Saturn 4 Ultra**.



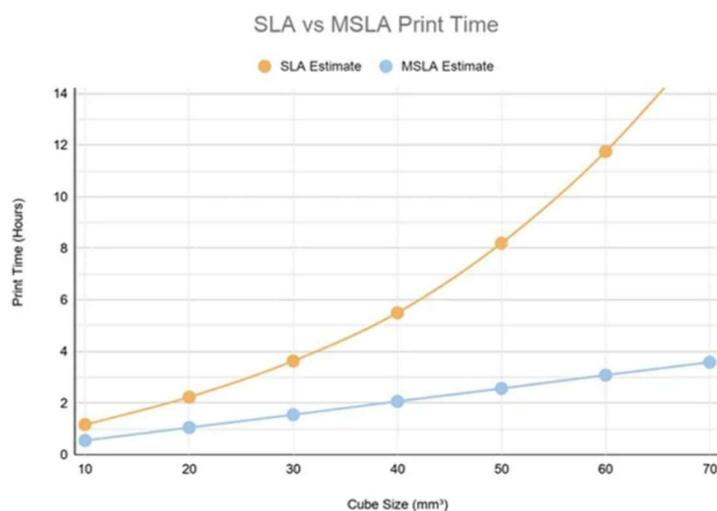
4.7 - Una Elegoo Saturn 4 Ultra

Questo dispositivo utilizza una tecnologia nota come Masked Stereolithography Apparatus (MSLA), un'evoluzione del metodo SLA descritto in precedenza.

La tecnica SLA impiega un raggio laser che solidifica la resina strato per strato all'interno della vasca della stampante. Una volta finito uno strato il piatto di costruzione si abbassa nuovamente nella resina per costruire quello dopo.

Il metodo MSLA si basa sullo stesso principio di una fonte di luce che solidifica la resina ma in questo caso invece di utilizzare un raggio laser viene usata una fonte di luce UV più ampia che viene poi mascherata con uno schermo LCD per ottenere la forma desiderata. Questo sistema consente di polimerizzare interi strati contemporaneamente.

Per via del suo funzionamento la tecnica MSLA offre tempi di stampa molto più brevi rispetto all' SLA. Infatti, se in quest'ultimo metodo la tempistica si basa sia sul numero di strati e la quantità di materiale da trattare per ogni strato, la MSLA si basa soltanto sul numero di strati da stampare.



4.8 - Confronto tra le tempistiche di stampa di una stampante SLA e una MSLA

Un'altra differenza tra queste due tecniche sta nella risoluzione orizzontale della stampa. Nel caso della SLA questa dipende dal diametro del raggio laser, mentre nella tecnica MSLA dipende principalmente dalla risoluzione dello schermo LCD.

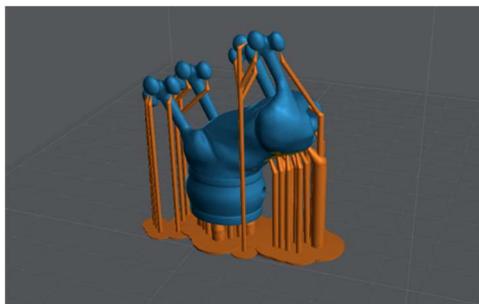
Fasi del processo di stampa con tecnica MSLA

Supporto del modello

Prima di mettere in stampa il modello 3D digitale è necessario aggiungere dei supporti che impediscano al modello di collassare. I supporti servono principalmente per collegare le parti sospese del modello al piatto di stampa e ridurre le forze di distacco.

Generalmente si utilizzano tre tipi di supporti: quelli leggeri per sostenere piccoli dettagli e parti sottili, supporti medi per pezzi più grandi e supporti pesanti per elementi più voluminosi e quindi con maggiore peso.

È possibile realizzare i supporti tramite dei software specifici come Chitubox e Lychee Slicer che individuano le zone del modello che necessitano di essere supportate e le evidenziano per facilitare il supporto manuale. I software di slicing permettono anche di modificare il diametro dei supporti per poterli adattare alle esigenze del modello.



4.9 - Esempio di un modello supportato con Lychee Slicer



4.10 - I supporti di stampa non sono ancora stati rimossi da questi oggetti

Stampa

Una volta pronto il modello è necessario trasferirlo alla stampante utilizzando un formato di file adatto (ad esempio .stl). A quel punto la stampante comincerà a lavorare.

Trattamento post stampa

Nella stampa MSLA (così come nella SLA) il modello, dopo essere uscito dalla stampante, ha bisogno di un'ulteriore lavorazione per far sì che abbia la migliore qualità possibile.

Prima di tutto, dopo aver staccato il modello dal piatto di stampa utilizzando una spatola, è necessario immergerlo in una vasca piena di alcool isopropilico agitandolo per circa 30-50 secondi. Così facendo si elimina la resina in eccesso.

Terminato questo processo è necessario “curare” il modello in resina posizionandolo in un macchinario specifico che emette luce ultravioletta per un tempo che varia a seconda del tipo di resina utilizzato. Nel mio caso il tempo di esposizione era circa di 8 minuti.

Questo passaggio è molto importante poiché subito dopo la stampa la resina del modello ottenuto si trova ancora al suo stato grezzo: pur avendo assunto la forma finale la reazione di polimerizzazione non è completa. Per raggiungere le sue proprietà meccaniche ottimali la resina ha quindi bisogno di essere curata con i raggi UV.

Rimozione dei supporti e rifiniture

Dopo la stampa è necessario rimuovere i supporti con attenzione in modo da minimizzare i danni (questa fase viene preferibilmente eseguita prima della post polimerizzazione). Dopo la rimozione è possibile utilizzare della carta vetrata per levigare eventuali segni lasciati dai supporti.

Pittura

Prima di dipingere il modello stampato è consigliabile dare una prima mano utilizzando un primer di colore neutro su cui poi andare ad applicare i colori. Questa fase garantisce un processo di pittura molto più pulito visto che permette di nascondere alcune imperfezioni del materiale di stampa.

Dopo aver applicato il primer si può iniziare a dipingere utilizzando colore spray o stendendolo con dei pennelli. È sempre preferibile applicare più strati di colore rispetto ad un unico strato spesso.

Dopo aver colorato si conclude con uno strato di vernice trasparente per fissare la pittura.



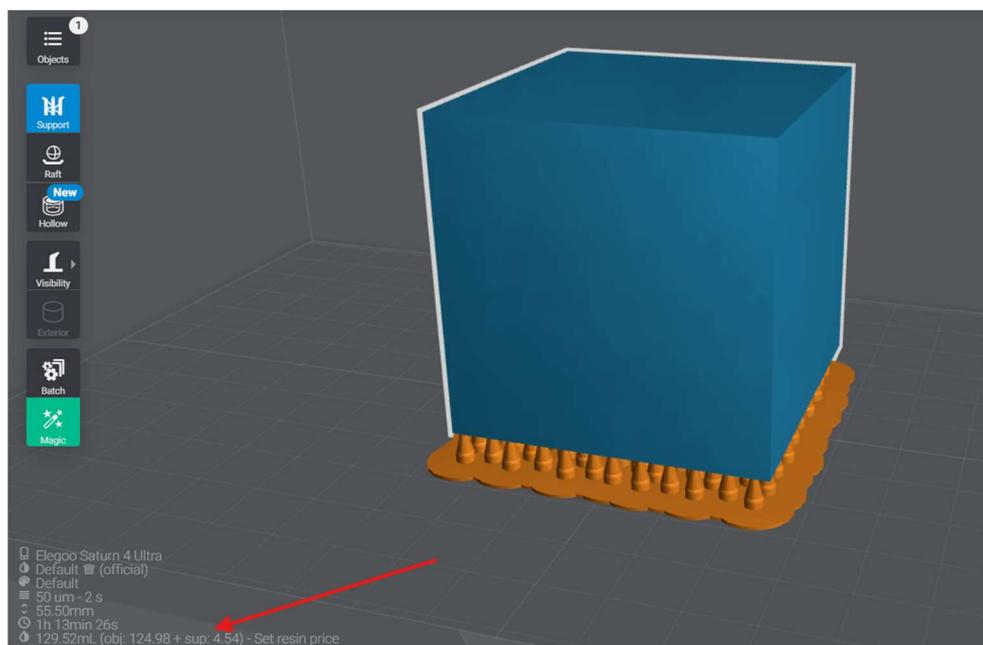
4.11 - Pittura dei dettagli di un volto

Stima dei costi

I software di slicing come Lychee e Chitubox offrono dei tools che sono in grado di stimare il quantitativo di resina che verrà utilizzata dalla stampante per realizzare gli oggetti che abbiamo importato. Questa informazione è molto utile perché consente di stimare il costo della stampa che si vuole produrre ancora prima di mettere in funzione la stampante.

Sarà sufficiente ricavare il prezzo al millilitro della resina che si acquista e moltiplicarlo per il volume stimato dal software.

La resina è uno dei materiali più economici che si possa utilizzare per la stampa. Per farsi un'idea, stampare un cubo di resina di lato 5cm con una resina standard dal prezzo di circa 3 centesimi al millilitro si vanno a spendere all'incirca 4,4 € (considerando anche il volume dei supporti di stampa).



4.12 - Schermata di Lychee Slicer. La freccia indica la stima volumetrica del modello

Smaltimento dei materiali e sicurezza

La stampa 3D opera utilizzando materiali diversi, potenzialmente tossici e pericolosi per l'ambiente. È fondamentale conoscere i giusti per trattare e smaltire questi materiali correttamente.

PLA

Il PLA (acido polilattico) è un polimero che si ottiene principalmente dagli zuccheri amidacei contenuti nei semi di piante da granella, soprattutto mais.

Molte descrizioni del filamento PLA lo definiscono un materiale biodegradabile ma di fatto le stampe a filamento non lo sono.

Sicurezza

Il PLA è una delle soluzioni meno dannose se comparato ad altri materiali comunemente utilizzati nella stampa 3D, tuttavia non è totalmente privo di rischi.

Il riscaldamento del PLA infatti porta all'emissione di fumi e microparticelle che possono causare irritazioni o infiammazioni alle vie respiratorie.

È possibile ridurre i rischi adottando alcune precauzioni quando si stampa:

- Arieggiare spesso l'area in cui è posizionata la stampante 3D
- Installare un filtro sulla propria stampante
- Adottare dei dispositivi di protezione personale come le mascherine

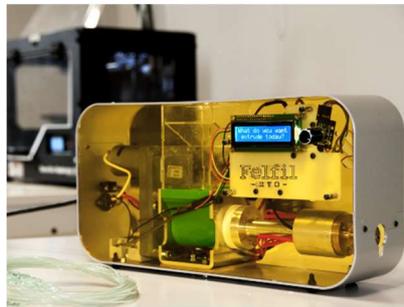
Smaltimento

Il PLA potrebbe essere considerato biodegradabile soltanto se si presenta con uno spessore molto inferiore al millimetro. Nel caso della

stampa 3D, dove invece il filamento è spesso diversi millimetri, gli scarti di PLA devono essere smaltiti nella raccolta indifferenziata.

Riutilizzare il PLA

Alternativamente è possibile utilizzare gli scarti di PLA per creare nuovo filamento procurandosi un estrusore di filamento. Questo macchinario riscalda il materiale da riciclare (che deve essere stato precedentemente sminuzzato), lo fonde e lo estrude sotto forma di filamento nuovo.



4.13 - Un estrusore di filamento

Resina

La resina fotopolimerica comunemente usata nella stampa 3D è un particolare tipo di resina liquida composta da monomeri, oligomeri, fotoiniziatori e altri additivi.

La formula specifica varia in base al tipo di resina.

Sicurezza

La resina non trattata presenta diversi componenti molto reattivi quindi bisogna prestare particolare attenzione quando si lavora con questo materiale.

La resina è infatti irritante per la pelle e il sistema respiratorio ed è dannosa se entra in contatto con gli occhi o se ingerita.

Quando si ha a che fare con questo prodotto è necessario adottare le seguenti precauzioni:

- Indossare dispositivi di protezione individuale come occhiali e guanti in nitrile.
- Lavorare in un'aria il più possibile ventilata
- Curare con i raggi UV la resina che si utilizza, sia che si tratti di scarto o meno

Smaltimento

Le componenti della resina liquida sono molto dannosi per l'ambiente, in quanto danneggiano severamente il sistema nervoso di pesci e altre creature acquatiche.

La resina va trattata come un rifiuto pericoloso e prima di essere smaltita nella raccolta indifferenziata è necessario curarla. Per farlo è possibile sottoporla ai raggi UV come previsto dal solito processo di cura o più semplicemente lasciarla al sole fino a farla indurire.

Sul mercato esistono delle resine ecologiche prodotte utilizzando materiali di origine biologica. Queste resine sono considerate meno dannose per l'ambiente e per il nostro organismo ma non per questo bisogna evitare di seguire tutti gli accorgimenti descritti sopra.

Stampa 3D per la stop motion: tra arte e tecnologia

L'animazione a sostituzione

L'animazione a sostituzione nella stop motion è utilizzata quando, invece di muovere un oggetto in modo graduale, questo viene sostituito totalmente o in parte da una variante leggermente diversa tra un frame e l'altro. Questo metodo consente di ottenere movimenti fluidi e dettagliati e di avere più controllo sulla riuscita di una posa se questa è particolarmente difficile da realizzare con la semplice manipolazione di una marionetta.

Uno degli utilizzi più comuni di questa tecnica di animazione è la sostituzione della bocca di un personaggio per simulare il parlato.



5.1 - Svariate teste di Jack Skellington da *Nightmare Before Christmas*

L'animazione “on ones” e “on twos”

Ai fini di comprendere meglio il lavoro svolto per questa tesi è necessario soffermarsi sulla differenza tra animazione “one ones” e “on twos”.

Animare “on ones” significa realizzare 24 frames diversi per ogni secondo di animazione. Si utilizza questo tipo di approccio per realizzare sequenze movimentate o ricche di dettagli.

Nell'animazione “on twos” il numero di fps viene dimezzato e si arriva a realizzare 12 frames per ogni secondo. Questo tempismo viene usato per animare azioni più lente.

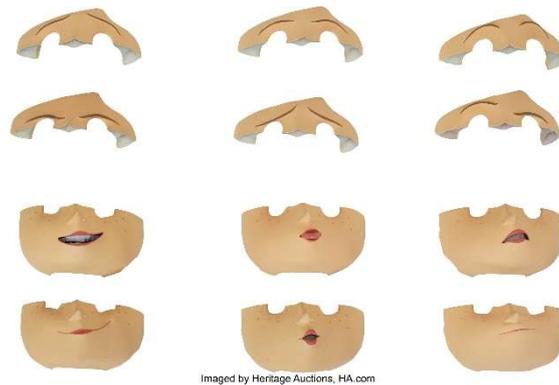
Il caso di LAIKA

L'azienda americana LAIKA ha rivoluzionato l'animazione a sostituzione integrando la stampa 3D nei propri film.

LAIKA sperimentò la prima volta questo processo su larga scala per realizzare i suoi modelli da animare tramite sostituzione nel lungometraggio *Coraline* (2009) diretto da Henry Selick.

Il team di LAIKA desiderava superare i limiti della tradizionale scultura manuale appoggiandosi alla stampa 3D per riuscire a realizzare un ampio set di espressioni facciali che rendessero più vivi e variegati i personaggi. L'esperimento riuscì alla grande.

Per *Coraline* furono realizzati 6333 volti con i quali è stato possibile ottenere 207000 espressioni facciali.



5.2 - Varie componenti del volto di Coraline

Ciascuna faccia è stata modellata con l'obiettivo di mantenere quel look artigianale "fatto a mano" caratteristico della stop motion e successivamente dipinta dagli artisti.

Questa combinazione di tecnologia innovativa e ricerca artistica è valsa a Brian McLean (facial structure supervisor) e Martic Meunier (facial animation design) un Scientific and Engineering Award assegnato dall'Academy of Motion Picture Arts and Sciences.

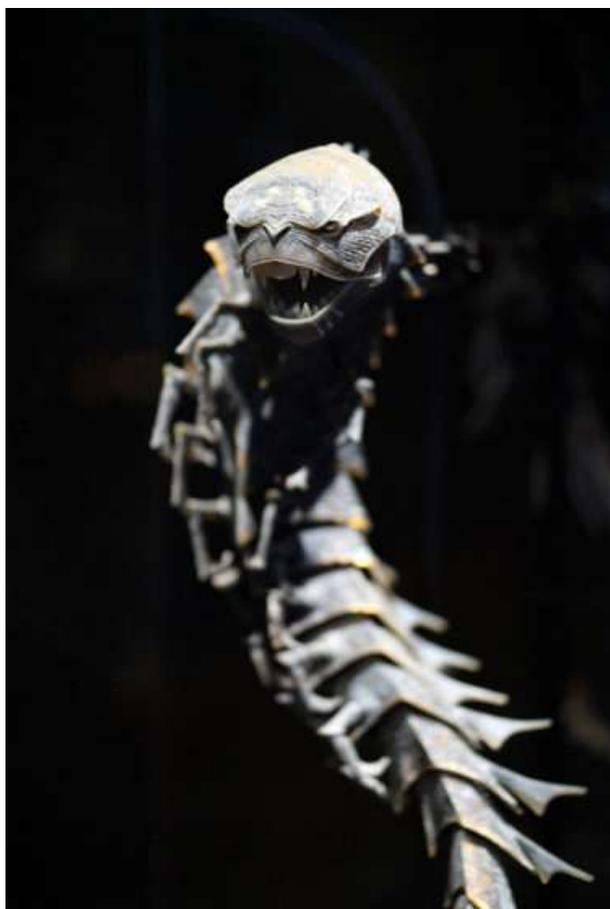
Dopo questo film LAIKA ha continuato a sperimentare modi sempre più innovativi e avanzati di integrare la stampa 3D alla classica stop motion. Se in *Coraline* i volti dei personaggi erano sì stampati in 3D ma necessitavano comunque una pittura manuale, con i film successivi, LAIKA ricercò una tecnologia che permettesse di stampare dei modelli già colorati.

In *Paranorman* (2012) e *Boxtrolls* (2014) l'azienda utilizzò una stampante *3D System Zprint* a colori. I modelli prodotti da questa stampante avevano una consistenza simile al gesso ed erano quindi molto fragili, tanto che andavano immersi in una particolare colla per indurirli e renderli più resistenti.

Per il film *Kubo e La Spada Magica* in LAIKA ci si accorse che la tecnologia di stampa che era stata utilizzata fino a quel momento non sarebbe stata sufficiente per i design complessi dei personaggi, in particolare per i personaggi di Monkey, Beetle e Moon Beast.

LAIKA contattò quindi l'azienda Stratasys che in quel momento stava sviluppando e testando una stampante PolyJet a tre colori. Per la prima volta l'azienda intraprese una collaborazione con un'altra realtà lavorativa cosviluppando una tecnologia all'avanguardia e adattando il software alle loro necessità.

Il risultato fu una serie di volti resistenti e precisi, con sfumature cromatiche raffinate che combinavano efficacemente tre colori basilari, e la prima marionetta realizzata completamente con la stampa 3D: The Moon Beast (che appare nel film *Kubo e la Spada Magica*).



5.3 - Moon Beast dal film Kubo e La Spada Magica

Per il loro ultimo film, *Missing Link* (2019), la tecnologia utilizzata da LAIKA si è spinta ancora oltre. Invece di produrre un set fisso di volti adattabili a diverse scene come era stato fatto nei film precedenti, si è deciso di realizzare dei volti specifici per ciascuna inquadratura a

seconda delle esigenze, aumentando il realismo della performance dei personaggi.

Nel 2015 Stratasys sviluppò una stampante che poteva lavorare su sei colori invece dei tre del modello precedente. LAIKA sfruttò questa nuova tecnologia combinandola con Cuttlefish, un software che migliora la resa dei colori utilizzando una tecnica di voxelizzazione.

Un voxel è un pixel tridimensionale, ovvero un cubo di volume infinitesimo.



5.4 - Esempio di voxelizzazione

Il posizionamento a piccolissima distanza di voxel di diverse tonalità crea sfumature complesse, migliorando la resa cromatica della stampa 3D.

Il risultato fu un livello di dettaglio senza precedenti: per *Missing Link* furono stampati 106000 volti, contro i 64000 di *Kubo e la Spada Magica* e i 20000 di *Coraline*. Il desiderio degli artisti di LAIKA di portare all'eccellenza la performance dei loro personaggi li ha portati a testare continuamente i limiti della stampa 3D.

Quello di LAIKA è un caso eclatante che dimostra quanto la stampa 3D abbia ormai raggiunto livelli di innovazione tecnologica sorprendente anche grazie alla stop motion. L'azienda americana ha fatto della padronanza della stampa 3D il suo tratto distintivo, investendo migliaia

di dollari nella ricerca e nello sviluppo di questa tecnica raggiungendo dei risultati sorprendenti.

È necessario ricordare che quelle di LAIKA sono produzioni da decine di milioni di dollari. La stampa 3D è una tecnologia estremamente versatile che offre soluzioni per qualsiasi tasca e questa sua caratteristica ha fatto sì che diventasse popolare anche e soprattutto nelle produzioni in stop motion medio-piccole, portando con sé nuove opportunità artistiche e tecniche.

Lo stato dell'arte: alcuni casi studio

Nel 2010 Johnny Kelly con la sua opera *Het Klokhuis* sperimentò l'uso della stampa 3D combinata alla computer grafica per realizzare delle animazioni in stop motion. In questa sequenza, che è stata utilizzata come sigla per l'omonimo programma olandese per ragazzi, vediamo una mela che subisce numerose trasformazioni.

Per la realizzazione di *Het Klokhuis* è stata utilizzata l'animazione per sostituzione sfruttando la stampa 3D. L'accuratezza dei modelli realizzati in stampa ha permesso la perfetta integrazione tra la tecnica stop motion classica e gli elementi in CGI.



5.5 - Mele stampate in 3D per Het Klokhuis

La casa di produzione Ceca Fresh Films ha integrato la stampa 3D nella produzione del suo cortometraggio *Myši patří do nebe* (Even Mice Belong in Heaven, 2021). In questa produzione la stampa 3D ha sostituito la scultura tradizionale ed è stata utilizzata per realizzare gran parte dei personaggi, armature e props.

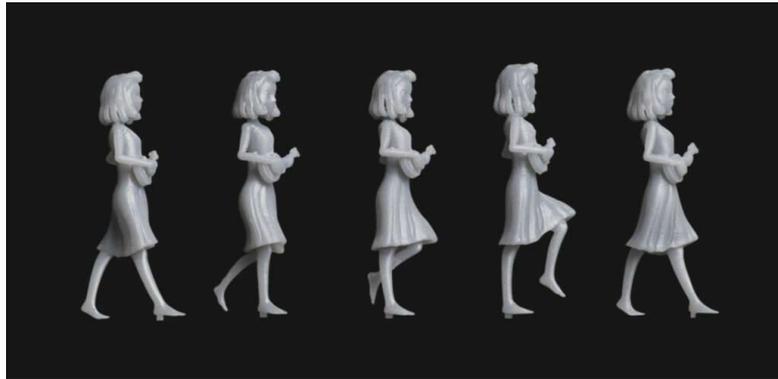
Fresh Films ha scelto di affidarsi a questa tecnologia per sfruttare la possibilità di realizzare rapidamente dei duplicati dei componenti ed effettuare correzioni in modo veloce ed economico.

“While animatronics has a long tradition in the Czech Republic, we have to admit that in the last 20-30 years, we didn't adapt to the new trends very well. To be able to compete with the large international studios, we needed dynamic puppets, with a wide range of motion and facial expressions. 3D printing helped us a lot in this regard.”



5.6 - Test di stampa di un personaggio di Myši patří do nebe

Un altro caso interessante di uso della stampa 3D a fini artistici in una produzione stop motion è Chase Me, cortometraggio diretto da Gilles Deschaud. Quest'opera, realizzata inizialmente in CG, è stata ricreata stampando in 3D tutti gli elementi frame by frame utilizzando l'animazione per sostituzione. Chase Me in questo caso ha fatto uso della stampa inseguendo un preciso obiettivo artistico. Chase Me è un cortometraggio che parla di cambiamento. Sullo schermo gran parte degli elementi crescono e si trasformano passando attraverso centinaia di forme. Per questo corto sono stati realizzati 2500 pezzi stampati in 3D.



5.7 – Alcune pose estrapolate dal ciclo di animazione della protagonista di Chase Me

Altre applicazioni della stampa 3D nella stop motion

La stampa 3D ha rivoluzionato il processo produttivo delle opere in stop motion e non solo. La versatilità di questa tecnica, facilmente sfruttabile in diversi stili artistici, ha fatto sì che venisse utilizzata in centinaia di opere. L'uso non si limita soltanto alla realizzazione di pezzi sostituibili durante l'animazione ma si è esteso anche ad altri aspetti della produzione.

Meccanismi interni

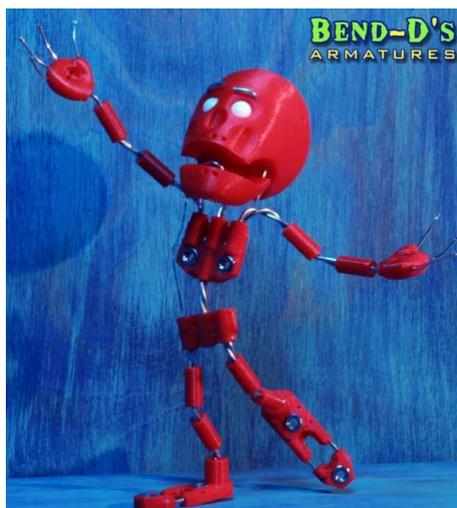
Mescolando del materiale idrosolubile al classico materiale di stampa è possibile progettare e stampare meccanismi e incastri per le strutture delle marionette da animare. Il materiale idrosolubile viene usato per i supporti e una volta sciolto, rimane soltanto il meccanismo già assemblato.



5.8 - Stampa 3D di un puppet con meccanismo interno. Realizzata dallo studio milanese Dadomani.

Armature

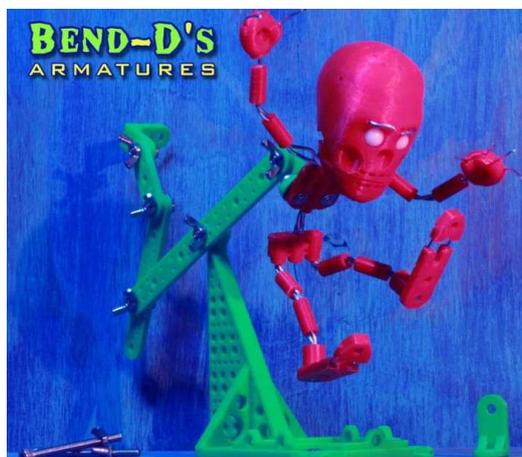
L'abitudine di stampare le armature delle marionette in 3D non è ancora diffusa dato che spesso esse richiedono altissimi livelli di malleabilità e resistenza che la stampa 3D non riesce a fornire (se non a costi altissimi). Nonostante ciò alcune aziende producono dei kit preassemblati con alcune componenti stampate in 3D.



5.9 - Armatura stampata in 3D

Rigs

L'azienda Bend D ha sviluppato una serie di rig economici stampati in 3D utilizzando del filamento con lo stesso colore del green screen.

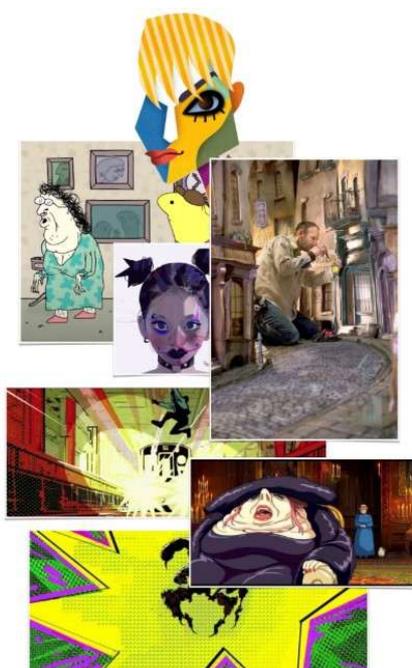


5.10 - Armatura e rig stampati in 3D

Il progetto Gateau

Il progetto che ho seguito durante lo svolgimento di questa tesi è Gateau, un cortometraggio scritto da Riccardo Antonino in cui seguiamo le avventure di un gattino che vive nelle periferie di Torino ed ogni giorno viene tormentato dai passanti compresa una vecchietta malvagia ed il suo cane.

L'obiettivo artistico di questo corto, espresso dal regista Niccolò Gioia, è quello di utilizzare la stop motion declinandola in diverse forme con stili artistici che sono normalmente associati ad altre tecniche.



6.1 - Moodboard che illustra la miscela di stili ricercata in Gateau

Il gattino, ovvero il protagonista, è animato in stop motion secondo uno stile "classico" con un puppet tridimensionale. Nel corso dello svolgersi degli eventi del corto il corpo del gattino cambia a causa delle percosse della gente, deformandosi in maniera comica.

La vecchietta e il suo cane, antagonisti del cortometraggio, perdono invece la loro tridimensionalità e vengono “schiacciati” in due dimensioni, mettendo in evidenza la loro natura ostile e incurante nei confronti del gattino. Entrambi i personaggi vengono animati utilizzando degli stratagemmi tipici dell’animazione classica in 2D.

CANE

Per la realizzazione di questa tesi, il focus principale è stato la progettazione e modellazione del personaggio del cane (denominato con molta fantasia CANE, come da sceneggiatura).

Prima di procedere alla creazione del modello è stato necessario analizzare il character design del cagnolino e raccogliere delle references che potessero aiutarmi a trovare le caratteristiche giuste per poter dare una forma a questo personaggio.

Il design del cane è coerente con quello della sua padrona: i suoi tratti e i suoi movimenti si sviluppano in due dimensioni e risultano stilizzati e le sue caratteristiche fisiche, realizzate in maniera caricaturale, oscillano tra il comico e il grottesco.



6.2 - Tavola dei profili dei personaggi principali di Gateau, con un focus sul cagnolino

Si tratta di un animale completamente asservito alla sua padrona e ciò viene trasmesso tramite le dimensioni del collare più grandi del normale e attraverso il fatto che esso stringa eccessivamente il collo del cagnolino. I suoi enormi occhi sono inespressivi e vuoti: il cane non ha volontà propria e agisce solo secondo i suoi più bassi istinti.

Per prima cosa, avvicinandomi alla modellazione, ho cercato assieme al mio tutor nonché regista di Gateau di individuare gli elementi essenziali del corpo del cane su cui lavorare per ottenere l'effetto di bidimensionalità che il character design richiede.

Osservando anche il character sheet è chiaro che gli elementi principali per rispettare le caratteristiche stilistiche del personaggio del cagnolino siano i seguenti:

- Testa: la testa di CANE è sproporzionata rispetto al corpo e risulta molto più grande del normale. Gli occhi, anch'essi esageratamente grandi sono molto sporgenti.
- Zampe: le zampe sono estremamente semplificate a riprendere lo stile di molte serie animate televisive.
- Collare: il collare è semplice, molto grosso e troppo stretto: simboleggia infatti la completa sottomissione del cane nei confronti della sua padrona.

Ho sperimentato diverse versioni del cane aggiungendo sempre più dettaglio fino a raggiungere il risultato finale.

Alessandro Vaccarino, il tesista che prima di me si è occupato della pre-produzione di Gateau, aveva già realizzato un prototipo del cane.



6.3 - La versione originale del cane

Come si vede dall'immagine lo stile del cane rispetta l'idea di un personaggio "cartoonesco" e buffo tuttavia manca ancora quella forzata bidimensionalità che dovrebbe caratterizzarlo.

Per questo motivo mi sono occupata di reinventare il modello del cagnolino cercando di avvicinarmi il più possibile alle caratteristiche descritte sopra.

La prima versione del cagnolino è questa:



6.4 - La prima versione del cane

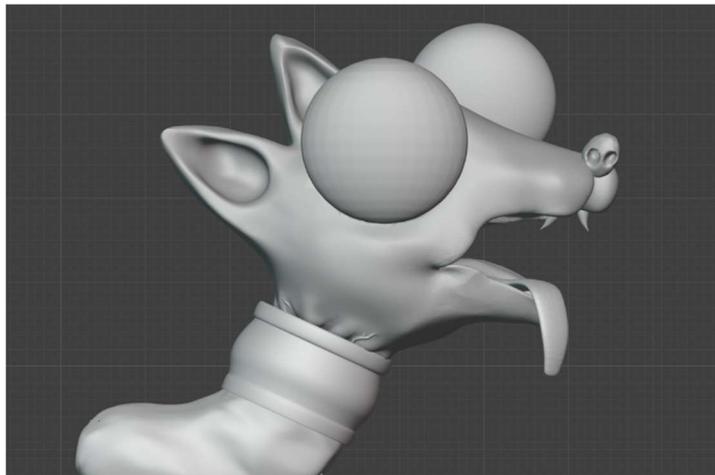
Il corpo è molto essenziale e le zampe sono semplificate riprendendo lo stile di alcuni personaggi dell'animazione 2D, in particolare Leone il

Cane Fifone.

Gli occhi esageratamente grossi sono entrambi visibili e fuoriescono dalle orbite. Alcuni elementi della testa, ad esempio le orecchie, sono visibili dal punto di vista dello spettatore come se fossero osservati frontalmente.

Questo tipo di design si avvicinava all'idea originale del regista ma andava ulteriormente rivisto aggiungendo dei dettagli che evidenziassero ancora di più la bidimensionalità del personaggio.

A partire da queste considerazioni ho proseguito il lavoro realizzando la seconda versione:



6.5 - La versione finale del cane (focus sulla testa in quanto il corpo è rimasto pressoché invariato)

In questa nuovo modello la punta del muso è stata torta in maniera innaturale come fosse guardata di fronte, eliminando di fatto la profondità del muso. Le curve della testa sono state ammorbidite e sono stati aggiunte delle grinze a livello del collo per accentuare la stretta del collare.

Per modellare il cane ho utilizzato Blender: un software gratuito di modellazione 3D.

Blender

Blender è un software open source per la modellazione 3D, scultura digitale, rigging, animazione e rendering.

I modelli tridimensionali vengono creati partendo da forme geometriche elementari complicando passo per passo la geometria fino a raggiungere il risultato finale.

Blender fornisce una serie di strumenti per manipolare la geometria dei modelli. I più importanti di questi possono essere suddivisi in diverse categorie.

Modellazione poligonale

Si tratta del modo più comune per creare modelli 3D. Tra le operazioni basi troviamo:

- **Scala e spostamento**

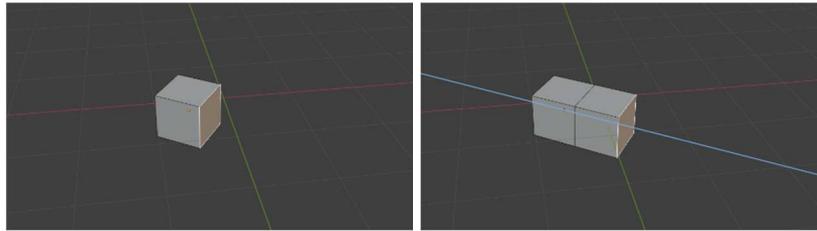
Permettono rispettivamente di scalare e spostare un gruppo di vertici o l'intero modello.



7.1 - Esempio di spostamento

- **Estrusione**

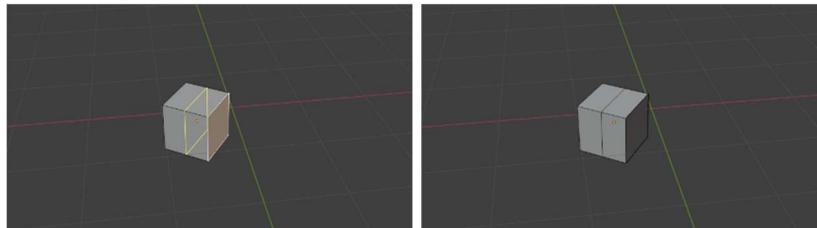
Permette di estendere le superfici



7.2 - Esempio di estrusione

- **Loop cut**

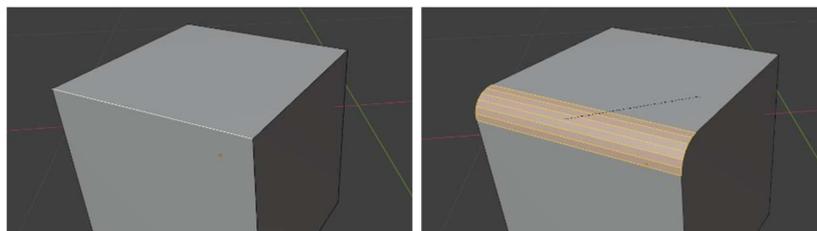
Questo strumento suddivide un loop di facce inserendo bordi, aggiungendo della geometria al modello.



7.3 - Esempio di loop cut

- **Bevel**

Ammorbidisce gli spigoli



7.4 - Esempio di bevel

Modificatori

Si tratta di strumenti non distruttivi che permettono di trasformare la geometria senza modificare la mesh originale. Sebbene esistano decine di modificatori con le più svariate funzioni elencherò quelli che ho

utilizzato più di frequente per questo progetto:

- **Subdivision surface**

È usato per dividere le facce di un modello in facce più piccole per far sì che la superficie risulti più liscia



7.5 - L'effetto del subdivision surface

- **Mirror**

Genera un lato specchiato del modello lungo i propri assi e rispetto la sua origine.



7.6 - Mirroring di una mesh

- **Boolean**

Combina più modelli tra di loro utilizzando le operazioni booleane di somma, intersezione e sottrazione.



7.7 - Effetto del boolean "sottrazione"

- **Array**

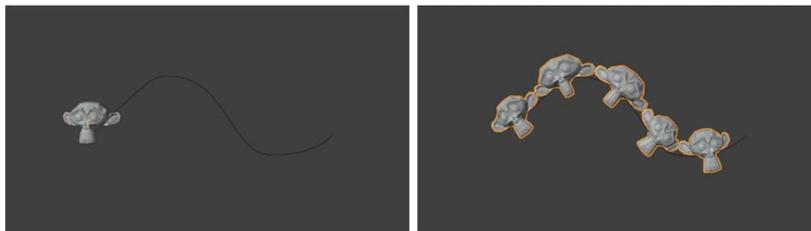
Crea un array di copie dell'oggetto sul quale è applicato



7.8 - Effetto del modificatore Array

- **Curve**

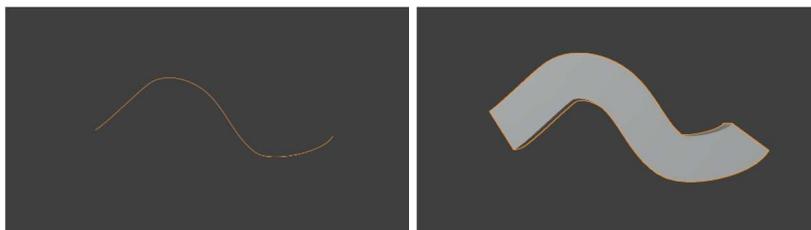
Permette di deformare un oggetto lungo una curva



7.9 - Deformazione lungo una curva di un array di oggetti

- **Skin**

Utilizza vertici e bordi per creare una superficie attorno ad essi



7.10 - Skinning di una curva

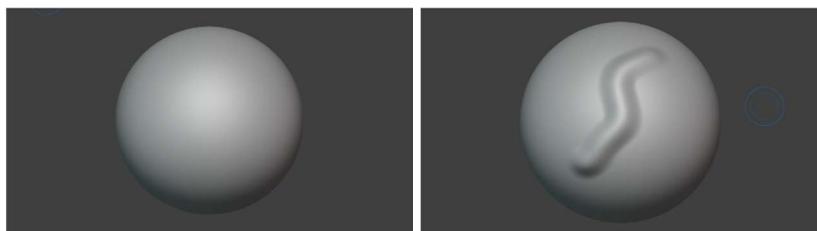
Sculpting

Questa funzione consente di aggiungere dettagli più fini ai modelli utilizzando pennelli che permettono di scolpire la mesh come se fosse fatto di materia reale.

Esistono diversi pennelli che generano effetti diversi. Di seguito riporto quelli che ho utilizzato maggiormente:

- **Draw**

Il pennello standard per sollevare o abbassare i vertici selezionati rispetto alla superficie



7.11 - Tratto del pennello draw

- **Smooth**

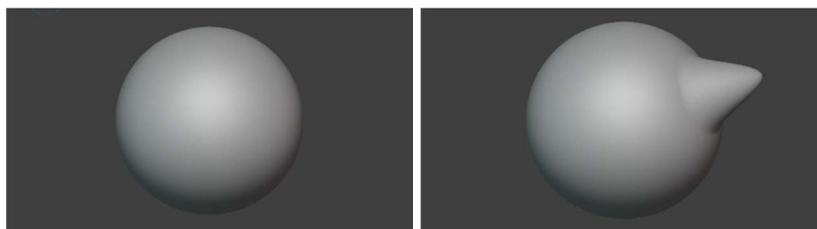
Leviga le irregolarità sulla superficie



7.12 - Effetto del pennello smooth

- **Grab**

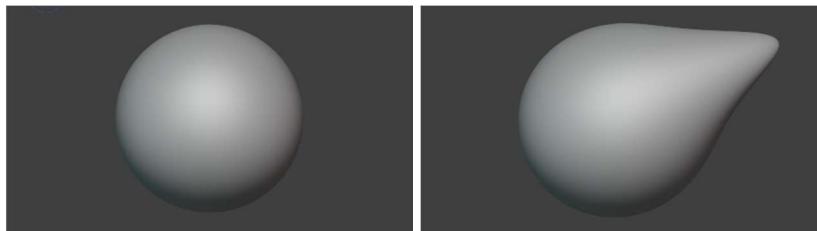
Muove i vertici secondo i movimenti del mouse.



7.13 - Effetto del pennello grab

- **Elastic Deform**

Usato per simulare delle deformazioni di oggetti elastici



7.14 - Tratto del pennello elastic deform

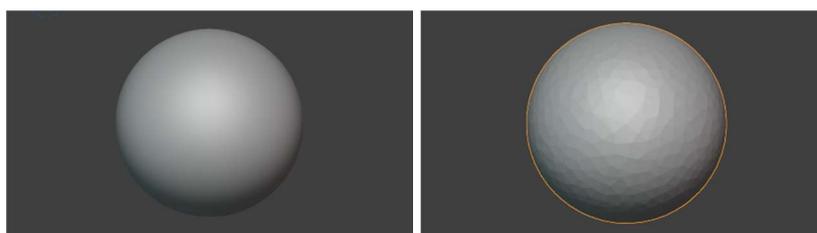
Retopology e ottimizzazione

Dopo aver modellato un oggetto è spesso necessario ottimizzare la mesh per ridurre il più possibile la quantità di poligoni senza perdere i dettagli.

A questo scopo si utilizzano due modificatori:

- **Decimate**

Permette di ridurre il numero di facce/vertici di una mesh

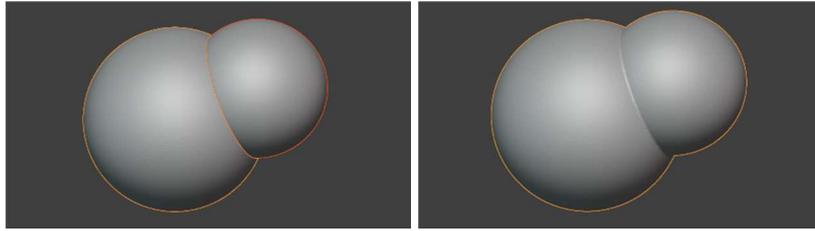


7.15 - Effetto del modificatore decimate. Nella seconda immagine è stato ridotto il numero di facce in modo evidente a scopo illustrativo. Generalmente si cerca di ridurre la complessità del modello senza compromettere la qualità visiva.

- **Remesh**

Si tratta di uno strumento che permette di generare una nuova topologia per la mesh sulla quale è applicato. È particolarmente utile per eliminare compenetrazioni tra diverse parti dell'oggetto

e per unire due mesh.



7.16 - Applicazione del remesh su due oggetti uniti

Questi due modificatori sono molto importanti, soprattutto per modelli destinati alla stampa 3D. È infatti fondamentale che i file che vengono mandati in stampa siano più leggeri possibile (la mesh deve essere quindi poco complessa a livello poligonale) e non devono avere compenetrazioni.

Analisi dell'animatic

L'animatic è una versione preliminare di una scena o di un intero film che si realizza utilizzando le immagini dello storyboard e montandole secondo il tempismo delle inquadrature che si vuole poi riportare nel film vero e proprio. Spesso viene accompagnato da un primo montaggio audio.

L'animatic è molto utile per farsi un'idea di come si presenterà l'opera. Serve per valutare le tempistiche e il flusso delle varie scene e permette di compiere delle scelte ed effettuare cambiamenti se ci si accorge che qualcosa non funziona prima della fase di produzione, potenzialmente risparmiando tempo e denaro.

Nella stop motion e in generale nel campo dell'animazione animatic e storyboard sono utilissimi per rendersi conto delle varie azioni che i personaggi devono compiere per poter quindi progettare le pose.



8.1 - Un frame dell'animatic di Gateau

Azioni principali

L'animatic che ho analizzato si limitava a raffigurare il teaser trailer di Gateau ma nonostante la sua breve durata include la maggior parte delle pose che il cane avrebbe assunto nel corso dell'intero cortometraggio.

I movimenti di CANE sono molto semplici e composti da poche pose intermedie quindi risulta facile individuarle ed isolarle.

L'analisi dell'animatic mi ha permesso di fare una lista delle pose che il cagnolino assume nel corso dell'opera, facilitando la progettazione delle sue componenti.

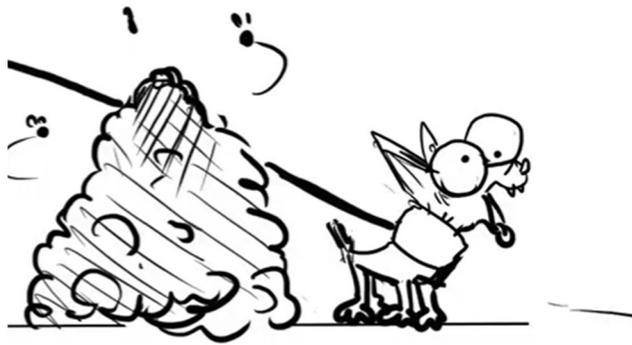
Qua sotto riporto la lista delle azioni principali ricavabili dall'animatic:

- **Fermo su quattro zampe**

CANE è fermo .

Primary Action: Ansima

Secondary Action: muove la coda



8.2 - Posa del cagnolino fermo

- **Escrementi**

CANE si trova sospeso sulla pila creata dalle sue stesse feci, enfatizzando l'effetto comico e caricaturale del momento.

Primary Action: CANE allarga le zampe

Secondary Action: Espressione soddisfatta



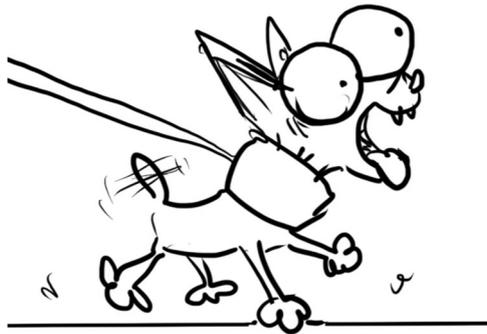
8.3 - Il cagnolino soddisfatto

- **Camminata**

CANE cammina eccitato muovendo le zampe velocemente.

Primary Action: cammina

Secondary Action: Scodinzola e ansima



8.5 - Il cagnolino durante la camminata

- **Seduto**

CANE si siede. *Questa azione non è presente nell'animatic ma è stata aggiunta in quando presente invece nel cortometraggio finito.*

Primary Action: CANE si siede

Secondary Action: Scodinzola e ansima

Il cane è pensato per essere animato in modo semplice e caricaturale. Essendo un personaggio tridimensionale ma schiacciato il più possibile in due dimensioni viene animato come fosse di fatto un personaggio in 2D utilizzando delle tecniche tipiche di quel tipo di animazione, come ad esempio lo smearing.

Animazioni cicliche

Dopo aver individuato le pose chiave ho scelto alcuni cicli di animazione da realizzare.

Per gli scopi di questa tesi ho deciso di concentrarmi sul realizzare le quattro animazioni cicliche descritte in seguito combinandole poi insieme:

Ciclo di camminata

La camminata del cane è stata pensata per essere molto semplice e riprendere lo stile di animazione 2D. La particolarità di questa animazione è che il motion blur è simulato utilizzando una tecnica tipica dell'animazione 2D: lo smearing.

La camminata del cane è veloce e nervosa. Si è scelto di animarla su 24 frame al secondo (on ONES) utilizzando 3 pose:

- POSA 1: still, zampa anteriore destra avanti

- POSA 2: smearing
- POSA 3: still, zampa anteriore sinistra davanti

Ciclo di ansimata

Mentre cammina il cane ansima e gira la testa. Questa azione è più lenta rispetto alla camminata ed è stata animata a 12 frames al secondo (on TWOs).

Questo ciclo è composto da quattro muscoli rivolti in avanti e quattro muscoli rivolti indietro, che non sono altro che i primi quattro specchiati. Nel momento in cui il cane gira la testa il motion blur è simulato con uno smear frame.

Movimento della coda

Il cane per manifestare eccitazione scodinzola. Il movimento, come quello del corpo, è molto rapido ed è animato in 24 frames al secondo. L'azione è formata da due pose chiave interlacciate da uno smear frame.

- POSA 1: coda in alto/basso
- POSA 2: smear
- POSA 3: coda in basso/alto

Movimento delle palpebre

Il cane sbatte le palpebre. Il movimento è rapido e animato on ones. È costituito da due pose principali (occhio aperto e occhio chiuso) unite da tre intercalazioni.

- POSA 1: occhio aperto
- POSA 2: palpebra leggermente abbassata
- POSA 3: palpebra abbassata

- POSA 4: occhio semichiuso
- POSA 5: occhio chiuso

Modellare gli smear frames

Come abbiamo già visto, anche nell'animazione 3D esistono gli smear frames e si presentano esattamente come quelli in due dimensioni. Il vantaggio di lavorare in 3D sta nel fatto che i software di modellazione offrono diversi strumenti utili a distorcere o duplicare le mesh in maniera tale da poter creare degli smear frames a partire dalla forma originale senza doverli modellare da zero.

Realizzare gli smear frames di Gateau

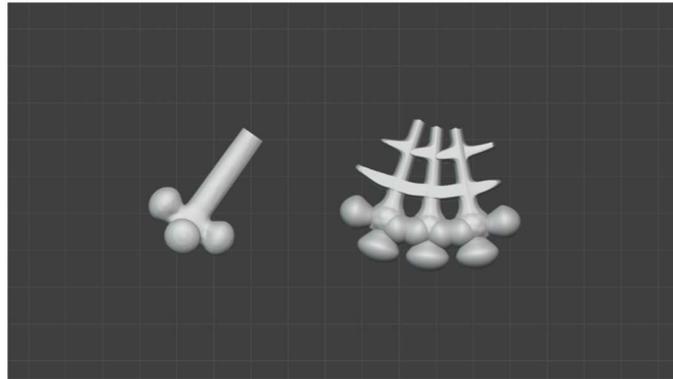
Nel caso di CANE ho utilizzato entrambe le tipologie di smear frames di cui abbiamo già discusso nel paragrafo dedicato (elongated inbetween e duplicates) a seconda del caso e anche una combinazione tra le due.

Su Blender, per creare l'effetto smearing, mi sono affidata principalmente a tre strumenti:

- Modificatore Array: per duplicare la forma iniziale
- Modificatore curva: per distorcere la forma iniziale e i suoi duplicati lungo una curva precedentemente tracciata
- Brush Elastic Deform: per deformare ulteriormente le mesh quando necessario

Zampe

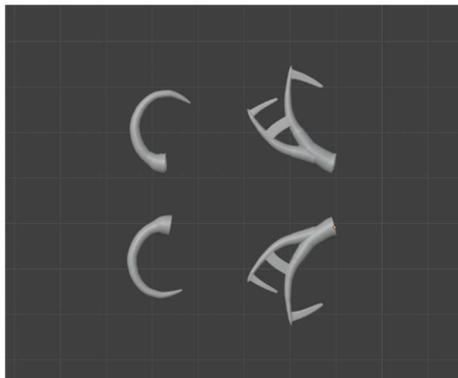
Lo smear frame delle zampe del cagnolino è un frame di tipo multiples. Le zampe sono state duplicate senza distorsione e il modello è stato realizzato a partire da una zampa singola separata dal resto del corpo moltiplicata con il modificatore array. Le sue copie sono poi state posizionate nella posizione finale utilizzando un modificatore curva, unite tra loro e ricongiunte al corpo unendo i due oggetti.



9.1 - Focus una zampa del cane e dello smear frame ricavato da essa

Coda

Lo smear frame della coda è di tipo elongated inbetween. Dalla coda originale "raddrizzata" ho estruso delle scie di movimento che simulassero il motion blur. La coda deformata è realizzata in modo che si possa montare sul corpo con le scie verso l'altro o verso il basso a seconda del movimento che sta facendo.



9.2 - Code del cagnolino affiancate alla loro versione "smear"

Testa

Lo smear frame della testa è più complesso degli altri due. Per simulare il movimento rapido è stata usata una tecnica mista tra elongated inbetween e multiples.

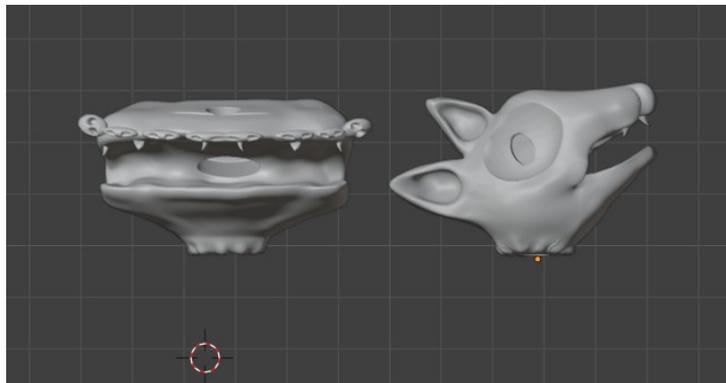
Tutta la testa è stata deformata secondo una curva allungandola lungo il percorso dell'animazione.

Il naso e i denti sono stati moltiplicati lungo la stessa curva aggiungendo una deformazione soprattutto verso gli estremi del modello.

Gli occhi sono stati deformati allo stesso modo della testa.

La lingua è stata moltiplicata e deformata lungo la stessa curva della testa.

Le orecchie sono state separate dalla testa in modo da essere riposizionate a destra o a sinistra del modello in base alla direzione del movimento.



9.3 - Smear frame della testa affiancato ad una testa ferma

Workflow su Blender

Per realizzare degli smear frames su Blender è possibile adottare diversi approcci, in questo paragrafo ne presento alcuni.

Elongated inbetween

Modellare gli smear frames utilizzando il modificatore curva

- Disegnare una curva coerente con la direzione nella quale si vuole deformare l'oggetto in movimento

- Applicare il modificatore curva alla mesh iniziale
- Spostare la mesh e fare piccoli aggiustamenti

Modellare gli smear frames in modalità sculpting

- In modalità sculpting utilizzare i brush di deformazione come “grab” o “elastic deform” per distorcere la mesh a proprio piacimento



9.4 - Applicazione del secondo metodo con il pennello grab

Multiples

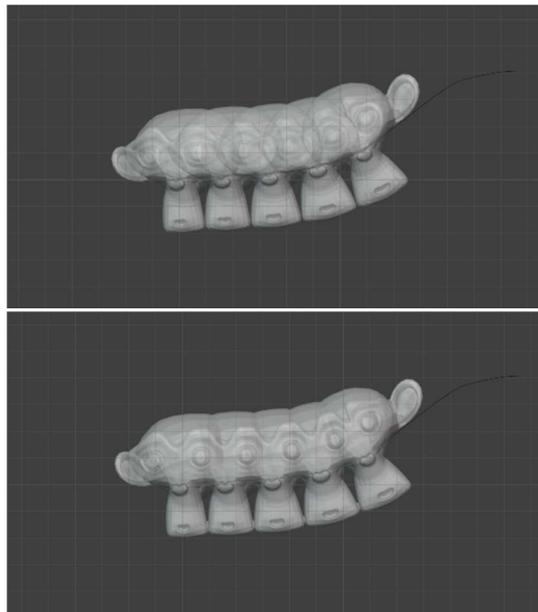
- Applicare il modificatore array alla mesh iniziale
- Cambiare la posizione dei duplicati a piacimento
- Anche in questo caso è possibile usare una curva per gestire attraverso di essa la posizione dei duplicati



9.5 - Smear frame realizzato con duplicati lungo una curva

Remesh

Utilizzando il modificatore array per duplicare una mesh non si ottiene un oggetto unico ma una serie di meshes che possono causare compenetrazioni. Se lo smear frame che si crea è destinato alla stampa bisogna assicurarsi che non ci siano oggetti che si compenetrano. Per fare questo è possibile utilizzare il modificatore remesh, che restituisce un oggetto uniforme.



9.6 - Figura 2 Array di teste prima e dopo l'applicazione del remesh

Testing

Il vantaggio di lavorare in un ambiente 3D è anche quello di poter testare digitalmente la resa dell'animazione prima ancora di avviare il processo di stampa.

Questo è possibile realizzando l'animazione direttamente su Blender con l'aiuto dei keyframes.

Prima di tutto si posizionano nell'ambiente tutti modelli delle pose nella loro posizione finale corretta.

Dopodiché si crea un keyframe della scala della prima posa sul frame iniziale, spostandosi poi nel frame successivo e riducendo la scala a zero per rendere invisibile il pezzo.

Si ripete questo processo per tutte le pose coinvolte, portando la loro scala a 1 nel frame in cui devono vedersi e a 0 in tutti gli altri.

Per una simulazione corretta bisogna tenere conto del timing dell'animazione in questione: in un'azione animata on ones (es. la camminata del cane) deve esserci una posa diversa ad ogni frame, in un'azione on twos (es. l'ansimata del cane) la posa cambia ogni due frames.

Ingegnerizzazione del modello

Dopo aver individuato quali sono i pezzi necessari per realizzare l'animazione del cane è necessario capire come questi pezzi possono incastrarsi tra di loro per formare il modello intero. È necessario valutare con attenzione le scelte migliori da compiere tenendo conto di diverse cose:

Modularità: le componenti devono essere progettate in modo da essere facilmente rimovibili e riposizionabili.

Stabilità: le varie parti devono incastrarsi o rimanere unite attraverso sistemi stabili per evitare che durante l'animazione si spostino compromettendo l'inquadratura

Peso: Pezzi troppo pesanti potrebbero compromettere la stabilità del modello intero

Invisibilità: se possibile conviene progettare i pezzi in modo che non sia evidente il fatto che sono parti separate. Questa non è una condizione strettamente necessaria ma eventuali bordi visibili di componenti separate andrebbero probabilmente corretti in post produzione.

Nei puppet per la stop motion le componenti sono spesso tenute insieme da magneti o da incastri. Per la progettazione del cane ho utilizzato entrambi.

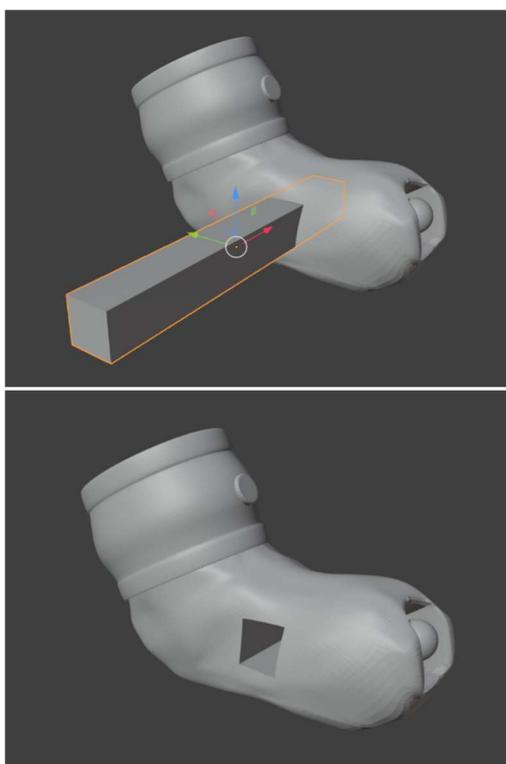
Rigging

Prima ancora di progettare gli incastri tra i vari pezzi è necessario definire come il cagnolino potrà stare in piedi. Il design delle sue zampe

non permette loro di sostenere il peso del modello, perciò è necessario utilizzare un rig.

Il rig che abbiamo scelto termina con un parallelepipedo di metallo che deve sostenere il corpo del cane. Per adattare il modello a questo tipo di sostegno ho praticato un foro quadrato nel lato del corpo da non inquadrare profondo circa 2 cm.

Per farlo è stato utilizzato il modificatore boolean che prende come oggetto un parallelepipedo delle dimensioni simili a quelle del rig (maggiorate di 0.2/0.3 mm per garantire che il rig riesca a inserirsi nel buco senza fatica).



10.1 - Foro per l'inserimento del rig

Testa-corpo

La testa del cane si collega al corpo tramite una coppia di magneti incastrati nei due pezzi del modello alla base del collo.

I magneti garantiscono una sostituzione rapida dei pezzi limitando le forze agenti sul resto del modello che potrebbero farlo muovere. Infatti, se un incastro avrebbe potuto sostenere in maniera più solida il peso della testa, sarebbe stato più complicato rimuoverla senza rischiare di muovere anche il resto del corpo.

Su Blender realizzare questo tipo di giunto è molto semplice. Basta creare un cilindro che abbia all'incirca le stesse dimensioni del magnete (dovrebbe essere più grande di 0.2/0.3 mm) e utilizzarlo per creare dei buchi nella mesh con il modificatore boolean sulle due componenti interessate. Una volta stampati i pezzi i magneti andranno posizionati nei buchi e fissati con della colla extra forte.



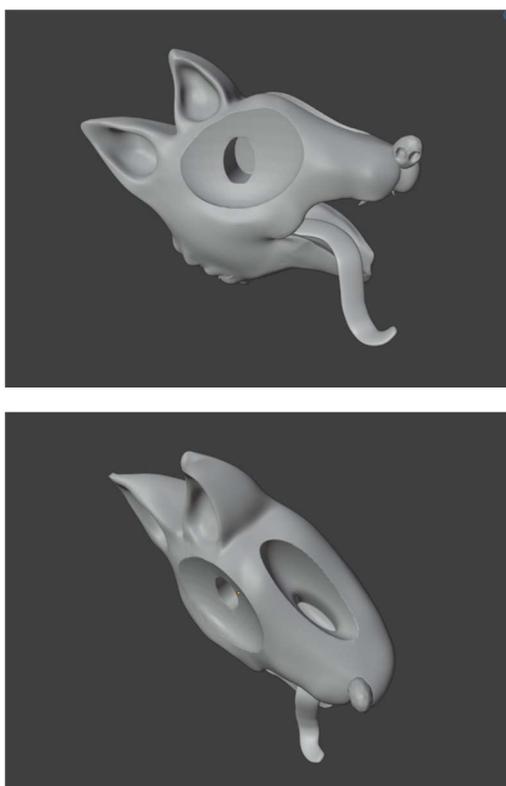
9.2 - Foro per l'assemblaggio della testa

Occhi-testa

Sulla testa abbiamo due tipi di occhi ma l'incastro funziona allo stesso modo: entrambi gli occhi hanno un'estensione che si inserisce nella testa in un foro complementare.

Questo tipo di incastro permette di fissare gli occhi in maniera molto stabile.

Anche in questo caso su Blender viene in aiuto il modificatore boolean che ho utilizzato per creare i fori nei quali andare a inserire gli occhi, sempre con uno scarto di poche decine di millimetro (0.2mm).



9.3 - Fori per l'inserimento degli occhi

Coda-corpo

Le varie code del cane si incastrano al corpo tramite un giunto a sfera. Questo tipo di incastro è particolarmente adatto perché permette di regolare la posizione delle code e l'ampiezza dell'animazione liberamente.

Realizzare un giunto a sfera è più complicato rispetto agli incastri descritti in precedenza e richiede un maggiore livello di precisione. Sfortunatamente Blender, a differenza di altri software di modellazione come Autodesk, non permette di lavorare con una precisione millimetrica tenendo sempre sotto controllo le distanze tra i modelli.

Per creare il giunto a sfera ho utilizzato il modificatore boolean per sottrarre una sfera più piccola ad una più grande, levigando poi i bordi per facilitare l'inserimento utilizzando il brush smooth.



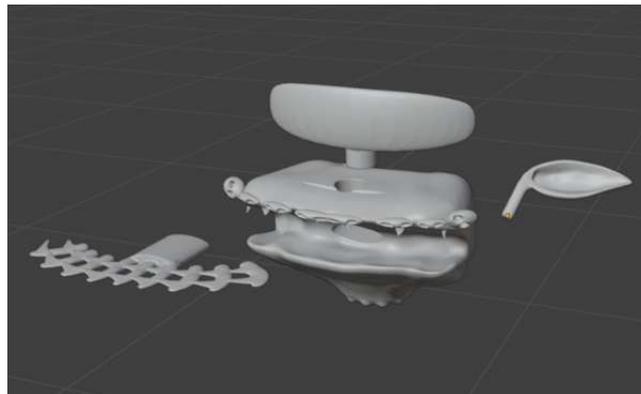
9.4 - Il giunto a sfera delle code

Testa (smear frame)

Lo smear frame della testa si collega al corpo tramite un magnete come le teste standard. Gli occhi e la lingua sono rimovibili e assemblabili tramite un incastro complementare.

La lingua è progettata in modo da poter essere inserita in due versi differenti a seconda della direzione del movimento.

Le orecchie possono essere inserite dietro la testa tramite un incastro più sottile rispetto ai precedenti e si possono posizionare verso destra o verso sinistra in base alla direzione del movimento.



9.5 Lo smear frame della testa con le sue componenti sostituibili

Tabelle riassuntive

A partire dalla pagina successiva ho riportato due tabelle riassuntive che illustrano rispettivamente le caratteristiche di tutti i pezzi realizzati nel corso di questa tesi (tabella 1) e i test di animazione effettuati (tabella 2).

TABELLA 1

DESCRIZIONE	FOTO	DIMENSIONI (mm)	ASSEMBLAGGIO	NOTE
Corpi camminata		47X38X14	<p>Magnete in foro cilindrico in corrispondenza del collare per attaccare le teste</p> <p>Giunto sferico per agganciare le code.</p> <p>Foro cilindrico in cui inserire il guinzaglio</p> <p>Foro cubico nel lato invisibile del corpo in cui inserire il rig</p>	<p>Questa voce comprende il frame statico e lo smear frame delle zampe.</p>
Corpo su quattro zampe - static		37x40x14	<p>Magnete in foro cilindrico in corrispondenza del collare per attaccare le teste</p> <p>Giunto sferico per agganciare le code.</p> <p>Foro cilindrico in cui inserire il guinzaglio</p> <p>Foro cubico nel lato invisibile del corpo in cui inserire il rig</p>	
Corpo seduto - static		34x36x25	<p>Magnete in foro cilindrico in corrispondenza del collare per attaccare le teste</p> <p>Giunto sferico per agganciare le code.</p> <p>Foro cilindrico in cui inserire il guinzaglio</p> <p>Foro cubico nel lato invisibile del corpo in cui inserire il rig</p>	

<p>Testa smear frame</p>		<p>57X30X37</p>	<p>Foro ellittico sulla sommità del cranio per l'incastro degli occhi. Foro ellittico all'interno della bocca per l'inserimento della lingua. Magnete in foro cilindrico nella base del collo. Fori cilindrici sul retro della testa per l'inserimento delle orecchie.</p>	
<p>Testa 1 – vecchia versione</p>		<p>54X43X22</p>	<p>Innesto a capsula sulla base del collare da inserire nel corpo</p>	<p>Versione scartata per la scarsità di dettagli</p>
<p>Teste sguardo avanti (ciclo di ansimata)</p>		<p>55x40x22</p>	<p>Magnete in foro cilindrico nella base del collo. Cavità complementari agli occhi sul lato del muso e sulla sommità del cranio</p>	
<p>Teste sguardo indietro (ciclo di ansimata)</p>		<p>55x40x22</p>	<p>Magnete in foro cilindrico nella base del collo. Cavità complementari agli occhi sul lato del muso e sulla sommità del cranio</p>	

Occhi avanti		20x20x12	Estrusione a cilindro ellittico per l'incastro nella testa	<p>Sono state realizzate 3 versioni che differiscono per la loro dimensione (piccola, media, grande). Nella tabella delle dimensioni sono riportati tre set di misure, uno per versione. Nelle prove di animazione sono stati utilizzati soltanto i pezzi piccoli.</p> <p>Questa voce include quattro pose: occhio aperto, palpebra leggermente abbassata, palpebra abbassata, occhio semichiuso, occhio chiuso</p>
Occhi dietro		10X8X6	Estrusione a cilindro ellittico per l'incastro nella testa	<p>Sono state realizzate 3 versioni che differiscono per la loro dimensione (piccola, media, grande). Nella tabella delle dimensioni sono riportati tre set di misure, uno per versione. Nelle prove di animazione sono stati utilizzati soltanto i pezzi piccoli.</p> <p>Questa voce include quattro pose: occhio aperto, palpebra leggermente abbassata, palpebra abbassata, occhio semichiuso, occhio chiuso</p>
Occhi smear frame		45x16x10	Innesto a cilindro ellittico per l'incastro con la testa (smear)	
Lingua smear frame		55x26x4	Innesto a cilindro ellittico per l'incastro con la testa (smear)	L'incastro simmetrico permette di inserirla nella bocca del cane in due versi differenti in base alla direzione in cui sta girando la testa.
Coda 1 alzata/abbassata		16x20x6	Cavo sferico sulla base della coda per l'incastro con il corpo	Questo pezzo unico può coprire due pose: per differenziarle basta inserirle nel giunto a sfera mantenendo il verso che si desidera

Coda 2 – smear frame (vecchia versione)		65x39x6	Cavo sferico sulla base della coda per l'incastro con il corpo	Questa versione è stata migliorata in seguito a dei test. Si è cercato di ottenere una forma più arrotondata e coerente con le altre code.
Coda 2 – smear frame		25x20x4	Cavo sferico sulla base della coda per l'incastro con il corpo	
Orecchie dx e sx – smear frame		20x23x4	Innesto cilindrico da inserire nei fori sul retro della testa (smear frame)	Entrambe le code possono essere inserite nella testa in due direzioni diverse per simulare una reazione coerente al movimento della testa.

TABELLA 2					
SEQUENZA	DESCRIZIONE	N POSE	DURATA CICLO	PEZZI RICHIESTI	NOTE
Camminata	Il cane cammina rapidamente	2	0.125 s	<ul style="list-style-type: none"> - Corpo camminata 1 - Corpo camminata smear 	
Movimento Della coda	Il cane scodinzola	3	0.17 s	<ul style="list-style-type: none"> - Coda 1 - Coda 2 (smear) 	
Respiro + torsione della testa	Il cane, camminando, ansima e gira la testa	11	0.46 s	<ul style="list-style-type: none"> - Teste sguardo in avanti - Teste sguardo indietro - Testa smear frame - Occhi smear - Orecchie smear 	Questo ciclo è composta da un ciclo di ansimata completo con sguardo in avanti (on twos), uno smear frame, un ciclo completo di ansimata nel verso opposto (on twos) e un ultimo smear frame.
Battito di palpebre	Il cane sbatte le palpebre	5	0.25s	<ul style="list-style-type: none"> - Set occhi davanti - Set occhi dietro 	

Conclusioni

Abbiamo già visto come la stampa 3D sia una tecnologia in continua evoluzione che sta diventando sempre più accessibile economicamente. È innegabile il fatto che questa tecnica abbia fornito agli artisti che si occupano di stop motion uno strumento molto versatile ed economico che semplifica e velocizza parecchie fasi di produzione e allo stesso tempo apre una serie di nuove possibilità artistiche.

Oltre a ciò, l'animazione in stop motion e la stampa 3d hanno contribuito l'una allo sviluppo dell'altra: abbiamo visto come LAIKA abbia fin da subito sfruttato le potenzialità della stampa 3D nelle sue opere aggiungendo complessità all'espressività emotiva dei personaggi. Gli ultimi progetti sono stati così ambiziosi che è stato necessario scovare una tecnologia di stampa ancora in fase di sperimentazione migliorandola per adattarla alle esigenze artistiche dell'azienda.

Questo lavoro di tesi punta a raccontare l'unione tra una forma d'arte antica, la Stop Motion, e la Stampa 3D, una tecnologia nuova e in continua evoluzione, presentando un possibile approccio di lavoro per dare alla luce un personaggio vivo e caratterizzato.

Sono stati i pomeriggi passati da Robin Studio a modellare, stampare, correggere e ristampare che mi hanno insegnato quanto il lavoro di modellazione improntato alla stampa 3D sia complesso e delicato.

Sperimentare e correggere gli errori è un passaggio fondamentale per la creatività e per raggiungere il risultato migliore possibile, ma purtroppo ha un costo. La modellazione 3D permette di applicare migliorie al modello potenzialmente all'infinito con un dispendio di risorse limitato, mentre la stampa fa sì che i modelli diventino tangibili e testabili velocemente con la possibilità di fare più repliche in una sola sessione di stampa.

Questo modo di lavorare offre un grande vantaggio ad artisti amatoriali e

piccoli studi indipendenti come Robin Studio che si imbarcano in un progetto in stop motion e devono fare i conti con i costi di produzione cercando di contenerli il più possibile.

Sposare la stop motion, una tecnica risalente alle origini stesse del cinema, alla Stampa 3D che ha conosciuto il suo maggiore sviluppo soltanto negli ultimi decenni non è una contraddizione, anzi, è la dimostrazione che la tecnica a passo uno è ancora oggi in continua evoluzione e riesce ad assorbire le nuove tecnologie combinandole con le tecniche originali per esplorare nuovi orizzonti estetici.

Link e Bibliografia

<https://www.adobe.com/it/creativecloud/animation/discover/principles-of-animation.html>

<https://stop-motion.it/i-primi-animatori-stop-motion/le-prime-stop-motion/https://www.3dnatives.com/en/difference-between-sla-and-msla-020820224/>

<https://www.youtube.com/watch?v=1NGeGcV9dXw>

<https://www.youtube.com/watch?v=Q0igKpJscsA>

<https://www.cartoonbrew.com/feature-film/laika-crazy-enough-animate-16-foot-tall-skeleton-kubo-two-strings-142544.html>

<https://formlabs.com/it/blog/come-effettuare-la-polimerizzazione-post-stampa-parti-realizzate-in-3D/>

<https://3dprint.com/119975/laika-academy-awards-3d-print/>

<https://www.screendaily.com/features/how-laika-made-ambitious-stop-motion-animation-missing-link/5145578.article#:~:text=“We%20ended%20up%20producing%20over,Strings%2C%20had%20about%2064%2C000>

<https://www.javelin-tech.com/3d/3d-printing-stop-motion-characters/>

https://blog.prusa3d.com/mysi-patri-do-nebe-3d-tistene-animacni-loutky_56977/

<https://idearocketanimation.com/8857-animation-techniques-smear/>

<https://imgur.com/a/smears-gppeN>

<https://www.alveo3d.com/en/pla-filament-fume-toxic-3d-printing/>

<https://www.sunlu.com/it-it/blogs/products-knowledge/what-is-photopolymer-resin?srsIid=AfmBOorM296ffbqK3D72V54ogVtsIBOqsc4Hypiy8oLR9Vvq5pTNqhmB>

<https://all3dp.com/2/sla-3d-printing-is-3d-printer-resin-toxic/>

<https://www.stampa3d-forum.it/articoli/guide/come-produrre-del-filamento-per-stampanti-3d/>

Riferimenti alle immagini

Le immagini riportate in questa tesi sono state utilizzate per scopi puramente accademici e senza fini di lucro. Tutti i diritti sono riservati ai rispettivi autori o editori. Qualora ci fossero problemi relativi ai diritti d'uso, si prega di contattare l'autore della presente tesi per eventuali correzioni o rimozioni.

- 1.1 <https://martine4098.wordpress.com/2017/08/16/12-principles-of-animation/>
- 1.2 <https://hallucinationrain.wordpress.com/2013/10/22/12-principles-02-anticipation/>
- 1.3 <https://medium.com/@wisemonkeysoffpage/12-principles-of-animation-457a1dcdef66>
- 1.4 <https://animost.com/tutorials/straight-ahead-action-and-pose-to-pose/>
- 1.5 <https://animost.com/tutorials/follow-through-and-overlapping-action/>
- 1.6 <https://www.bulbapp.com/u/12-principles-of-animation~254>
- 1.7 <https://johnhannonblog.wordpress.com/2015/12/01/12-principles-of-animation-arc/>
- 1.8 <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?l=finnish&id=899499881>
- 1.9 <https://animost.com/tutorials/timing-and-spacing-principle/>
- 1.10 <https://www.deedestudio.net/en/post/animation-exaggeration+>
- 1.11 <https://dsource.in/course/principles-animation/solid-drawing>

- 2.1 <https://www.tumblr.com/theillustratedarchives/36818100997/the-smear-an-animation-technique-in-1942-the>

2.2 <https://ie.pinterest.com/pin/190066046762550002/>

2.3 <https://ie.pinterest.com/pin/21110691999053882/>

2.4 <https://it.pinterest.com/pin/80783387053846335/>

2.5 Screenshot dal film

2.6 Screenshot dal film

2.7 <https://imgur.com/2p1TEkV>

2.8 <https://imgur.com/moG0SzS>

3.1 https://www.instagram.com/juxtapozmag/reel/DD_-dpmOdVJ/

3.2

https://www.reddit.com/r/Moviesinthemaking/comments/5r0fze/on_the_set_of_corpse_bride/

4.1 <https://parts-badger.com/sla-3d-printer-guide/> (non più valido)

4.2 <https://hlhrapid.com/knowledge/what-is-fdm-3d-printing/>

4.3 <https://www.matterhackers.com/articles/sls-3d-printing>

4.4 <https://www.makerverse.com/resources/3d-printing/digital-light-processing-dlp-3d-printing-explained/>

4.5

<https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>

4.6 <https://www.3dnatives.com/en/electron-beam-melting100420174/>

4.7 <https://www.3djake.it/elegoo/saturn-4-ultra>

4.8 <https://www.3dnatives.com/en/difference-between-sla-and-msla-020820224/>

4.11 <https://www.slashfilm.com/521162/laika-3d-color-printers-create-stopmotion-animated-movie-paranorman-50-learned-set/>

4.12 <https://www.stampa3d-forum.it/articoli/guide/come-produrre-del-filamento-per-stampanti-3d/>

5.1 https://dark-family-fun.fandom.com/wiki/The_Nightmare_Before_Christmas

5.2 <https://comics.ha.com/itm/animation-art/maquette/coraline-original-animation-puppet-faces-group-laika-2009-total-12-items-/a/7129-94083.s>

5.3 https://proto3000.com/wp-content/uploads/2019/05/CS_PJ_EN_Laika_1217a_Page_2_Image_0002-375x562.jpg

5.4 <https://grabcad.com/tutorials/how-to-make-grabcad-voxel-print-slices-using-matlab>

5.5 <https://johnnykel.ly/projects/hetklokhuis>

5.6 https://blog.prusa3d.com/mysi-patri-do-nebe-3d-tistene-animacni-loutky_56977/

5.7 <https://www.bcn3d.com/chase-me-an-animated-film-produced-with-the-help-of-3d-printing-technology-that-embraces-fears-and-turns-them-into-beauty/>

5.8 <https://www.dadomani.com/works/253/skills-nature-has-got-them-all-ep7-8-9>

5.9/10

<https://stopmotionstore.com/products/bend-ds-simple-armature-kit-7-5-inch>