



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Laurea Magistrale
In Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione

Progettazione e Realizzazione di una Simulazione di Endoscopia Respiratoria Equina in Realtà Virtuale

Relatori:

Prof. Fabrizio Lamberti
Dott. Filippo Gabriele Praticò
Ing. Edoardo Battezzorre

Candidati:

Chiara Fiore

Sessione di Laurea di Ottobre 2022

Sommario

La Realtà Virtuale o, in inglese, Virtual Reality (VR) è indubbiamente una delle tecnologie per la simulazione che sta prendendo sempre più piede negli ultimi anni. L'avanzamento e la riduzione dei costi dei processi produttivi ne ha facilitato la diffusione in diversi contesti, tra i quali l'addestramento e la formazione. La VR sembra infatti presentare notevoli vantaggi rispetto ai metodi tradizionali di addestramento consentendo di fornire esperienze più ripetibili, più facilmente adattabili ai bisogni dei singoli utenti, più contenute nei costi (a valle di un investimento iniziale) e più sicure (eliminando i rischi insiti in alcuni specifici scenari come, ad esempio, l'industria pesante e la chirurgia).

Questo lavoro di tesi presenta la progettazione e la realizzazione, in collaborazione con la facoltà di Veterinaria dell'Università di Torino, di uno strumento software in VR per la simulazione della procedura di endoscopia equina. Tale strumento è da intendersi come primo e parziale compimento di una piattaforma che avrà la finalità di supportare l'addestramento su questa procedura riducendo i limiti connessi alla scarsa reperibilità dei pazienti (cavalli) ed i rischi per gli stessi.

L'obiettivo di riprodurre la procedura in oggetto con una fedeltà adeguata alla finalità di apprendimento ha rappresentato la sfida principale del lavoro. A tale scopo sono state impiegate tomografie assiali computerizzate (TAC, o CAT in inglese) di pazienti reali per la ricostruzione dei canali respiratori equini e dedicata particolare cura agli aspetti di interazione in VR con lo scopo di massimizzare il trasferimento delle abilità necessarie alla manipolazione dell'endoscopio. Il risultato del lavoro rappresenta un punto di partenza per l'adozione di strumenti di apprendimento in VR all'interno dei percorsi formativi curricolari.

In questo elaborato verrà discusso lo stato dell'arte della letteratura scientifica per l'ambito di interesse, le tecnologie ed i metodi impiegati per la progettazione della simulazione e la sua realizzazione, ed un piano per gli sviluppi futuri.

Ringraziamenti

Per molti mesi ho guardato e riguardato di sfuggita il titolo “Ringraziamenti” nell’attesa di poter, finalmente, riempire il vuoto di queste due pagine. Digitare, in fine, ciascuna lettera che compone queste parole è un’emozione particolarmente intensa: è arrivato il momento di chiudere questo percorso, questo viaggio interminabile durato tutta una vita e concluso con questo elaborato di circa ottanta pagine. Al pensiero di poterle scorrere tutte quante sotto i miei occhi mi travolge una marea di emozioni: poche persone possono comprendere davvero quanto tempo, sudore e lacrime ogni singolo carattere di queste parole porta con sé, carico di momenti veramente bui della mia esistenza. Eppure niente di tutto ciò che ho vissuto lo cancellerei, tutto ha un immenso valore per me visto ciò che ho imparato in quasi un anno di lavoro. Il mondo, le persone, le relazioni, le scadenze (ahimè, le scadenze), tutto ha una forma diversa adesso, molte realtà mi appaiono più limpide, molti aspetti dell’esistenza stessa mi risultano come rinnovati e una sensazione di energico benessere mi coinvolge. Grazie, davvero, grazie a tutti coloro che mi hanno supportato anche solo con un sorriso in tutto questo tempo. Non ho intenzione di scrivere dei banali ringraziamenti per questa tesi, i miei vogliono essere ringraziamenti che permeano ogni istante vissuto finora, da quando i miei genitori si sono amati pensando ad una bambina che potesse essere un dono alla loro vita a quando ho riscoperto che, invece, sono stati loro, il mio dono.

Per questo motivo mi è difficile trovare le parole per poter ringraziare tutti, di sicuro non basterebbe una pagina per descrivere quanto, alla mia vita, hanno donato Adriana, Fabio, Stefania, Alessandra, Alice, Lucrezia, Maria, Gaia, Carlo, Domenico, Andrea, Corrado, Cristian, Giuseppe, Salvo, Marco, miei compagni di crescita, di vita, occupanti per sempre un’enorme fetta del mio cuore. Adriana, spero di averti per sempre al mio fianco. Allo stesso modo mi è impossibile quantificare l’enorme contributo fornito dai ragazzi del Collegio Einaudi, la casa che ancora non riesco a lasciare, come Salvatore, Davide, Corrado, Andrea, Nicolò, Francesco, Gustavo, Luca, Noemi, Arianna, Giada, Marco, Alice, Gabriele, Gabbo, Filippo e tutti gli altri che, in un modo o nell’altro, hanno contribuito a farmi essere ciò che sono adesso. Grazie infinite, per ogni singolo gesto che mi avete rivolto in questo tempo. Un piccolo, grande, pensiero va a Federico, unica ancora di salvezza nel mare in tempesta che è stato il Politecnico per me. Grazie per quello che hai fatto e continui a fare oggi, grazie per avermi fatto comprendere chi è che voglio essere e chi non voglio essere in futuro.

Venticinque anni, seppur non troppi, sono tutto quello che ho e che ho scelto di dedicare allo studio. Una scelta rinnovata quotidianamente grazie al supporto della mia famiglia, in cui tutti i componenti hanno fatto del loro meglio per starmi accanto. Un ringraziamento particolare, seppur possa sembrare scontato, va ai miei genitori, sempre pronti a dare tutto il possibile per farmi percorrere la strada migliore per me. Le loro rinunce, negli anni, le porto addosso come una medaglia dal valore inestimabile. Sono consapevole che la mia mente, il mio cuore e il mio spirito sono stati modellati da ogni singolo istante che mia madre e mio padre mi hanno dedicato.

Grazie mamma, perché non mi hai mai fatto mancare niente: dalle ore passate con me la sera ad insegnarmi a leggere quando ancora non sapevo nemmeno scandire bene le parole agli interminabili pomeriggi chiusi in macchina ad aspettarmi finire lezione al conservatorio, dalle mattinate perse a lasciarmi alle miriadi di attività quotidiane alle costanti attenzioni quotidiane che continuo a ricevere ancora tutt'ora. Sono infinite le cose che hai fatto per me.

Grazie papà, perché non c'è un momento che io non passi senza pensare a te e alla tua vita: ogni mio gesto è permeato dalla tua costante presenza, talmente significativa da avermi donato una chiave di lettura dell'esistenza così bella e meravigliosa, così travolgente e piena di Amore sincero, da rendermi capace di una felicità inestimabile, una felicità che non tramonta. Se non avessi mai avuto la possibilità di osservare da vicino lo sguardo d'Amore che ti ha legato a Dio e agli altri, sono sicura che ad oggi sarei una persona estremamente infelice. Le parole che ho usato da bambina per descriverti, in un compito di scuola elementare, rimangono ancora le più sincere: "Grazie papà perché mi fai spuntare il sorriso sulle labbra", oggi e sempre.

L'ultimo ringraziamento va a Dio, la forza motrice della mia esistenza, l'unica cosa Vera che c'è sempre stata e continua ad esserci nella mia vita. Con la speranza di poter continuare ad instaurare una relazione sempre più intima con Te, ti affido la mia vita anche per iscritto: che io possa sempre cercare dagli altri non tanto di essere consolata quanto di consolare, non tanto di essere compresa quanto di comprendere, non tanto di essere amata quanto di amare, e rinnovando la mia quotidiana richiesta di aver ricordato sempre che soltanto dando si riceve, perdonando si è perdonati e morendo si resuscita a vita eterna. *Benedici, il Signore, anima mia.*

Indice

1. Introduzione

- 1.1. Obiettivi tesi**
- 1.2. Conoscenze veterinarie**
 - 1.2.1. Endoscopia**
 - 1.2.2. Endoscopia equina**
 - 1.2.3. Effetti collaterali**

2. Stato dell'Arte

- 2.1. Uso della simulazione**
- 2.2. Simulazione in ambito medico**
- 2.3. Simulazione in ambito medico veterinario**
- 2.4. Uso della VR in ambito medico**
- 2.5. VR come forma di insegnamento**

3. Tecnologie utilizzate

- 3.1. Software**
 - 3.1.1. Blender**
 - 3.1.2. Unity**
 - 3.1.3. Substance Painter**
 - 3.1.4. InVesalius e MeshLab**
 - 3.1.5. Audacity**
 - 3.1.6. Visual studio code**
 - 3.1.6.1. C#**
- 3.2. Hardware**
 - 3.2.1. Meta Quest 2**

4. Realizzazione

- 4.1. Problematiche affrontate**
 - 4.1.1. Costruzione del modello dell'apparato respiratorio superiore**
 - 4.1.2. Movimento punta endoscopio**
 - 4.1.3. Gestione collisioni**
 - 4.1.4. Inserimento punta endoscopio in narice**

4.2. Iter di realizzazione

4.2.1. Creazione ambienti

4.2.1.1. L'endoscopio

4.2.1.2. Display

4.2.2. Animazione del cavallo

4.2.3. *Raycast* per i movimenti

4.2.4. Audio

4.2.5. Post-processing

4.2.6. Script

4.2.7. Implementazione della VR

5. Riscontri e sviluppi futuri

5.1. Riscontri ricevuti

5.2. Sviluppi Futuri

6. Conclusioni

Bibliografia

Lista delle Figure

1. Introduzione

1.1. Obiettivi della tesi

La presente tesi è stata proposta dal corso di Veterinaria dell'Università degli Studi di Torino, in particolare dalla Professoressa Michela Bullone interessata all'utilizzo di strumenti di simulazione nell'insegnamento della sua materia. Quest'ultima, infatti, prevede tuttora come unica forma di apprendimento pratico l'endoscopia effettuata su due esemplari di equino perfettamente sani. È stato, quindi, espresso il bisogno di aver accesso ad alternative di addestramento che permettano di diminuire tutte quelle problematiche più o meno probabili che possono presentarsi durante o dopo un'endoscopia negli esemplari in questione. L'etica che spinge l'insegnante ad intraprendere la sua professione si scontra con lo stress dell'animale dovuto a tali frequenti trattamenti, che includono anestesie ed eventuali danni agli organi respiratori.

L'ausilio reiterato di esemplari sani rimane il motivo principale di stesura di tale tesi, ma non l'unico. Quest'ultimo, infatti, risulta essere duplice: se da un lato si presenta il bisogno di decrementare l'uso dei metodi sopra scritti, dall'altro si ha l'esigenza di un insegnamento pragmatico che utilizzi tecnologie simulate che agevolino l'assorbimento delle tecniche corrette nella pratica dell'endoscopia. È infatti mostrato in svariati studi, di cui si parlerà successivamente, come l'uso di simulazioni permettano una predisposizione più serena da parte dello studente, che si trova a prendere confidenza con attività mediche senza la presenza di usuali emozioni negative come ansia o paura, tipiche in simili circostanze. In tal modo è possibile far accedere alle prime endoscopie studenti già parzialmente formati e, quindi, già familiarizzanti con gli strumenti, l'ambiente e le convenzioni del trattamento.

Questa tesi in particolare risulta essere la descrizione della messa in pratica dei primi passi che permetterebbero la realizzazione degli obiettivi sopra esposti. Nello specifico si potrebbe affermare che una completa usabilità del prodotto finale sia la conclusione dei seguenti sotto-obiettivi:

1. Analisi dei bisogni e degli obiettivi dell'utente, nel caso specifico lo studente del corso di Veterinaria;
2. Analisi dei bisogni e degli obiettivi del richiedente della tecnologia, nel caso specifico l'insegnante della materia sopra scritta;
3. Realizzazione di un software base che offra gli elementi necessari e fondamentali per simulare un'endoscopia equina;

- 3.1. Analisi delle procedure endoscopiche, degli strumenti usati e del comportamento dei soggetti;
- 3.2. Riproduzione interna degli organi del cavallo rilevanti nella procedura;
- 3.3. Indagine di metodologie per il corretto movimento dell'endoscopio durante la procedura all'interno del software usato;
- 3.4. Realizzazione ambiente operatorio e interazione tra gli elementi presenti in esso;
4. Analisi e ricerca di patologie, complicazioni ed eventi ipoteticamente presenti durante un'endoscopia equina;
5. Aggiunzione di funzionalità che permettano di simulare in VR il punto 4;
6. Costruzione di una interfaccia VR adeguata per l'utilizzo del software (coerente con quella dello strumento fisico, reale);
7. Verifica del funzionamento e analisi dell'efficacia dello strumento realizzato.

Sono stati realizzati i primi tre sotto-obiettivi sopra esposti, unitamente ad una parziale analisi facente parte del quarto punto, in modo da predisporre le basi per coloro che si occuperanno in futuro della loro completa realizzazione.

1.2. Conoscenze veterinarie

Necessarie per la comprensione della realizzazione della tesi sono le conoscenze veterinarie dell'ambito. Di seguito vengono riportate le descrizioni degli strumenti e delle procedure di realizzazione dell'endoscopia a cui si è fatto riferimento per la riproduzione in simulazione.

1.2.1. Endoscopio

L'endoscopio è lo strumento utilizzato per esplorare le zone che vanno dalle narici alla trachea. Per il trattamento di esemplari equini spesso i dottori optano per l'utilizzo di endoscopi adibiti per endoscopie umane. L'endoscopio si presenta come un lungo tubo (Figura 1) spesso poco meno di un dito alla cui estremità è attaccata una telecamera e una luce, utile per illuminare le pareti della mucosa a cui non arriva alcuna illuminazione esterna. Nella punta è inoltre presente un foro che può essere attraversato da strumenti come pinze di estrazione per prelevare tessuto, da analizzare successivamente, e un foro dedicato al passaggio di aria o acqua (Figura 2.a). L'altra estremità di questo tubo flessibile è legata ad un corpo simile ad un parallelepipedo svasato, che solitamente viene mantenuto dalla mano sinistra di colui che sta attuando la procedura endoscopica. La mano destra, invece, viene utilizzata per manovrare due rotelle di dimensioni differenti poste al lato del corpo principale dell'endoscopio (Figura 2.b), che si occupano di muovere su, giù, a destra e a sinistra la punta dell'endoscopio. Una delle due rotelle (la più esterna) è responsabile

del movimento destra/sinistra mentre l'altra di quello su/giù. La presenza di chip CCD ad alta risoluzione garantisce immagini nitide e reali. L'endoscopio è comunque uno strumento che può essere utilizzato per effettuare gastroscopia, esofagoscopia, tracheoscopia, isteroscopia, uretocistoscopia, rinoscopia, faringoscopia e laringoscopia [1]. Dettagli aggiuntivi si possono trovare riportati in Figura 3.



Figura 1. Endoscopio [<https://egcimagens.com.br/produto/endoscopio-flexivel/>]



Figura 2 (a) Particolare della punta e (b) Particolare delle rotelle

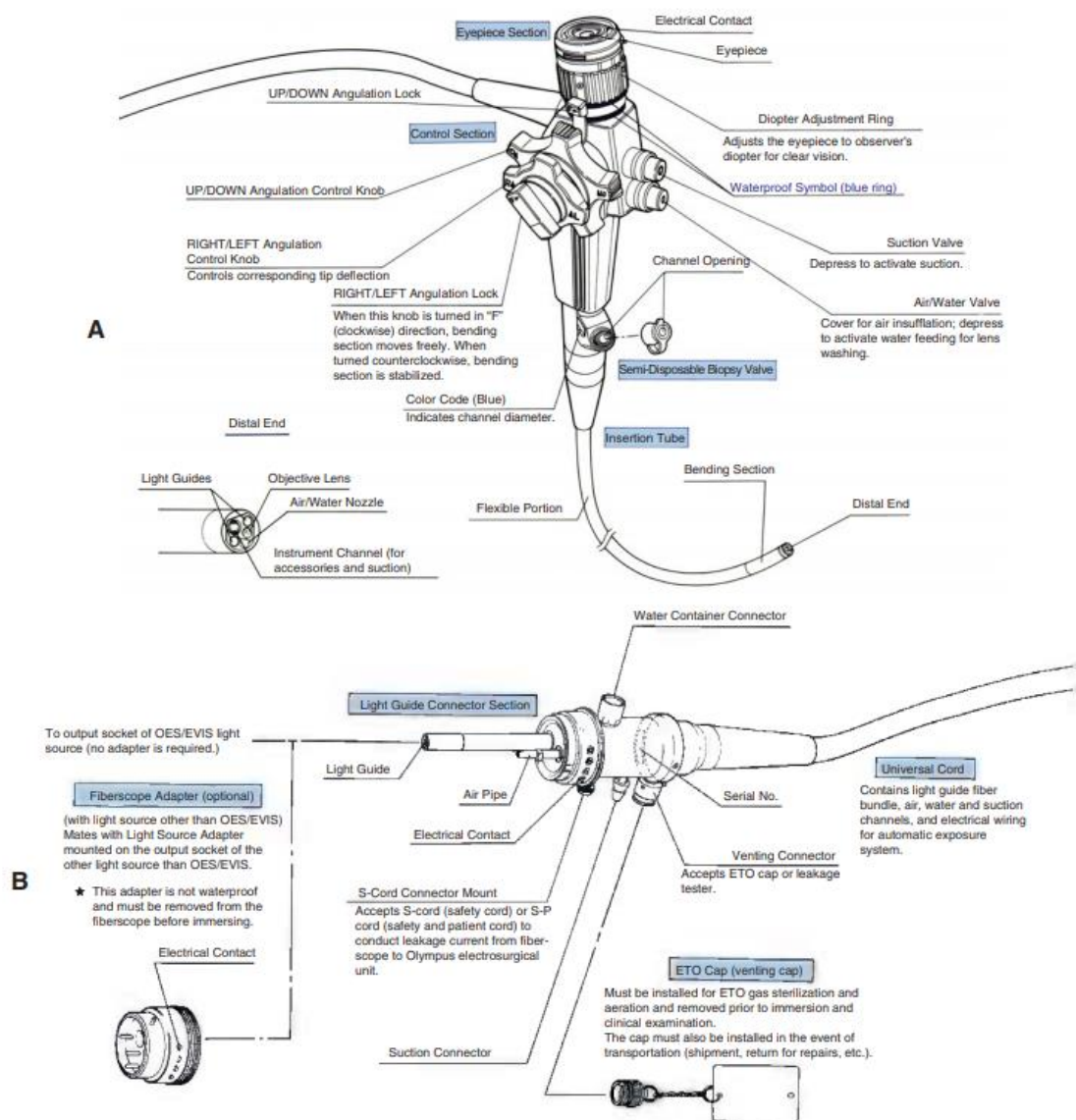


Figura 3. Disegni con spiegazione dettagliata delle componenti di un endoscopio
[\[https://www.agriexpo.online/it/prod/karlstorz/product-187691-117193.html\]](https://www.agriexpo.online/it/prod/karlstorz/product-187691-117193.html)

1.2.2. Endoscopia equina

Per poter realizzare un'applicazione virtuale che simuli un'endoscopia equina è necessario conoscere la reale procedura al fine di poterne studiare le caratteristiche e riprodurle il più fedelmente possibile. Per queste ragioni è stato organizzato un incontro tra gli esperti della materia e chi si è occupato della realizzazione del progetto. In questo incontro sono stati presentati gli strumenti di utilizzo e le modalità di esecuzione dell'endoscopia. Sono state effettuate, quindi, due endoscopie a due esemplari di cavalli differenti. Di seguito si presentano le deduzioni effettuate durante tale esperienza.

Tendenzialmente è necessaria la presenza di due o più persone per effettuare l'endoscopia: il dottore terrà l'endoscopio in mano e dirigerà la telecamera per visionare l'interno del cavallo su un display. Contemporaneamente l'assistente terrà la testa del cavallo ferma tramite la briglia sul capo e spingerà avanti o indietro il tubo all'interno della narice, compiendo eventuali rotazioni attorno all'asse del tubo stesso. Le eventuali persone aggiuntive si occuperanno di tenere fermo il cavallo, capace di movimenti bruschi anche se sotto effetto di sedativo. La procedura endoscopica consiste nei passi di seguito riportati:

1. Viene portato l'esemplare da esaminare all'interno di una postazione che nel seguito verrà volgarmente denominata "gabbia", anche se consiste semplicemente in uno spazio chiuso ai lati poco più grande di un cavallo. Essa permette di mantenere il cavallo fermo senza alcun tipo di contatto con l'esemplare stesso, quindi senza legarlo o costringerlo in alcun modo. È formata da due cancelletti e quattro pilastri collegati tra loro;
2. Viene sedato il cavallo tramite iniezione al collo;
3. Dopo aver aspettato l'effetto del sedativo (solitamente il cavallo abbassa la testa una volta che il farmaco entra in circolo), l'assistente inserisce il tubo in una delle due narici del cavallo;
4. Se il cavallo dovesse agitarsi ulteriormente si può procedere con l'applicazione di una pomata anestetizzante sulle pareti della narice;
5. Se il cavallo dovesse presentare sporcizia nelle narici è necessario pulirle con un panno;
6. Una volta inserito il tubo a fondo, il dottore muoverà la punta dell'endoscopio tramite le due rotelle presenti e darà istruzioni di movimento del tubo all'assistente;
7. Durante l'ispezione delle narici possono essere compiute diverse procedure che, però, non verranno trattate in questa tesi. Un esempio è l'utilizzo di una siringa per inserire liquido all'interno delle mucose e prelevare per eventuali analisi;
8. Quando il dottore lo riterrà necessario, la procedura verrà terminata con l'estrazione del tubo dal naso e l'eventuale ispezione dell'altra narice.

1.2.3. Effetti collaterali

La Professoressa Michela Bullone ha gentilmente fornito, grazie alla sua notevole esperienza nel settore, una lista di azioni che non dovrebbero essere eseguite durante la prestazione medica.

Le azioni che *non* devono essere compiute dal professionista/dallo studente che inserisce l'endoscopio nella narice sono le seguenti:

1. Tappare le narici durante la presa del cavallo: il cavallo potrebbe incorrere in ansia e tentare di liberarsi in maniera brutale;
2. Inserire l'endoscopio nel meato nasale medio: l'endoscopio non riuscirebbe più ad avanzare;
3. Muoversi senza indicazioni di colui che guida l'endoscopio: si osserverebbe un mancato spirito di collaborazione;
4. Mollare la presa dell'endoscopio: il tubo cadrebbe e si romperebbe;
5. Mollare la presa della testa del cavallo: il cavallo alzerebbe la testa per muoverla liberamente;
6. Usare una mano sola (ad esempio, tenendo solo la sonda, senza prendere il naso): risulterebbe impossibile compiere il gesto di inserimento dell'endoscopio nel naso.

Le azioni che *non* devono essere compiute dal professionista/dallo studente che guida l'endoscopio sono invece quelle riportate di seguito:

1. Sedare l'animale in caso di esame per valutazione di rumore respiratorio: l'esame non è diagnostico perché la sedazione induce una finta patologia (emiplegia laringea);
2. Non sedare l'animale in caso di altro esame (trachea/tasche gutturali, ecc.): si incorrerebbe in rischi specifici in base alla procedura (ad esempio, potrebbe esserci la presenza di molta tosse);
3. Richiedere l'inserimento dell'endoscopio senza aver completato le seguenti operazioni: verifica del funzionamento della luce e bilanciamento del bianco, verifica della funzionalità del video, verifica della funzionalità dei tiranti e dei canali di lavaggio, apposizione di soluzione lubrificante sull'estremità dell'endoscopio;
4. Inserire l'endoscopio in posizione curva nella narice;
5. Curvare l'endoscopio durante il passaggio nel meato nasale ventrale: si rischierebbe di ledere la mucosa;
6. Procedere se viene visualizzato l'etmoide (quando lo si visualizza, generalmente si deve ruotare l'estremità dell'endoscopio verso il basso per evitarlo): nel caso di contatto vi può essere un'emorragia profusa, anche se autolimitante nel giro di pochi minuti;
7. In faringe: posizionarsi in posizioni che non siano quella verticale;

8. In faringe: tentare di inserire l'endoscopio all'interno del recesso faringeo (cavità a fondo cieco): si rischierebbe una lesione della mucosa ed eventualmente una perforazione dello stesso;
9. Tentare l'ingresso in trachea con le aritenoidi chiuse: si rischierebbe tosse e lesione delle cartilagini;
10. In caso di DDSP durante l'esame: interpretarlo come un'anomalia; essa, infatti, potrebbe essere indotta dall'esame; è necessario sapere che il metodo per riposizionare il palato molle consiste nell'induzione della deglutizione;
11. In trachea: richiedere l'avanzamento prima di aver atteso 10-15 secondi dall'instillazione della soluzione anestetica locale: il rischio è una forte tosse.

2. Stato dell'arte

2.1. Uso della simulazione

La simulazione tramite dispositivi elettronici è una realtà che sta prendendo sempre più piede nelle varie sfere sociali, economiche, professionali e non solo. In particolare, l'uso della VR e della Realtà Aumentata (in inglese Augmented Reality, AR), esperienze simulative per eccellenza, nonostante possano essere inizialmente associate all'intrattenimento, da diversi anni vengono usate anche in applicazioni industriali [2] e recentemente in campi che vanno dall'arte alla cura della persona, dall'architettura alla medicina, dall'insegnamento alla valorizzazione del patrimonio, come avvenne nel 1994 quando una realtà museale locale sviluppò un "walk-through" interattivo di una ricostruzione 3d del *Castello di Dudley*, come appariva nell'Inghilterra nel 1550 [3].

Il campo della veterinaria, in tale ambito, risulta essere, purtroppo, estremamente limitato. Per questo motivo i successivi paragrafi saranno dedicati all'approfondimento della realtà simulativa in un campo molto più esteso ma, comunque, semanticamente simile: la medicina. Nel trattamento e studio dell'essere umano, la simulazione è lo spunto principale delle evoluzioni simulative nell'ambito della veterinaria. Il calcolo spaziale, che incorpora la VR e l'AR, è stato utilizzato nell'assistenza medica e nell'istruzione umana per poi essere recentemente ampliato all'istruzione veterinaria [4].

Come afferma Christian Queen, chirurgo veterinario appassionato di XR [5]: *“Come chirurgo veterinario, posso assolutamente vedere il potenziale della realtà virtuale. Il settore medico umano sta già abbracciando con tutto il cuore la XR ed è solo questione di tempo prima che anche noi veterinari vedremo il vero potere di questa tecnologia”*.

Partendo dalla realtà medica, nelle successive pagine si arriverà a parlare anche della piccola realtà veterinaria.

2.2. Simulazione in ambito medico

L'addestramento medico basato su simulatori ha guadagnato accettazione negli ultimi decenni ed è stato ampiamente studiato. Diversi tipi di simulatori sono stati convalidati ed è stato dimostrato che, come scritto sopra, l'uso di simulatori nella formazione iniziale migliora la curva

di apprendimento nell'acquisizione delle competenze di base [6]. Le varie tipologie di simulazione possono essere suddivise come segue: simulatori meccanici, modelli *ex vivo*, costituiti da una combinazione di parti in plastica e organi animali espianati ottenuti da macelli, e simulatori in VR. Di seguito viene riportata una discreta lista di tali strumenti adibiti alla simulazione medica.

- *Erlangen Endo-Trainer* (Figura 4.a)

Adibito per la simulazione di un'endoscopia, ha al suo interno pacchetti di organi suini viscerali superiori appositamente preparati, quali esofago, stomaco, duodeno, fegato, cistifellea e dotti biliari. In questi ultimi vengono introdotti piccoli calcoli. I test che riguardano questo dispositivo sono stati condotti da un endoscopista esperto assistito. Si possono identificare dei passaggi eseguibili come uno schema strutturato di formazione di gruppo: introduzione dell'endoscopio a visione laterale e passaggio nel duodeno; identificazione e regolazione della papilla; incanalamento della papilla; imaging selettivo del dotto biliare con applicazione di contrasto sotto visione a raggi X; posizionamento di un filo guida; papillotomia; estrazione dei calcoli e, infine, posizionamento di un tubo di plastica. Uno dei punti di forza di tale dispositivo è la sensazione del tessuto reale, come se la procedura fosse eseguita su un paziente vero [7].

- *GI Mentor II Virtual Reality Computer Simulator* (Figura 4.b)

Concepito per l'addestramento delle procedure endoscopiche gastrointestinali superiori e inferiori, offre una libreria completa di moduli con oltre 120 attività e casi di pazienti virtuali. Il simulatore dispone di molteplici opportunità di formazione con casi di pazienti che offrono realistici scenari di situazioni cliniche che vanno da semplici procedure diagnostiche a procedure avanzate di ERCP e di ecografia endoscopica (EUS) [6].

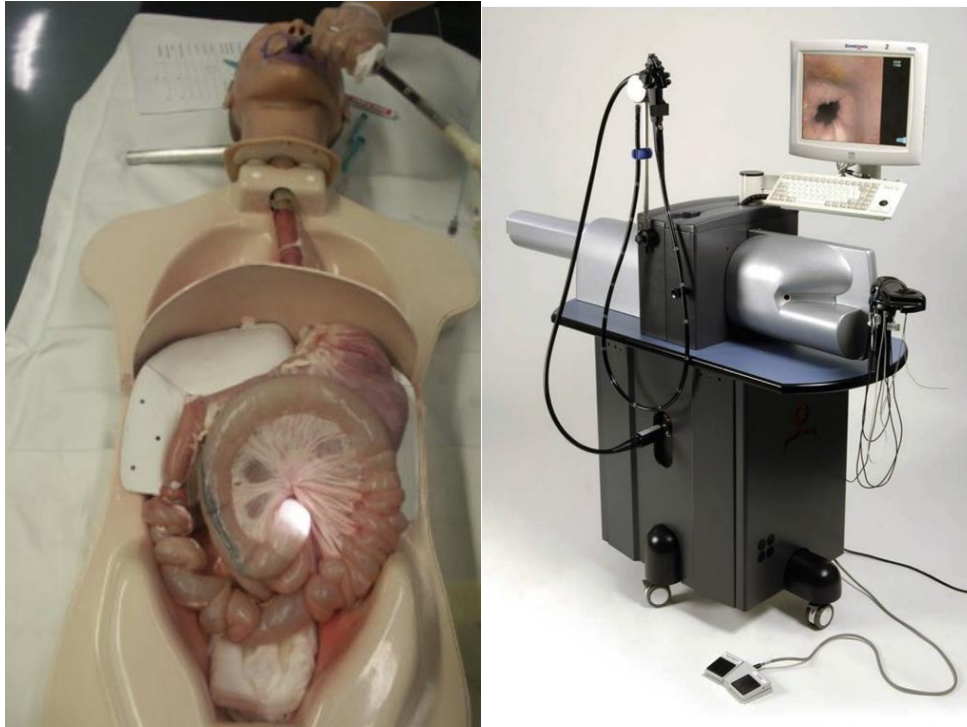


Figura 4 (a) Erlangen Endo-Trainer [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1096288307001052>] e (b) GI Mentor II [S.E. van der Wiel, R. Kutter Magalhaes, C. R. Rocha Gonçalves, M. Dinis-Ribeiro, M. J. Bruno, and A. D. Koch, “Simulator training in gastrointestinal endoscopy - From basic training to advanced endoscopic procedures”, *Best Pract Res. Clin. Gastroenterol.*, Vol. 30, pp. 375-387, 2016.]

- *The Kyoto Kagaku Colonoscope Training Model* (Figura 5.a)

Unico modello meccanico che è stato riconosciuto come valido nell'ambito della colonscopia, è composto da resina morbida e resina dura, senza lattice. Offre molteplici livelli di difficoltà, da casi semplici a complessi. Il tubo del colon può essere reso ermetico, consentendo l'insufflazione e l'aspirazione dell'aria; l'apertura dello sfintere anale può essere manipolata con una pompa a sfera. In particolare le componenti sono: 1 modello di addome / 1 tubo del colon retto / 1 unità dell'ano / 1 bulbo d'aria / 1 copertura della pelle dell'addome / 1 set di dispositivi per il colon / 5 guide per la disposizione del colon (6 casi in totale) / 30 lubrificanti per tubo del colon-retto (50 ml ciascuno) / 30 lubrificanti per endoscopi (20 ml ciascuno) / 1 bottiglia di plastica / 1 supporto / 1 foglio di gomma / 1 tappo ano [8].

- *URO Mentor* (Figura 5.b)

Unico simulatore VR per l'allenamento di urologia, è convalidato clinicamente e dotato di realismo superiore. Le caratteristiche sono: manipolazione della pietra, trattamento delle stenosi, compiti di base, libreria dei moduli, fluoroscopia e angiografia in tempo reale. Tale dispositivo è dotato di un curriculum completo di insegnamento e valutazione, potenzialmente graduale, di

competenze essenziali alla diagnostica e di procedure terapeutiche di urologia, con una varietà di telescopi realistici e dispositivi urologi come cistoscopi flessibili, rigidi o uretroscopi, fili guida, tube, pinze, laser, EHL [9].

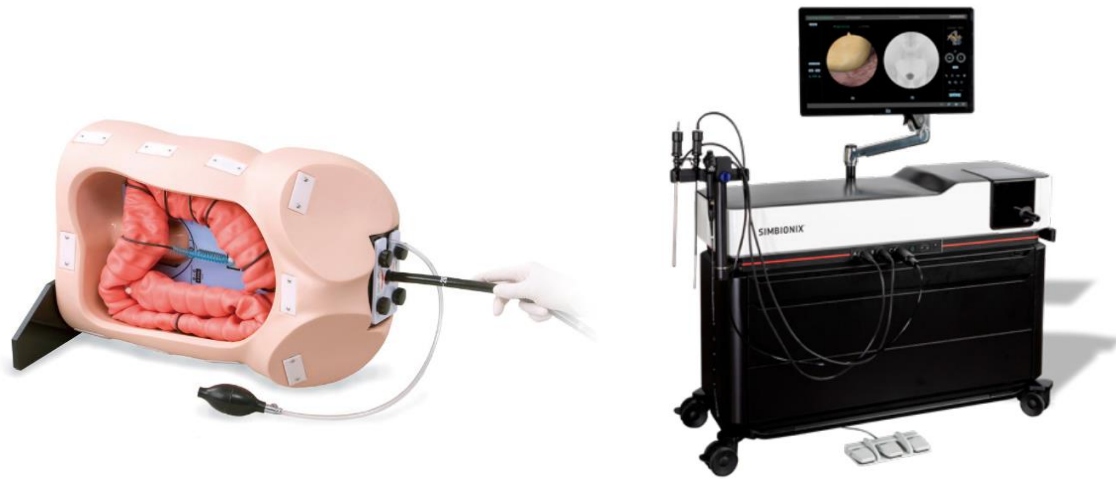


Figura 5 (a) The Kyoto Kagaku Colonoscope Training Model [http://www.kyotokagaku.com/en/products_data/m40] e (b) URO Mentor[http://www.kyotokagaku.com/en/products_data/m40]

- *GI Express* (Figura 6.a)

Piattaforma di allenamento da tavolo, offre un'esperienza realistica di addestramento utilizzando un vero e proprio endoscopio [9].

- *XVision ERCP Training system* (Figura 6.b) e *ERCP Mechanical Simulator (EMS)*

Realizzati con componenti in alluminio, plastica e gomma, con papilla sintetica o ex vivo, questi dispositivi forniscono la possibilità di allenarsi con veri endoscopi e accessori. Per quanto riguarda il dotto biliare selettivo o pancreatico, la cannulazione del dotto può essere praticata con posizionamento selettivo delle tube, dilatazione del palloncino, citologia del pennello e, in alcuni casi, sfinterotomia [6].

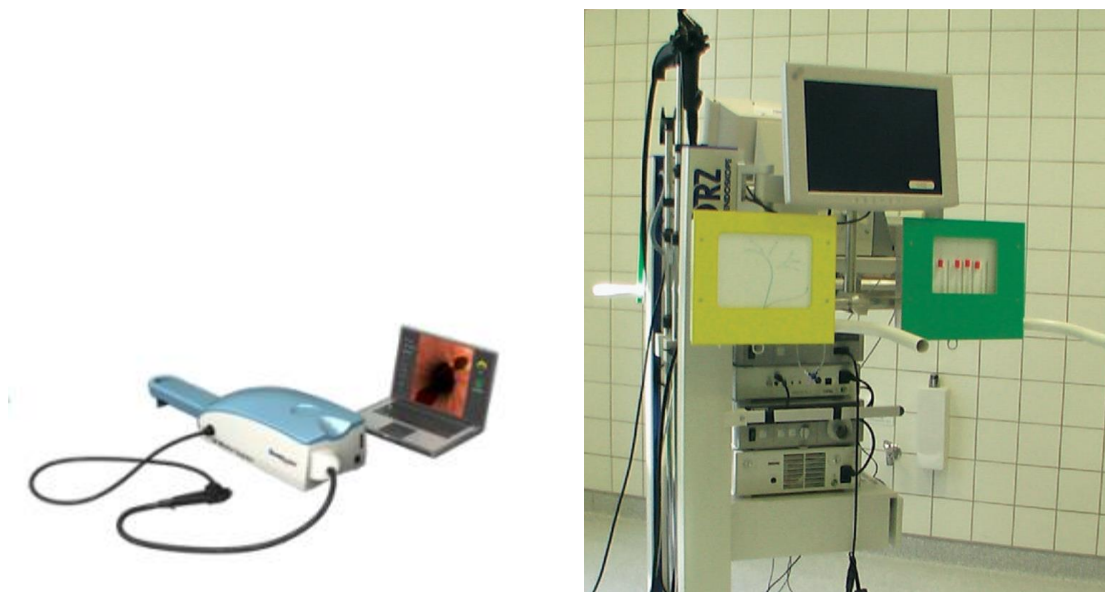


Figura 6 (a) GI Express [<https://symbionix.com/wp-content/pdf/Brochures/ENDO-Brochure-2021.10.en-Web.pdf>] e (b) XVision ERCP Training System [https://www.researchgate.net/figure/The-X-Vision-ERCP-Training-System-mounted-on-an-endoscopy-trolley-Front-view-of-the_fig3_23562919]

- *LapSim* (Surgical Science, Sweden) e *Lap Mentor* (Figura 7.a)

Formati da una piattaforma operativa, telecamere e un monitor, questi dispositivi forniscono formazione sulle competenze di base e procedurale. I tirocinanti possono esercitarsi nella manipolazione e nelle tecniche chirurgiche attraverso impostazioni non anatomiche e pazienti virtuali. Il livello di competenza dei tirocinanti potrebbe essere valutato in base a un gran numero di parametri di prestazione qualitativi e completi [6].

- *MIST-VR* (Figura 7.b)

Primo simulatore VR realizzato e prototipo degli attuali simulatori, è stato presentato dai ricercatori della Manchester Royal Infirmary e Virtual Presence nel 1997. Il sistema iniziale consisteva in un PC Pentium da 200 MHz con una RAM da 32 Mb collegato ad una struttura che conteneva due strumenti laparoscopici standard. I tirocinanti hanno avuto la possibilità di simulare alcune delle manovre eseguite durante una laparoscopia “afferrando” e “manipolando”. Inoltre, è stato possibile registrare, confrontare e analizzare le prestazioni dei singoli compiti [7].



Figura 7 (a) LapMentor [<https://www.medicalexp.it/prod/surgical-science/product-79096-1027246.html>] e (b) MIST-VR

- *Simendo (Simendo, Holland)* (Figura 8.a)

Progettato per tutte le specialità laparoscopiche come chirurgia generale, ginecologia e urologia, consente all'utente di allenare abilità laparoscopiche fino ad un livello elevato e fornisce programmi di certificazione per principianti e poco esperti. È portatile e collegabile a PC con sistema operativo Windows 10 [10].

- *Insight Arthro VR Shoulder Simulator* (Figura 8.b)

Dotato di una spalla di plastica a grandezza naturale, ha come dispositivi input due braccia robotiche che inviano un feedback tattile all'utente. Questo simulatore può creare diverse posizioni, come sedia a sdraio o decubito laterale, utili per raggiungere le abilità necessarie per l'esecuzione dei trattamenti. I tirocinanti hanno la possibilità di scegliere compiti non anatomici per l'allenamento della coordinazione visivo-spaziale di base o compiti anatomici per l'allenamento delle abilità procedurali [11].

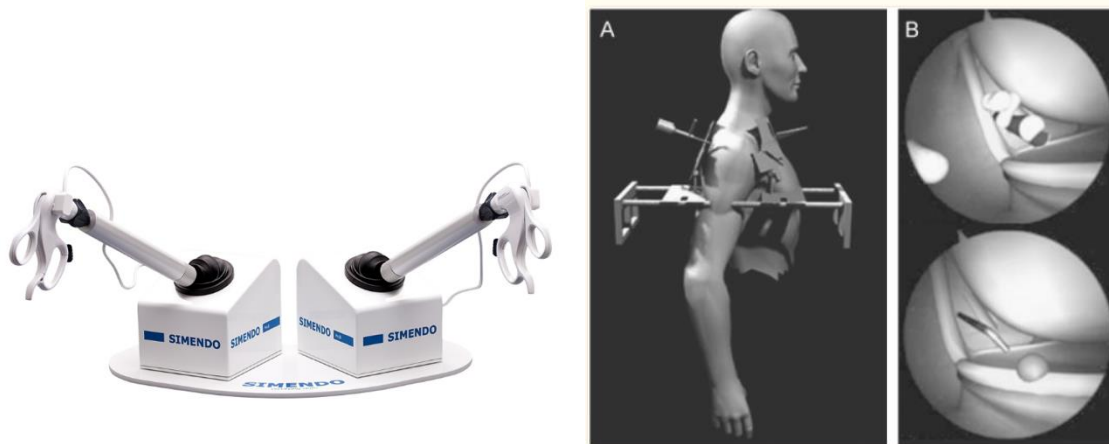


Figura 8 (a) Simendo [<https://www.simendo.eu/products/simendo-laparoscopy/>] e (b) Insight Arthro VR Shoulder Simulator [L. Li, F. Yu, D. Shi, J. Shi, Z. Tian, J. Yang, X. Wang, and Q. Jiang, "Application of virtual reality technology in clinical medicine", Am. J. Transl. Res., Vol. 9, pp. 3867-3880, 2017.]

- *Procedicus VA Simulator* (Figura 9.a)

Primo simulatore visivo-spaziale specifico utilizzato per l'addestramento all'artroscopia del ginocchio, dispone di piattaforma, fotocamere, dispositivo ottico e sonda ed è provvisto anche di feedback tattile. Ai tirocinanti viene chiesto di completare le attività su un ginocchio virtuale, mentre il feedback tattile si verifica ogni volta che viene toccato un organo [11].

- *Knee VR simulator*

Con sistema di rilevamento del movimento elettromagnetico, sistema di misurazione Aurora (Northern Digital, Canada) e modello di ginocchio artificiale (Pacific Research Laboratories, WA), possiede un sensore a sei gradi di libertà fissato sotto il modello del ginocchio; le finalità di quest'ultimo sono la rilevazione di forze chirurgiche caricate sull'articolazione e la fornitura di dati sull'insieme delle forze e dei momenti torcenti [11].

- *HipNav*

Sviluppato per la formazione THA presso Carnegie Mellon da Digioia et al., contiene modelli cinematici dell'articolazione dell'anca e strumenti per prevedere l'intervallo del movimento femorale, del movimento osseo e dell'allineamento ottimale in base al posizionamento dell'impianto. Aiuta i chirurghi nella determinazione dell'impianto acetabolare ottimale e specifico per il paziente prima dell'intervento e nel trasferimento alla navigazione chirurgica in vivo [12].

- *TraumaVision Fractured Femur Orthopedic Simulator (Swemac Orthopaedics, Sweden)* (Figura 9.b)

Con feedback tattile per la creazione della sensazione di perforazione e alesatura delle ossa corticali e spongiose, è controllato tramite uno stilo, che funge da navigatore sullo schermo del computer. Il feedback tattile fornito dal dispositivo Geomagic Touch X (Geomagic, USA) consente agli utenti di sentire una resistenza realistica a contatto con tessuti molli e ossa. La sensibilità del dispositivo tattile può anche generare una differenziazione tattile tra osso corticale e spongioso.

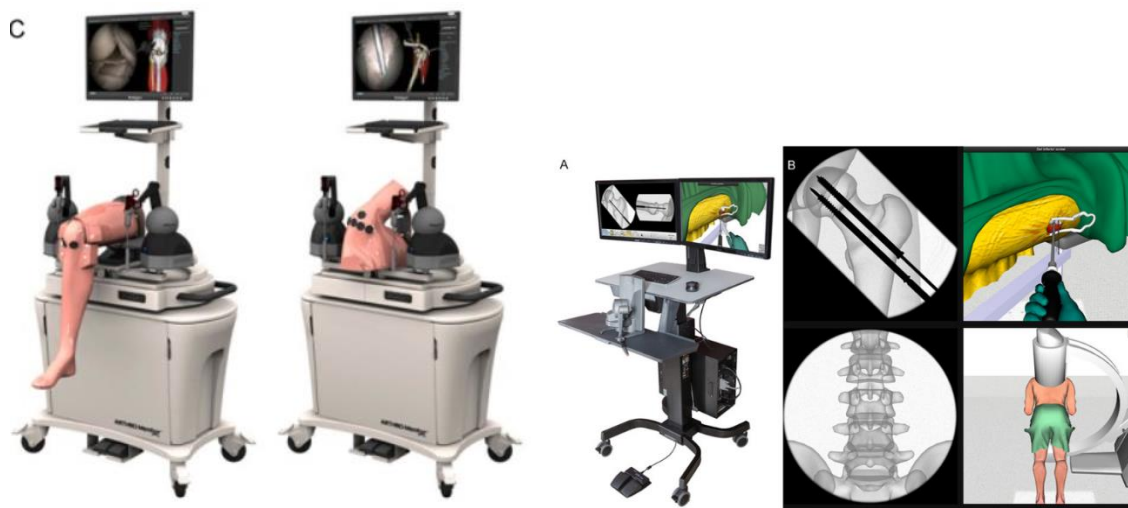


Figura 9 (a) ProCedicus VA Simulator [L. Li, F. Yu, D. Shi, J. Shi, Z. Tian, J. Yang, X. Wang, and Q. Jiang, "Application of virtual reality technology in clinical medicine", Am. J. Transl. Res., Vol. 9, pp. 3867-3880, 2017.] e (b) TraumaVision Fractured Femur Orthopedic [https://www.researchgate.net/figure/The-platform-of-TraumaVision-fractured-femur-orthopedic-simulator-A-and-its-interface_fig3_320126170]

- *Visible Ear Simulator (VES)* (Figura 10.a)

Simulatore di osso temporale virtuale 3D completamente funzionante, fornisce un feedback di forza. I partecipanti eseguono una mastoidectomia completa entrando nell'antro attraverso un osso temporale virtuale. I risultati hanno mostrato un'acquisizione di successo delle competenze di base [6].

- *EYESI* (Figura 10.b)

Prodotto da VRMagic, è attualmente l'unico sistema di addestramento chirurgico VR per chirurgia oftalmica disponibile sul mercato. È un simulatore basato su monitor modulare che consente un'ampia gamma di procedure chirurgiche oftalmiche, come la chirurgia vitreoretinica e

la capsuloressi. Include moduli di formazione chirurgica per capsuloressi, idrodissezione, faco, irrigazione/aspirazione e inserimento di IOL, nonché gestione delle complicanze. [13]



Figura 10 (a) Visible Ear Simulator [https://www.researchgate.net/figure/Simulator-setup-Portable-PC-with-GeForce-9-800-M-GTX-graphics-card-and-Windows-Vista-32_fig1_26311307] e (b) EYESI [<https://www.vrmagic.com/medical-simulators/eyes-surgical>]

- *Which DentSim* (Figura 11.a)

Dotato di tecnologie VR e AR, include posture ergonomiche, feedback istantaneo, simulazione di esami, trasferimento diretto dei dati al programmatore.

- *CDS-100 (Computerized Dental Simulators)* (Figura 11.b)

Progettato da EPED Inc., è un dispositivo con tecnologie VR e AR che forniscono il miglior sistema di formazione computerizzata per studenti di odontoiatria e dentisti PGY che necessitano di autoformazione. Ecco alcuni vantaggi: il sistema di posizionamento ottico fornisce un feedback 3D accurato in tempo reale dell'angolo e della profondità ottimale dei denti; numerose lezioni software (odontoiatria operatoria, endodonzia, corone e ponti e pedodonzia) danno la possibilità agli studenti di attuare un facile auto-apprendimento, grazie anche alla guida digitale. I corsi e le lezioni possono essere personalizzati e progettati, nonché aggiornati per progetti specifici.



Figura 11 (a) Which DentSim e (b) CDS-100 [<https://www.omnia-health.com/product/simex-cds-100>]

- *Objective Structured Clinical Examination (OSCE)*

Incorporato nel curriculum del software di odontoiatria operativa, con un sistema computerizzato di valutazione oggettiva, permette agli insegnanti di valutare lo stato di apprendimento degli studenti attraverso rapporti digitali per rafforzare ulteriormente i loro obiettivi. I rapporti di valutazione con figure e descrizioni offrono un facile auto-apprendimento, con l'aiuto di studi di confronto per migliorare la pratica clinica e la precisione.

- *Moog Simodont Dental Trainer* (Figura 12)

Sistema di formazione per le scuole odontoiatriche, aiuta gli studenti a progredire più velocemente, offrendo anche all'insegnante la possibilità di verificare che gli studenti lavorino in modo efficiente e tenendo traccia dei loro progressi. L'obiettivo del sistema è quello di addestrare le abilità degli studenti (rimozione carie, preparazione corone con diverse bave dentali etc.)

I dispositivi sopra elencati sono solo alcuni tra i rilevanti dispositivi simulativi usati in ambito medico. Nel seguito, invece, ci si concentra sullo stato dell'arte nel contesto della simulazione veterinaria.



Figura 12. Moog Simodont Dental Trainer[<https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>]

2.3. Simulazione in ambito veterinario

I principali dispositivi per la simulazione nell'ambito della medicina veterinaria sono stati sviluppati per l'insegnamento e l'addestramento. Tradizionalmente, ci sono tre strumenti principali per imparare l'anatomia al di fuori di un'aula: i libri, che forniscono conoscenze di base ma senza un'esplorazione più approfondita a causa della mancata manipolazione degli oggetti, i programmi software tridimensionali, prodotti da aziende tra cui Biosphera, Sciencein3D e Anatomage, che consentono un'esplorazione più approfondita ma sono spesso costosi o offerti tramite licenze restrittive, e gli ambienti VR [14].

Come nel paragrafo precedente, di seguito viene riportata una discreta lista di strumenti dedicati alla simulazione veterinaria.

- *Canine Dental Surgical Model* (Figura 13)

Composto da materiali come gomma, simula denti, bocca, lingua, cavo orale, epiglottide, esofago, trachea, mascella e legamenti. Permette di effettuare radiografie, estrazione dei denti e operazioni dentali in generale [15].



Figura 13. Canine Dental Surgical Model [<https://vetsimulators.com/caninedentalsimulator/>]

- *Canine Spay Simulator* (Figura 14.a)

Realizzato con materiali come gomma, è composto da calotta superiore termoformata con perni di fissaggio del tampone di sutura, calotta inferiore termoformata con ventose, milza, reni, intestino crasso e tenue con mesentere, vescica, utero sostituibile con ovaie, legamenti, sutura multistrato per rappresentare la parete addominale.

- *VSI Equine Simulator* (Figura 14.b)

Costruito in resina epossidica e fibra di vetro, è un modello di cavallo con pannello di accesso dorsale, pannello perineale morbido e flessibile, replica struttura pelvica, coda naturale, rappresentazione dell'aorta, milza e reni. È interamente realizzato a mano e ciò potrebbe causare piccole incongruenze tra forma, vestibilità e finitura dei modelli. È usato per insegnamento veterinario e dispone di meccanismi che possono essere usati dall'insegnante per testare l'allievo [16].



Figura 14. (a) Canine Spay Simulator e (b) VSI Equine Simulator [<https://vetsimulators.com/products/equine-colic-simulator/>]

- *VR Canine Simulator, Vet Med* (Figura 15)

Nato dalla collaborazione tra Virginia-Maryland College of Veterinary Medicine e le biblioteche universitarie per creare programmi anatomici VR con licenza di istruzione aperta, può essere scaricato da studenti e usato liberamente. Il primo e più sviluppato programma è il modello canino. Dopo il beta test, questo programma è stato integrato nei laboratori di esame fisico degli studenti del primo anno nell'autunno 2019 [14]. Sono stati progettati sia il cane (Figura 15) che la mucca in VR, sotto la guida del ricercatore principale, Michael Nappier, le cui parole sono state: *“Quello che volevo creare era uno strumento che potesse dare la possibilità di guardare sotto la pelle di un cane e capire quale sia la posizione di un determinato organo, dove dovrebbe essere, da che parte arriva il suono, dove dovrei sentirlo. Abbiamo finanziato il progetto perché volevamo rendere l'esperienza del cane in realtà virtuale e aumentata liberamente disponibile al mondo. Gli studenti ovunque potranno accedere alla versione di realtà aumentata come risorsa educativa aperta. Il tipo di pratica che stiamo facendo qui è vedere ciò che non puoi vedere, rendendo visibile l'invisibile.”* [17]

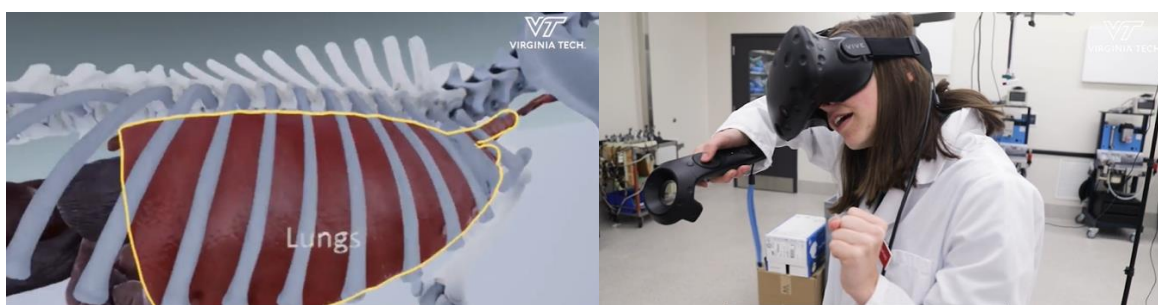


Figura 15. VR Canine Simulator, Vet Med

- *Haptic Cow & Haptic Horse* (Figura 16)

Dotato di sistemi quale il GeomagicPhantom Premium, consente agli utenti di rendere palpabile un oggetto virtuale. È formato da una struttura che simula il corpo di una mucca o di un cavallo con delle cavità per permettere all'utente di inserire il braccio ed esplorarne l'interno. All'interno della struttura, però, non vi sono reali organi, ma un dispositivo in grado di simulare la texture reale delle parti all'interno dell'animale. Gli organi sono visibili sul monitor del computer e l'istruttore può vedere esattamente cosa sta facendo lo studente e dirigerne i movimenti, cosa che non è possibile con un vero animale [18].



Figura 16. Haptic Cow & Haptic Horse [<https://www.virtualis.com/systems/haptic-cow-haptic-horse>]

- *JatsonVR- Virtual Canine Simulator* (Figura 17)

Prodotto da Llama ZOO, seziona virtualmente le parti del cane, staccando gli strati anatomici, scoprendone le parti interne e mostrando la loro relazione reciproca nella loro posizione naturale. Il tutto simulato a gravità zero e accompagnato da piccole sfide.



Figura 17. JatsonVR - Virtual Canine Simulator [<https://easy-anatomy.com/>]

- *EasyAnatomy* (Figura 18)

Realizzato in collaborazione con le principali istituzioni internazionali e rinnovato dalle ultime ricerche in neuroscienze cognitive e teoria dell'apprendimento, è uno strumento di simulazione che permette di esplorare, studiare e analizzare l'anatomia di un cane virtuale in realtà aumentata. E' utilizzabile su iPhone, iPad, Desktop e Windows Tablet [19].



Figura 18. EasyAnatomy [<https://easy-anatomy.com/>]

Come precedentemente scritto, i dispositivi non risultano essere tantissimi, soprattutto quelli che utilizzano la VR. I simulatori VR, però, sembrano essere gli strumenti più promettenti. Essi danno infatti la possibilità ai tirocinanti di formarsi secondo il proprio ritmo e le procedure possono essere ripetute più volte [19].

Nel seguito verranno quindi approfondite le applicazioni della VR in ambito medico in modo da identificarne i potenziali utilizzi per la veterinaria.

2.4. Uso della VR in ambito medico

Viste le ragioni fornite nei paragrafi precedenti e la realizzazione in VR oggetto del presente lavoro di tesi, si è ritenuto opportuno effettuare una ricerca dell'applicazione della tecnologia in questione in ambito medico.

La simulazione in VR risulta essere un nuovo metodo di addestramento in diversi campi della medicina. Grazie ad essa, professionisti e studenti di varie scienze mediche possono determinare il loro livello di competenza prima di qualsiasi trattamento su paziente e una delle sue più importanti applicazioni risulta essere l'educazione e la formazione. Vari enti come *The American Board of Internal Medicine* hanno affermato che l'utilizzo di simulatori, prima dei vari trattamenti, aumenta le prestazioni in sala ed è stato dimostrato che persone allenate tramite VR

riscontrino meno errori durante la prestazione e un'accuratezza maggiore rispetto a coloro che hanno utilizzato degli approcci convenzionali [20].

Per decenni l'acquisizione di abilità tecniche è stata effettuata unicamente nella sala operatoria sotto supervisione di un superiore [21]. L'apprendimento per "tentativi ed errori" durante una reale prestazione medica aumenta il disagio del paziente e aggiunge tempo extra a ciascuna procedura, il che influisce sulla capacità dei professionisti e sull'economia dell'ospedale.

La simulazione evita, inoltre, il rischio di complicanze [19]. La sicurezza, infatti, risulta essere un'importante caratteristica della simulazione, in quanto non vi sono rischi o effetti collaterali sul paziente [20].

L'uso della simulazione in ambito medico, però, non si limita all'insegnamento ma, piuttosto, si estende in un campo molto più ampio di applicazioni [22], come mostrato nel seguito.

- *Pianificazione di operazioni complesse, come le operazioni neurochirurgiche*

Vi sono numerose evidenze di applicazioni VR ed AR in neurochirurgia. Queste applicazioni vengono utilizzate per la neuro-navigazione con finalità di diagnosi di interventi vascolari complessi, correzione delle deformità della colonna vertebrale, formazione interna, pratica procedurale, gestione del dolore e riabilitazione di pazienti neurochirurgici. Queste tecnologie hanno mostrato risultati promettenti anche in altre aree della neurochirurgia, come l'acquisizione del consenso, la formazione del personale ausiliario e il miglioramento del comfort del paziente durante le procedure, nonché uno strumento per la formazione dei neurochirurghi in altri ambiti nel campo, come la neurochirurgia robotica [23].

- *Salute mentale, stress post-traumatico, fobie, tramite un trattamento in cui il paziente si interfaccia con le proprie problematiche poco alla volta [11]*

Con la VR, gli individui possono simulare situazioni difficili ed essere istruiti nelle risposte appropriate da attuare, grazie ad una migliore comprensione teorica del disturbo specifico. Le simulazioni possono essere classificate in base alla difficoltà e sperimentate ripetutamente fino a quando non si ottiene il giusto apprendimento. Situazioni che difficilmente si trovano nella vita reale possono essere realizzate premendo un interruttore. Il grande vantaggio della VR è che gli individui sono consapevoli che un ambiente informatico non è reale ma le loro menti e i loro corpi si comportano come se, invece, lo fosse; in questo modo le persone riescono ad affrontare molto più facilmente situazioni difficili e, grazie all'uso della VR, saranno in grado di provare nuove

strategie terapeutiche. L'apprendimento può quindi, in seguito, essere "trasferito" nel mondo reale [24].

Un altro esempio in questo ambito è la fobia dentale, definita come una delle condizioni fobiche più comuni nella nostra società odierna. Raghav et al. (2016) hanno determinato l'efficacia del trattamento dei pazienti con fobia dentale tramite il confronto tra un gruppo di persone trattate con una nuova terapia non invasiva di esposizione alla realtà virtuale (VRET) e un gruppo di controllo che applicava opuscoli informativi. Sulla base dei risultati riportati, gli autori hanno concluso che VRET potrebbe fornire un possibile trattamento alternativo per l'ansia e la fobia dentale [12].

- *Alleviazione del dolore e riabilitazione fisica, in quanto la VR distrae i pazienti dal dolore [25][26][27][28]*

La logica per cui la Realtà Virtuale ridurrebbe il dolore si basa su un meccanismo di attenzione. L'azione analgesica della VR immersiva è l'illusione del paziente di trovarsi in un luogo diverso, l'esperienza soggettiva del "sentirsi presente" all'interno del mondo generato dal computer. Il cervello dell'essere umano è quantitativamente limitato, in quanto ha un massimo di informazioni da poter elaborare. Il dolore richiede attenzione. I ricercatori sostengono che l'illusione di "essere lì" nella realtà virtuale cattura l'attenzione, riducendo la quantità di risorse attenzionali che il cervello del paziente ha a disposizione per la percezione del dolore [29].

- *Riabilitazione da dipendenza da sostanze [30]*

La VR ha il potenziale per presentare agli individui simulazioni dei segnali che portano alle voglie e che innescano i successivi comportamenti problematici come l'abuso di droghe, l'abuso di alcol o il gioco d'azzardo eccessivo. Ci sono stati ventidue studi sulla realtà virtuale nell'ambito di disturbi da sostanze, di cui quindici riguardanti la valutazione, cinque il trattamento e due lo sviluppo della teoria. La stragrande maggioranza degli studi ha semplicemente dimostrato che ambienti VR appropriati possono scatenare determinate voglie. È stato studiato l'uso improprio di una serie di sostanze, tra cui alcol e cocaina. Tuttavia, la maggior parte del lavoro ha riguardato il fumo ed è risultato evidente che gli ambienti VR possono produrre un forte desiderio di sigarette. Per smettere di fumare, è in corso uno studio randomizzato controllato per testare la terapia cognitivo-comportamentale (CBT) con esposizione a segnali VR [24].

- *Ricostruzione e analisi dettagliata organi [31]*

La VR può fornire un'esperienza confortevole e avvincente per la visualizzazione e l'interazione con i dati scientifici. Le rappresentazioni 3D in VR possono concretizzare strutture complesse in un modo che non è possibile ottenere con uno schermo 2D o con la stampa 3D, in quanto la VR consente visualizzazioni più flessibili e dettagliate. La connettività spaziale degli oggetti di interesse è facile da cogliere in VR. Inoltre, le caratteristiche quantitative possono essere incorporate nella rappresentazione 3D per la visualizzazione e l'esplorazione di informazioni aggiuntive [32].

- *Simulazioni esperienze operatorie da parte del paziente*

La risonanza magnetica (MRI) è uno strumento estremamente utile per il rilevamento e la caratterizzazione di numerosi processi patologici. Sebbene i pazienti possano trarre vantaggio dall'uso della risonanza magnetica, in alcuni casi la claustrofobia risulta essere per loro un problema importante. Questa paura da sola può portare, in alcuni casi, all'annullamento della procedura di scansione e, in altri, alla necessità di una sedazione del paziente. L'ansia percepita durante la scansione può anche portare ad un aumento di difetti sulle immagini risultanti legati al movimento con un successivo degrado della qualità diagnostica dello studio. Per alleviare questi problemi, è stato sviluppato uno strumento VR per educare i pazienti sulla risonanza magnetica e simulare l'esperienza di essere effettivamente scansionati. L'applicazione è totalmente immersiva e incorpora sia le sensazioni visive che uditive che i pazienti incontrano durante una risonanza magnetica. I pazienti vengono anche a conoscenza delle potenziali condizioni e dei dispositivi impiantati che possono precludere l'esecuzione sicura dell'esame [33].

2.5. VR come strumento per l'insegnamento

Visto l'obiettivo primario di questa tesi, che consiste nella realizzazione di uno strumento di insegnamento, si è ritenuto utile approfondire la dimensione relativa all'impiego della VR con questa finalità.

È importante evidenziare che l'uso della VR è stato ampliato dalla pandemia da COVID-19. La mancata possibilità di seguire i corsi nelle strutture scolastiche ha generato la necessità di usufruire di dispositivi a distanza che utilizzassero tecnologie come la VR.

Nello specifico dell'ambito veterinario, nell'insegnamento dell'anatomia è considerato come "insegnante silenzioso" il cadavere di uno specifico animale, in quanto permette di apprendere abilità cliniche e formazione chirurgica. Tuttavia, secondo l'etica veterinaria, un

animale sano non dovrebbe essere ucciso per scopi didattici o di dissezione e il cadavere dell'animale dovrebbe essere ottenuto da animali malati terminali o da esemplari donati. Le dissezioni da cadavere generalmente aiutano gli studenti a riconoscere le strutture anatomiche grazie anche all'esposizione tattile di tessuti o organi. L'uso di tecnologie simulate e virtuali riesce a fornire "cadaveri digitali", di numerosi animali con dimensioni reali, che possono essere ruotati, ingranditi, rimpiccioliti, etichettati e sezionati con bisturi virtuali.

Diversi pacchetti software di dissezione virtuale, di specie diverse, sono stati creati da professionisti e sono anche disponibili per l'acquisto. Una caratteristica rilevante nell'utilizzo di queste tecnologie è la possibilità di salvare le dissezioni e di visualizzare i file salvati ogni volta che lo si ritiene opportuno. In termini di tempo, inoltre, le dissezioni virtuali risultano essere più efficienti e più fluide rispetto alle dissezioni da cadavere. Nonostante questo, però, rimane sempre l'impossibilità di apprezzare la sensazione e la consistenza di strutture anatomiche specifiche come muscoli, tendini, ossa e organi che, invece, è presente nelle dissezioni tradizionali [34].

La limitazione della forma tattile di apprendimento è una questione rilevante nella sperimentazione di queste nuove tecnologie di simulazione. Infatti, si stanno cercando di realizzare dispositivi con un feedback tattile come *Haptic Horse* e *Haptic Cow* descritti in precedenza.

I cadaveri però non sono l'unico strumento di insegnamento, come indicato nell'introduzione. Per procedure come l'endoscopia vengono utilizzati animali anestetizzati (LDL - *Live Dog Laboratory* è un esempio [35]), ma grazie a nuove norme e ad un cambiamento culturale nella medicina veterinaria, l'uso di animali vivi è fortemente diminuito negli anni, così come è aumentato l'uso dei dispositivi simulativi [35]. A questo proposito, è stato realizzato un interessante studio approvato dalla *North Carolina State University* (NCSU) e dall'*Institutional Animal Care and Use Committee* sull'efficacia dell'uso della VR paragonata all'uso di LDL. Questo studio è stato condotto per due anni utilizzando due strutture separate, ciascuna con sei partecipanti, metà della quale hanno ricevuto una formazione iniziale tramite VRET (*Virtual-Reality Endoscopy Trainers*), in particolare l'*EndoVR* per simulazioni di endoscopia umana, e metà tramite LDL. Non ci sono state differenze significative tra i due metodi di formazione per imparare a manipolare/guidare l'endoscopio, per imparare ad eseguire la gastroscopia, o per valutare l'utilità complessiva del metodo di formazione. Lo stesso vale per il tempo medio per la formazione. Tutti i dodici partecipanti hanno indicato che il VRET era un'utile e accettabile alternativa alla LDL per la una formazione iniziale. Una lieve maggioranza di partecipanti ha preferito il VRET per l'apprendimento, in quanto veniva eliminato l'utilizzo di animali vivi e aumentato il risparmio di risorse usate. I motivi di preferenza per l'uso di LDL, invece, includevano una diversa forza/sensazione percepita in dipendenza delle azioni eseguite e un più difficoltoso ingresso nel duodeno rispetto al VRET. Alla fine dell'esperimento non ci sono state significative differenze tra i gruppi per quanto riguarda il tempo totale della procedura e il numero

di completamenti della stessa. Vale la pena notare, tuttavia, che le tempistiche risultano, comunque, leggermente maggiori nei casi di VRET; altrettanto con gli insuccessi generali (definiti dal mancato completamento di tutta la procedura), anche se, in entrambi i gruppi, la maggioranza dei tentativi incompleti sembravano essere correlati a un aumento di tempo necessario per l'intubazione del duodeno, che è tradizionalmente considerato uno dei più impegnativi passaggi per endoscopisti veterinari alle prime armi.

Anche se il simulatore sembra essere una ragionevole alternativa alla formazione LDL per l'apprendimento delle abilità di base, è importante notare che la formazione VRET non sostituisce l'esperienza su un paziente vivo. Sebbene la maggior parte dei partecipanti, quando intervistati, preferisse la VRET alla LDL, è importante notare che gli utenti hanno comunque identificato alcune carenze specifiche dell'addestramento al simulatore a confronto con la LDL. Queste includevano, come accennato prima, una diversa forza/sensazione del simulatore, differenze relative alla facilità di ingresso del duodeno e differenze nella motilità gastrointestinale. Le differenze più evidenti si possono notare anche nella Figura 19.

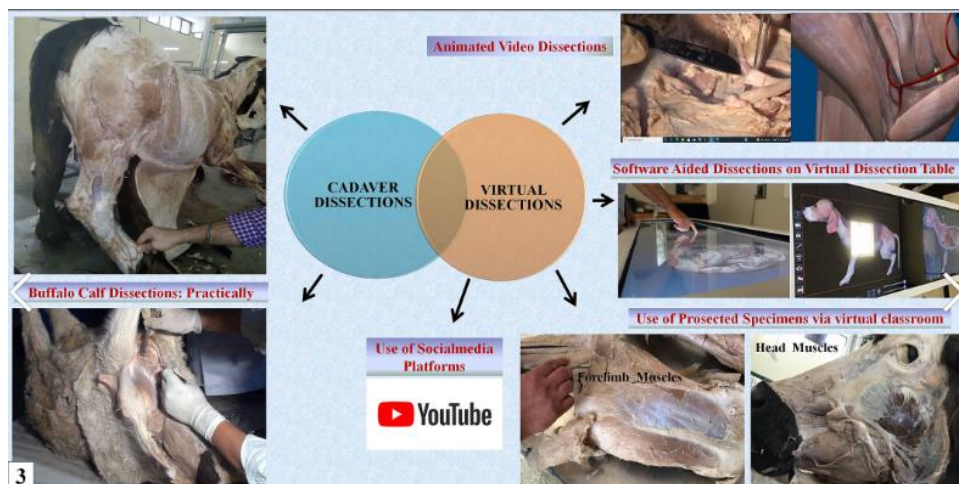


Figura 19. Confronto tra dissezioni di cadavere e dissezioni virtuali [<https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>]

Tornando all'utilizzo della VR in generale, si nota che grazie all'alto livello di immersione, l'esperienza dell'utente aumenta l'efficacia del processo educativo. Questa forma di educazione può far ricordare e far comprendere meglio le conoscenze presentate e aiuta nell'acquisizione di esperienza.

Come già indicato in precedenza, un notevole vantaggio della tecnologia VR è la capacità di sperimentare ripetutamente scenari di formazione complessi corrispondenti a processi e procedure, compresi quelli di natura critica. Grazie alla ripetizione delle attività con una riduzione dei costi aggiuntivi, si possono migliorare in maniera efficace le competenze. Inoltre, l'uso della

VR nel processo di formazione per le esigenze dell'industria *high-tech*, anche nell'ambito dell'Industria 4.0, consente di eliminare i rischi fisici per gli utenti (ad esempio, possibili lesioni, ustioni, ecc.). Un notevole vantaggio è la possibilità di svolgere singole fasi formative senza notevoli limitazioni di tempo e spazio, attraverso l'utilizzo di tecnologie di accesso remoto [36].

Nell'esperimento sull'uso degli strumenti VR prima descritti nella *Virginia–Maryland College of Veterinary Medicine*, il 40% ha indicato che il programma VR era molto o estremamente efficace per l'apprendimento delle caratteristiche anatomiche, il 78% ha indicato che l'etichettatura era efficace e l'83% ha dichiarato di poter trasferire le posizioni anatomiche dal modello del cane virtuale al cane vivo [14].

È stato dimostrato, inoltre, che l'uso della tecnologia VR nell'apprendimento pratico relativo a materie strettamente ingegneristiche può migliorare il livello di integrazione e interazione degli studenti e ridurre il tempo dedicato all'apprendimento di materiale specifico [36].

Analizzando i pro e i contro di tale tecnologia, si può concludere che una delle potenziali soluzioni per soddisfare le esigenze di forme alternative di istruzione pratica è lo sviluppo e la diffusione di soluzioni basate sulla VR [36]. Questa tecnologia, però, non deve essere l'unico strumento di insegnamento in quanto è necessario colmare i vuoti causati dalla mancanza di attività fisiche reali e di situazioni reali.

3. Tecnologie utilizzate

3.1. Software

3.1.1. Blender

Blender è un progetto pubblico concesso in licenza da GNU GPL, di proprietà dei suoi contributori. Per questo motivo Blender è un software gratuito e Open Source [37]. È usato per modellazione, rigging, animazione, montaggio video, composizione, rendering e texturing di immagini tridimensionali e bidimensionali. Dispone inoltre di funzionalità per mappature UV, simulazioni di fluidi, di rivestimenti, di particelle, altre simulazioni non lineari, raytracing, uso di script (*Python*) e creazione di applicazioni/giochi 3D. Blender fa parte della famiglia di programmi come *Softimage XSI*, *Cinema 4D*, *3D Studio Max*, *LightWave 3D* e *Maya* [38].

In questo lavoro di tesi, *Blender* è stato utilizzato per la ricostruzione completa del modello della TAC dell'apparato respiratorio superiore del cavallo, dell'endoscopio virtuale e di alcuni elementi della sala operatoria come il display, i dispositivi dove viene inserito il cavo dell'endoscopio, la gabbia del cavallo e altri oggetti, con relative texture. Esso, inoltre, ha permesso la creazione dell'ambiente tramite l'assemblaggio di tutti i componenti, molti dei quali scaricati da risorse gratuite online. Infine, è stato usato per riprodurre tutte le animazioni legate alla parte esterna e interna del cavallo. La versione usata è la 3.1.

3.1.2. Unity

Unity è un motore grafico multiplatforma sviluppato da *Unity Technologies* che consente lo sviluppo di videogiochi e altri contenuti interattivi, quali visualizzazioni architettoniche o animazioni 3D in tempo reale. *Unity* consente di utilizzare sia un editor per lo sviluppo/progettazione di contenuti sia un motore di gioco per l'esecuzione del prodotto finale [39]. I motivi che hanno portato alla scelta di usare *Unity* per realizzare questo progetto di tesi sono molteplici e sono da ricercarsi, in primo luogo, nell'incredibile integrazione delle ultime tecnologie grafiche rilasciate dai produttori di hardware, come *Vulkan*, *iOS Metal*, *DirectX12*, *nVidia VRWorks* e *AMD LiquidVR*; in secondo luogo, nella velocità con cui è possibile eseguire test e, di conseguenza, ciò permette di iterare il progetto in maniera molto rapida. Inoltre, *Unity* è estremamente popolare nell'ambito videoludico, infatti, oltre ai principali sistemi operativi su pc (*Linux*, *Windows*, *Mac Os*),

supporta anche tutte le console da gioco, smartphone, le smart tv, i browser (*WebGL*), e tutti i visori che fanno uso di *OpenVR* e *Oculus SDK*, per un supporto totale di oltre 25 piattaforme [31].

Unity è stato usato, nel lavoro di tesi, come software principale di realizzazione dell'applicazione. Può essere ritenuta la piattaforma finale dove converge tutto il lavoro svolto in programmi esterni, in modo da ricreare l'endoscopia virtuale completa. In esso è stato implementato il vero e proprio motore di gioco, ovvero lo scripting necessario per far funzionare l'applicazione, così come tutti i test per studiarne i funzionamenti. La versione usata è la 2021.3.3f1.

3.1.3. Substance Painter

Substance è una suite di strumenti di texture procedurali creata dallo sviluppatore di software francese *Allegorithmic*, acquisita da Adobe nel gennaio 2019. Tali strumenti della suite sono diventati popolari nei settori dell'animazione, del design, dei film e dei videogiochi [40]. In particolare, *Substance Painter* si occupa di simulare una vera e propria pittura su oggetti tridimensionali, in modo da creare texture esportabili e perfettamente adattabili ai vari oggetti specifici. Nel caso del lavoro di tesi, è stata realizzata la texture delle mucose interne al cavallo.

3.1.4. InVesalius e MeshLab

InVesalius è un software medico gratuito utilizzato per generare ricostruzioni virtuali di strutture del corpo umano. Basato su immagini bidimensionali, acquisite mediante tomografia computerizzata o apparecchiature di risonanza magnetica, il software genera modelli tridimensionali virtuali corrispondenti a parti anatomiche del corpo umano. *InVesalius* è stato sviluppato presso il CTI (*Renato Archer Information Technology Center*), un istituto di ricerca del Centro brasiliano per la scienza e la tecnologia [41]. Per il lavoro di tesi è stata utilizzata la versione 3.1.

Mesh Lab, invece, è un sistema open source per l'elaborazione e la modifica di *mesh* triangolari 3D. Fornisce una serie di strumenti per la modifica, la pulizia, la correzione, l'ispezione, il rendering, la texturizzazione e la conversione di *mesh*. Offre funzionalità per l'elaborazione di dati grezzi prodotti da strumenti/dispositivi di digitalizzazione 3D e per la preparazione di modelli per la stampa 3D [42]. È un software gratuito, open source e soggetto ai requisiti della GNU General Public License (GPL) [43].

Entrambi i software sono stati utilizzati per la realizzazione del modello della TAC, in particolare per creare un modello di riferimento per la successiva costruzione della copia.

3.1.5. Audacity

Audacity è un software per l'editing audio multitraccia e multiplatforma, distribuito sotto la GNU General Public License. Il programma di base permette la registrazione di audio multitraccia, la loro modifica e il relativo mixaggio; inoltre, grazie a plugin già inclusi, è possibile intervenire su diversi parametri tra cui volume, velocità, intonazione, formato dei file salvati, normalizzazione, ecc. [44]

Questo software è stato realizzato per produrre le tracce audio utilizzate nel lavoro di tesi.

3.1.6. Visual Studio Code

Visual Studio Code è un editor di codice sorgente sviluppato da *Microsoft* per *Windows*, *Linux* e *macOS*. Include il supporto per debugging, un controllo per Git integrato, *syntax highlighting*, *IntelliSense*, *snippet* e *refactoring* del codice. Sono personalizzabili il tema dell'editor, le scorciatoie da tastiera e le preferenze. È un software libero e gratuito, anche se la versione ufficiale è sotto una licenza proprietaria. Visual Studio Code è basato su Electron, un framework con cui è possibile sviluppare applicazioni Node.js [45]. Nel lavoro di tesi, è stato utilizzato per la programmazione in C#, vista la grande compatibilità con *Unity*.

3.1.6.1. C#

C# è un linguaggio di programmazione multi-paradigma che supporta tutti i concetti della programmazione orientata agli oggetti. Esso è stato sviluppato da *Microsoft* all'interno dell'iniziativa .NET, e successivamente approvato come standard dalla ECMA (ECMA-334) e ISO (norma ISO/IEC 23270). La sintassi e la struttura del C# prendono spunto da vari linguaggi nati precedentemente, in particolare *Delphi*, *C++*, *Java* e *Visual Basic*.

L'utilizzo di C# nel lavoro di tesi è in riferimento al linguaggio di programmazione usato su *Visual Studio Code*. Tutti gli script, infatti, sono stati realizzati con questo tipo di linguaggio.

3.2. Hardware

3.2.1. Meta Quest 2

Meta Quest 2 (precedentemente *Oculus Quest 2*) (Figura 20) è un visore standalone, che nasce non solo per sostituire i suoi predecessori, il *Go* e il *Quest 1*, ma anche per prendere il posto di visori più evoluti, come il *Rift*. Facile da usare, ad un prezzo accessibile, con una buonissima risoluzione e la possibilità di collegarlo al PC per prestazioni maggiori, permette di interagire con l'ambiente virtuale grazie ai controller o all'uso delle mani e garantisce esperienze sempre più realistiche, immersive e user friendly. Dotato di *Qualcomm Snapdragon XR2*, uno dei più potenti processori per smartphone disponibili sul mercato, ha un display con risoluzione 1832x1920 per occhio. Con queste caratteristiche garantisce ottime prestazioni e, di conseguenza, la massimizzazione della produttività: i testi risultano più nitidi, i modelli complessi e le esperienze si caricano in meno tempo ed è facilitata la collaborazione tra persone all'interno degli ambienti virtuali. *Quest 2* contiene anche un motore specializzato per il tracciamento di oggetti, che permette di gestire i movimenti mentre si è immersi nella VR. Questo sistema utilizza quattro videocamere, poste sul visore, che seguono i movimenti dell'utente interagendo con i controller *Oculus Touch*, che sono stati migliorati ulteriormente. Questi controller sono dei veri e propri joystick, dotati di leve e grilletti analogici, che trasferiscono in modo facile e preciso i gesti e le azioni dell'utente nel mondo virtuale. L'aspetto interessante, però, è che si può fare anche a meno di questi controller, poiché questo visore integra il tracciamento delle mani, permettendo di interagire con le esperienze VR in modo più intuitivo e naturale. Una tecnologia, però, che è ancora in fase di sviluppo; sono infatti ancora poche le applicazioni che ne consentono l'uso, ma dal grandissimo potenziale, in quanto abbate le barriere date dall'uso dei controller e rende l'esperienza ancora più realistica. L'uso di questo dispositivo è stato necessario per poter utilizzare l'applicazione creata nel lavoro di tesi.



Figura 20. Oculus Quest 2 con controllers Oculus Touch [<https://appblogitalia.com/oculus-quest-2-recensione/>]

4. Realizzazione

4.1. Problematiche affrontate

In questo paragrafo verranno mostrate le metodologie utilizzate per la risoluzione dei problemi più complessi del lavoro di tesi. In particolare, verranno mostrate le tecniche di ricostruzione della TAC, come è stata simulata la navigazione dell'endoscopio all'interno del cavallo e come le tecniche di animazione della stessa siano state conciliate con la necessità della presenza di *Collider*, elementi per la gestione di collisioni tra oggetti virtuali.

4.1.1. Costruzione del modello dell'apparato respiratorio superiore

L'operazione più tediosa e dispendiosa che è stata affrontata per la realizzazione di questo lavoro è stata senza dubbio la ricostruzione dell'apparato respiratorio superiore dell'esemplare equino. Esso, infatti, risulta essere un organo estremamente complesso, ricco di cunicoli, curve e fori, impossibile da riprodurre a mano libera. Per questo motivo è stato necessario l'ausilio della TAC, ricavata da una testa mozzata di cavallo, e messa a disposizione dalla Professoressa Michela Bullone.

Una volta ottenuti i file contenenti le immagini 2D ricavate dalla TAC, tramite lo strumento *InVesalius* descritto in precedenza è stato ricavato il modello 3D della testa completa del cavallo. Dopo averlo semplificato con *MeshLab* ed importato su *Blender*, è risultato impossibile riconoscere le parti inerenti alla respirazione, in quanto la *mesh* appariva troppo complessa. Per questo motivo è stato necessario interagire con la Professoressa Bullone in modo da isolare le parti utili allo scopo. Per fare questo, sono state prese le singole immagini 2D che compongono la TAC e sono state selezionate tramite una penna virtuale le zone rilevanti in modo da creare una maschera, per un totale di 391 immagini mascherate a mano (Figura 21). Possibili problematiche riscontrate sono state la selezione errata di fori, come si può vedere in Figura 22.a, rispetto alla corretta selezione mostrata nella 22.b.

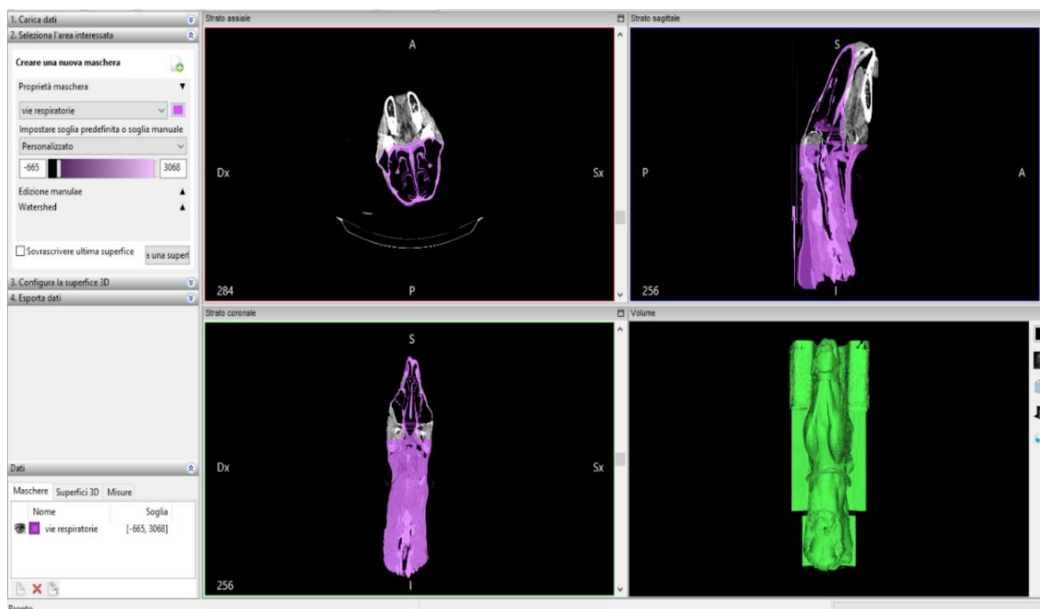


Figura 21. Selezione della maschera in InVesalius

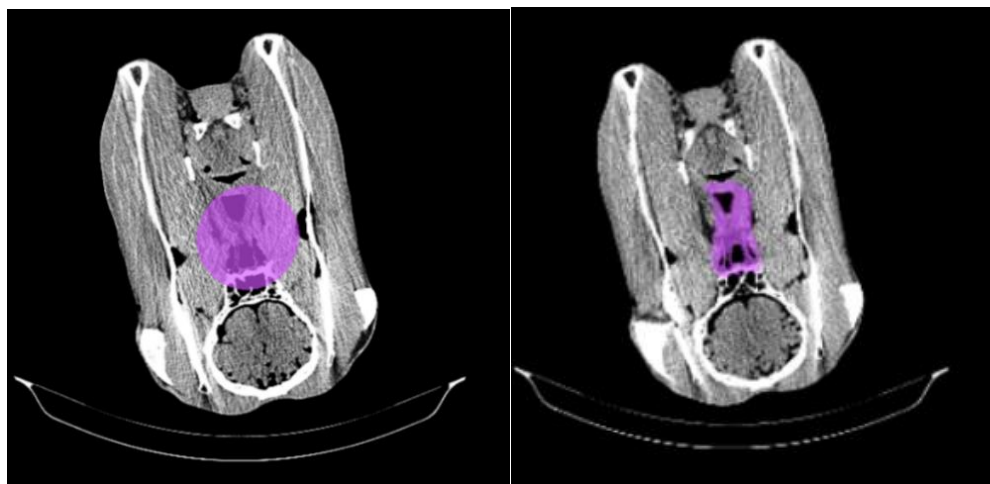


Figura 22 (a) Comune errore nella selezione della maschera e (b) Selezione corretta della maschera

Una volta finita la realizzazione della maschera, è stato estrapolato il modello 3D, importato in *MeshLab* e semplificato, in quanto troppo pesante. Una volta finito questo, il modello è stato importato su *Blender* per una visione più dettagliata (Figura 23, Figura 24 e Figura 25).

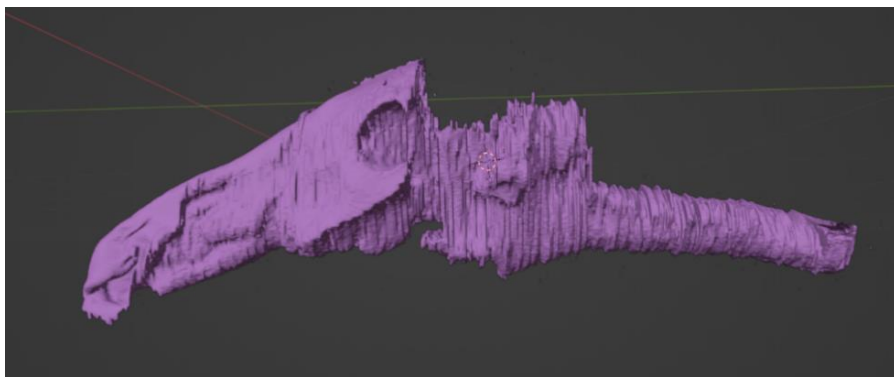


Figura 23. Parte esterna del modello vista lateralmente ottenuta da TAC

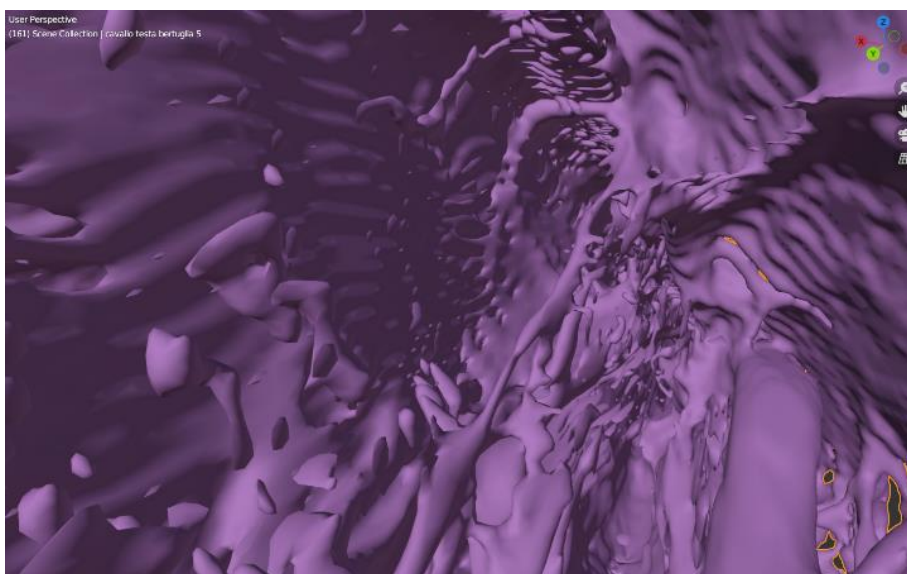


Figura 24. Porzione interna del modello ottenuto da TAC

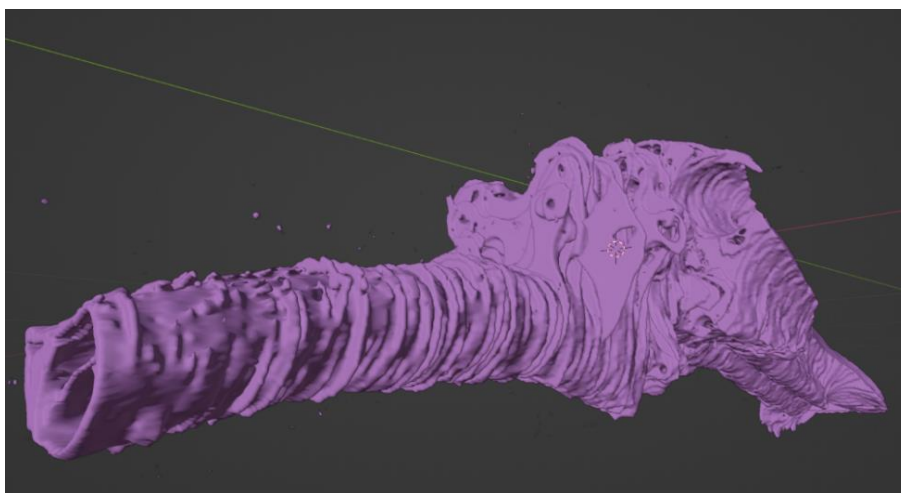


Figura 25. Vista posteriore del modello ricavato da TAC

Inizialmente si era pensato di utilizzare lo stesso nell'applicazione finale, importandolo su *Unity*, ma una volta su *Blender* ci si è resi conto quanto ciò non fosse possibile. Il modello, infatti, risultava essere estremamente sporco e in alcune zone incomprensibile. Per questo motivo si è cercata una soluzione per la riproduzione fedele dell'organo.

Dopo svariati tentativi, si è optato per la ricostruzione manuale del modello, il cui risultato finale si può apprezzare nelle Figure 26, 27 e 28. Per fare questo sono stati usati dei piani paralleli che attraversavano il modello come se dovessero tagliarlo frontalmente (Figura 29). A questi piani è stato inserito un modificatore booleano di intersezione con il modello originale della TAC, in modo da far prendere loro la forma del modello in quella determinata sezione (Figura 30.a a Figura 30.b). È stato utilizzato lo strumento *Knife* per tagliare il piano di partenza, seguendo il modello del primo piano di intersezione. Una volta creati i primi vertici, essi sono stati estrapolati fino al secondo piano, in modo da creare una porzione di modello simile all'originale. Da qui, quella porzione è stata modificata per essergli il più possibile fedele possibile. Una volta fatto questo, il modello ricostruito è stato smussato e texturizzato su *Substance Painter*.

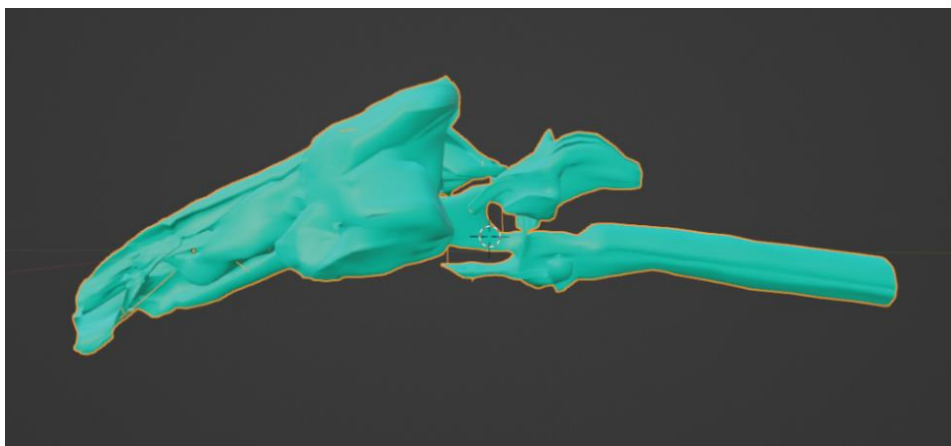


Figura 26. Parte esterna del modello vista lateralmente ottenuta dal modello ricostruito manualmente

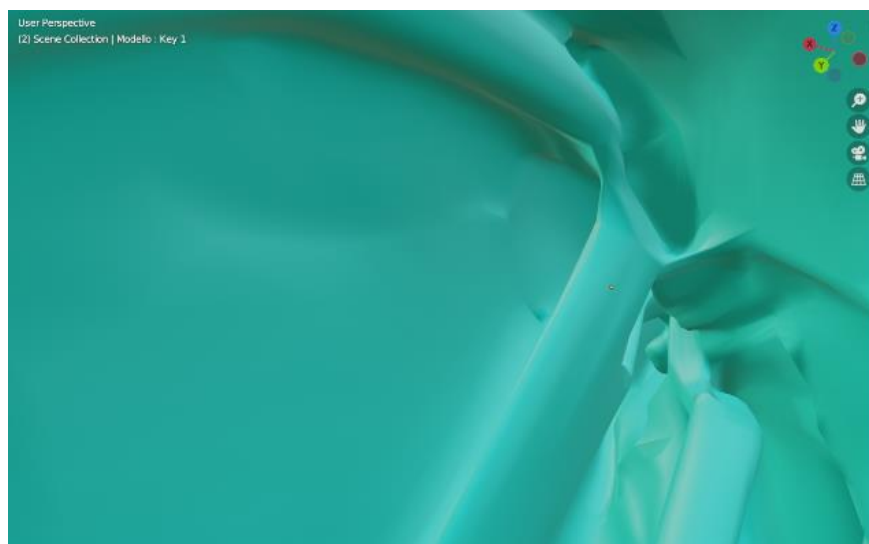


Figura 2. Porzione interna del modello ottenuto manualmente

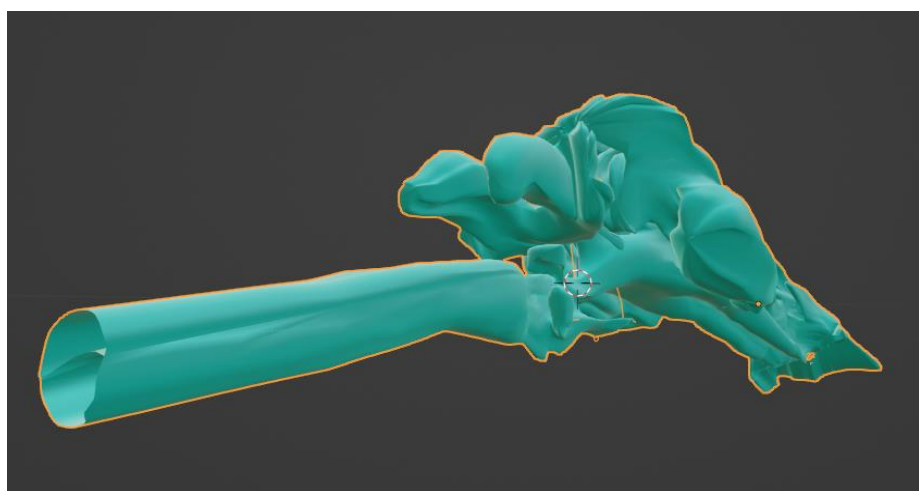


Figura 28. Vista posteriore del modello ricavato manualmente

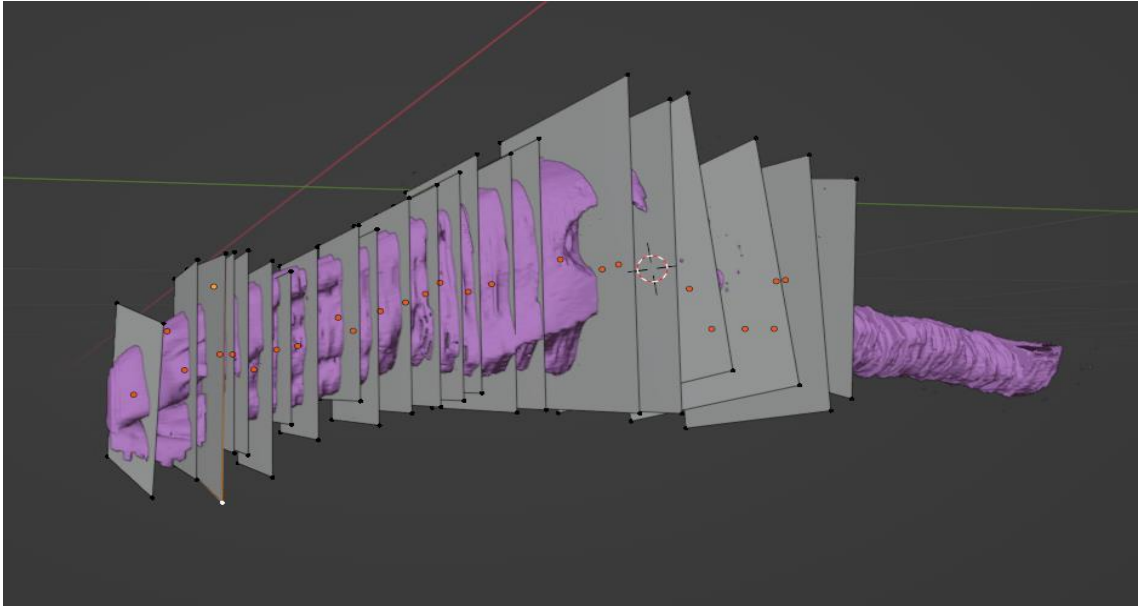


Figura 3. I 24 piani intersecati con il modello ottenuto da TAC

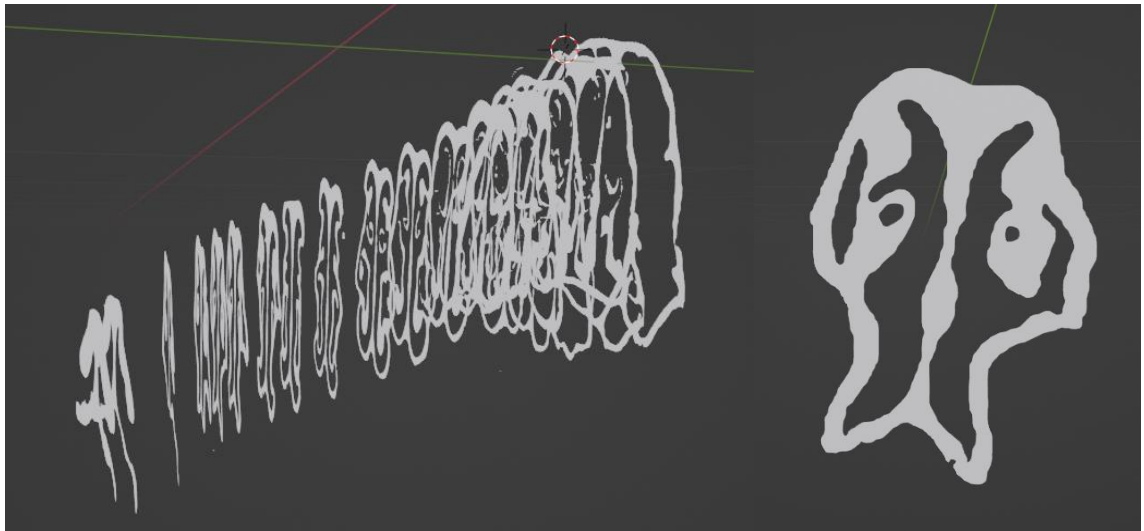


Figura 30 (a) piani con modificatore booleano e (b) particolare di un piano in vista frontale

4.1.2. Movimento punta endoscopio

Per poter simulare il movimento dell'endoscopio all'interno della cavità nasale e non solo, sono state fatte numerose prove di movimento. Un'idea che è stata portata avanti fino alla fine è stata quella di non muovere il tubo dell'endoscopio virtuale all'interno del cavallo, ma di simulare il suo movimento tramite un oggetto separato, posizionato esternamente.

Un'altra idea che, invece, è stata modificata è risultata essere quella dell'utilizzo di una semplice sfera a cui è imparentata una camera per simulare la punta dell'endoscopio. Sebbene in un primo momento potesse sembrare una soluzione adatta, successivamente si è notata la discrepanza fisica tra i movimenti della punta del tubo e i movimenti della singola sfera. Analizzata ulteriormente la forma reale dell'estremità dell'endoscopio, si è notato come potesse essere approssimata al movimento di tre sfere imparentate tra loro (Figura 31.a e Figura 31.b). La prima, chiamata "head", a cui sono state virtualmente attaccate camera e luce, è stata concepita come figlia della seconda, chiamata "body", figlia della terza, chiamata "tail", figlia di una *Empty* (un particolare tipo di oggetto privo di *mesh* su *Unity*), chiamato "radice". L'angolo di rotazione delle tre sfere risulta essere lo stesso, ma in quanto imparentate, l'effetto che si ottiene aumentando l'angolo di rotazione è quello di un arco. La rotazione, inoltre, è limitata a 120° totali, in quanto anche nella realtà risulta essere limitata in tal modo (Figura 32.a, Figura 32.b, Figura 32.c). L'utilizzo di un'*Empty* è stato necessario per simulare correttamente la direzione di movimento. La *Empty*, infatti, non fa altro che stabilire l'angolo di direzione del movimento in avanti e indietro, questo perché la rotazione della "tail" è influenzata dai comandi destra/sinistra/su/giù e non poteva essere considerata come punto di riferimento direzionale. In poche parole: se si ruotano le tre sfere verso sinistra, il tubo deve comunque continuare ad andare dritto, almeno finché non incontra una parete.

Il movimento avanti e indietro è stato implementato mediante script e funziona come descritto di seguito.

Movimento avanti:

- Le sfere avanzano sempre secondo la direzione di "radice" e il loro avanzamento è determinato dalla traslazione di "tail";
- La direzione di "radice" rimane la stessa a meno che una delle tre sfere non collida con una parete;
- Se la collisione è frontale o non permette l'avanzamento, il movimento cessa;
- Se la collisione non è come esposto sopra, la radice modificherà la sua rotazione in base alla rotazione delle sfere davanti. In particolare: rotazione di "radice" si eguaglia alla rotazione di "tail", rotazione di "tail" si interpola con rotazione di "body", rotazione di "body" si interpola con l'angolo zero (relativamente alla sua rotazione locale), rotazione di "head" si interpola con l'angolo zero (relativamente alla sua rotazione locale);
- Il movimento cessa anche se si presenta un certo angolo di rotazione delle sfere, per evitare che il tubo torni indietro in direzione della narice.

Movimento indietro:

- Ad ogni avanzamento viene memorizzata l'attuale posizione e rotazione della "tail" in uno *Stack* (lista LIFO) di posizione e in uno di rotazione;
- Se viene premuto soltanto il tasto "indietro", la "tail" si riposiziona sulla posizione precedente salvata e compirà una rotazione che è il risultato di un'interpolazione tra la rotazione attuale e l'ultima memorizzata. Le nuove posizioni e rotazioni verranno eliminate. Le rotazioni di "body" e di "head" saranno l'interpolazione tra la loro attuale rotazione e il loro angolo zero; se insieme al tasto "indietro" vengono premuti anche i tasti adibiti alla rotazione delle tre sfere, sia "body" che "tail" non effettueranno alcuna rotazione, restando nella loro rotazione originale. Questo potrebbe creare situazioni realistiche come il far bloccare il tubo a causa della sua forma "ad uncino".

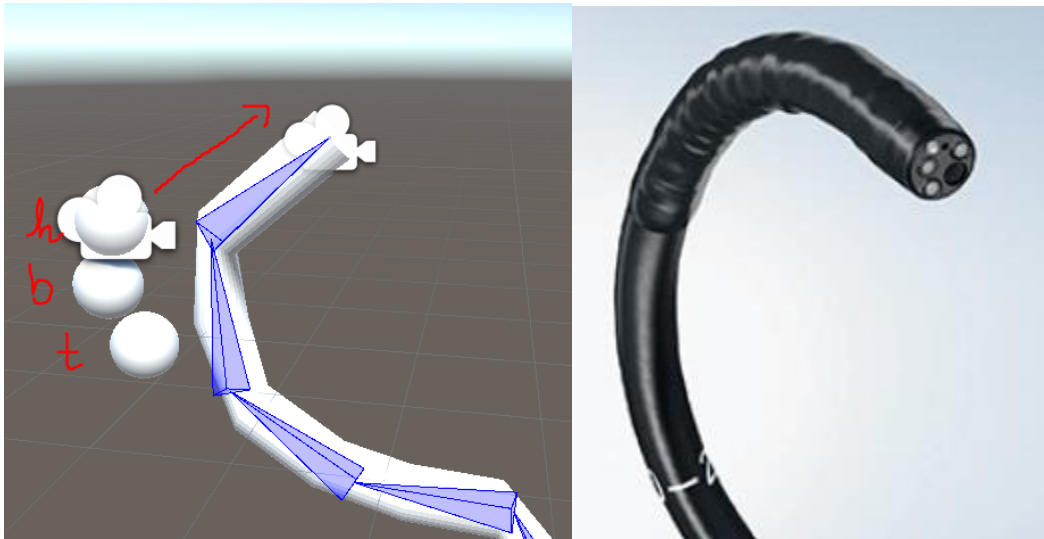


Figura 31 (a) simulazione della punta dell'endoscopio e (b) punta reale dell'endoscopio

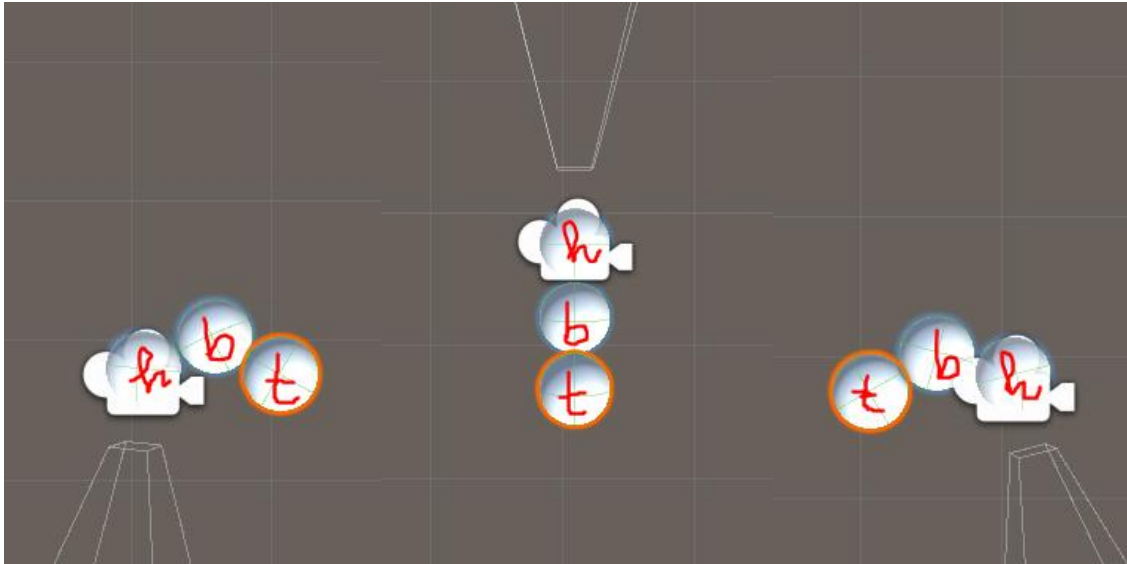


Figura 32(a). rotazione verso sinistra, (b) Modello delle tre sfere e (c) rotazione verso destra

4.1.3. Gestione collisioni

Una questione abbastanza rilevante è stata la ricerca di una soluzione al problema delle collisioni con il modello della TAC. In particolare, risultava inefficace la soluzione inizialmente attuata per gestire le collisioni, che si limitava nell'utilizzo di due *Mesh Collider*, *Collider* la cui forma è definita da una *mesh*, ricavati dal modello stesso. Avendo inizialmente utilizzato due *ShapeKeys* (strumenti di *Blender* per la deformazione controllata di oggetti con vertici come curve, reticoli e superfici) per animare le mucose, il primo *Mesh Collider* aveva come *mesh* di riferimento il modello con le *ShapeKeys* impostate a 0 (ricavato da *Blender*), mentre il secondo con le *ShapeKeys* impostate a 1 (il parametro 0 indica che non vi è applicato alcun movimento, il parametro 1 indica che è applicato il massimo movimento). Una volta inseriti su *Unity* i *Mesh Collider*, si è notato come le sfere andassero a collidere in zone “vuote”, dove in quel determinato istante la *mesh* non si trovava a causa del suo movimento. Questo creava dei seri problemi, soprattutto nei punti dove il modello presentava fori che in alcuni momenti si chiudevano e che, quindi, era impossibile attraversare in qualsiasi momento a causa della presenza del *Collider* statico (Figura 33.a e Figura 33.b).

La soluzione finale attuata si basa, invece, sulla separazione di due tipi di movimenti: i movimenti leggermente percettibili della mucosa nella sua integrità e i movimenti decisamente rilevanti come la chiusura di fori o restringimento di particolari zone. Il primo tipo di movimento è stato realizzato con una *ShapeKey* tale per cui si potesse continuare ad utilizzare i due tipi di *mesh* di collisione descritti prima (con la *ShapeKey* attiva e con la *ShapeKey* disattiva) senza problemi. Per farlo, i movimenti sono stati

realizzati in modo tale che fossero tutti molto piccoli e quasi sempre paralleli ai piani delle facce del modello (una sorta di loro traslazione laterale).

Il secondo tipo di movimento, invece, viene gestito da un'animazione esportata da *Blender*, riprodotta in loop, i cui *Keyframe* (pacchetti di dati che definiscono lo stato iniziale, finale o intermedio di un'animazione computerizzata) sono creati sul movimento di un'armatura aggiunta in un primo momento al modello del naso. L'armatura conta 42 ossa (Figura 34), ognuna legata ad una particolare zona del modello. Ad ogni osso, su *Unity*, sono stati successivamente attaccati uno o più *Empty*, ognuno padre di un *Box Collider* (un *Collider* a forma di parallelepipedo) (Figura 35), tramite imparentamento. In questo modo i *Box Colliders* si muovono seguendo il movimento della *mesh*.

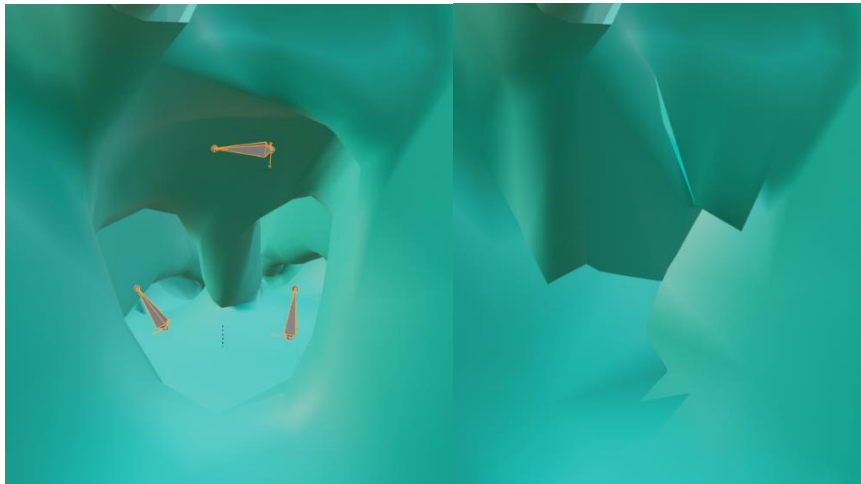


Figura 33. Particolare di uno dei canali che durante l'animazione si (a) apre e (b) chiude

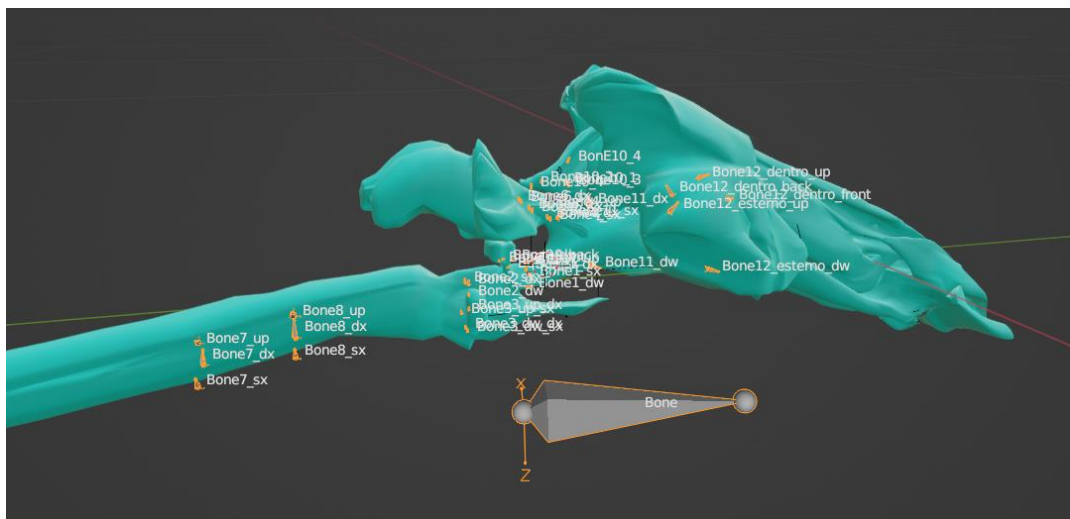


Figura 34. Armatura applicata al modello

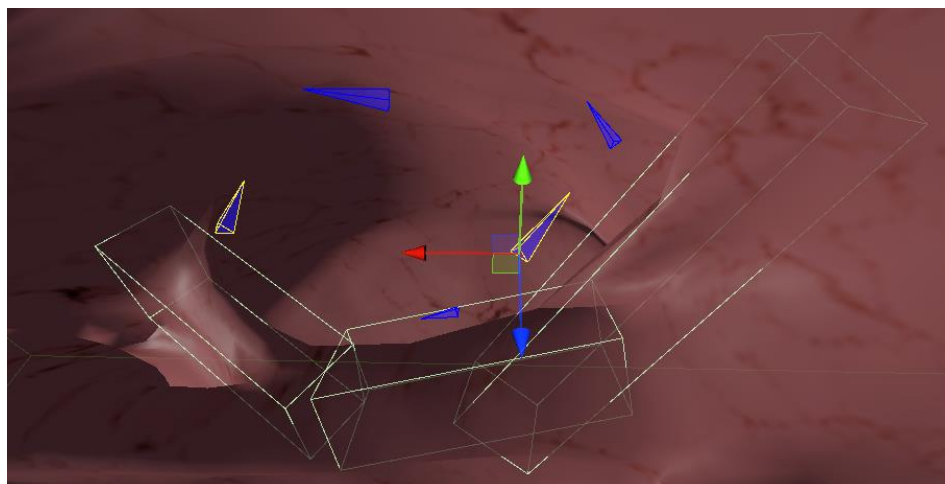


Figura 35. Colliders associati a due ossa dell'armatura del modello texturizzato

4.1.4. Inserimento punta endoscopio in narice

Si è ritenuto necessario aggiungere questa procedura tra le problematiche difficili da affrontare poiché sono stati attuati diversi tentativi fallimentari prima di giungere alla soluzione conclusiva. Per inserire la punta dell'endoscopio in una delle due narici sono state tentate simulazioni di collisioni tra l'oggetto punta endoscopio e la *mesh* della testa del cavallo. Dopo aver usato *Box Collider* e *Mesh collider* di vario tipo con simulazioni di canali dove inserire il tubo si sono riscontrate estreme difficoltà nell'inserimento. Per ovviare al problema è stato realizzato un oggetto cilindrico composto da tanti piccoli cilindri ciascuno con proprio *Box Collider* (Figura 36), dei *Mesh Collider* realizzati su *Blender* (Figura 37) a partire dal modello del cavallo e diversi *Box/Sphere Collider*. Il funzionamento è il seguente: quando i piccoli cilindri entrano a contatto con il *Mesh Collider* all'interno della testa del cavallo, la loro componente di renderizzazione viene disattivata e il loro *Collider* impostato a "trigger" (disattiva le collisioni ma percepisce comunque il contatto tra due oggetti dotati di collider). In questo modo i pezzetti non sono più visibili ma comunque capaci di attivare dei trigger utilizzati per la loro ricomparsa una volta usciti dalla narice.

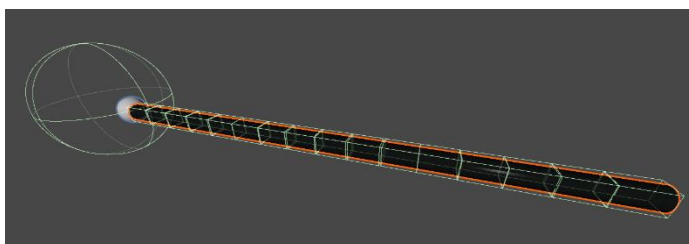


Figura 36. Composizione della punta dell'endoscopio

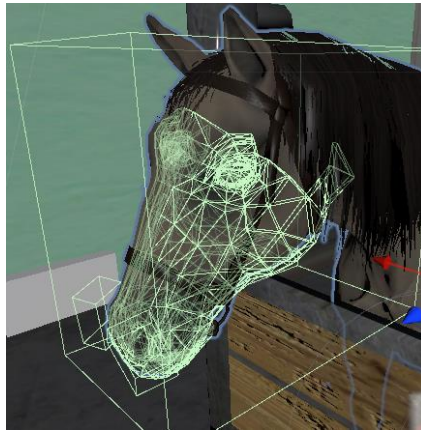


Figura 37. Collider sulla testa del cavallo

4.2. Iter di realizzazione

Questo paragrafo è dedicato all'intera realizzazione del software oggetto del lavoro di tesi. In esso verrà esposto l'iter seguito per il raggiungimento degli obiettivi fissati.

4.2.1. Creazione degli ambienti

L'ambiente di simulazione mira ad essere la ricostruzione della stanza di reale esecuzione dell'endoscopia presso *l'Università degli Studi di Torino*. Durante il primo incontro con la Professoressa Michela Bullone, nel quale si è assistito alla procedura, sono stati registrati video e scattate foto per una migliore riproduzione della scena.

L'ambiente principale, però, presenta qualche mobilio in meno ed è composto come segue: la "gabbia" di contenimento del cavallo si trova al centro, il monitor con relativo endoscopio di fronte a quest'ultima e gli altri mobili vicino alle pareti (Figura 38.a e Figura 38.b). I modelli sono stati scaricati da risorse gratuite online, ad eccezione della gabbia, dell'endoscopio, del monitor con rispettivi dispositivi e della lingua del cavallo, posteriormente aggiunta. Fuori dall'ambiente di gioco, accanto alle pareti della stanza, è posizionato il modello del naso con le tre sfere, entrambi racchiusi da quattro pareti per evitare che entri luce (Figura 39.a e 39.b). Le texture sono state tutte manualmente aggiunte su *Blender* ricercando immagini gratuite online (Figura 40.a e Figura 40.b) o utilizzando fotografie, come nel caso dei dispositivi che si trovano sotto il monitor (Figura 41 e Figura 42).

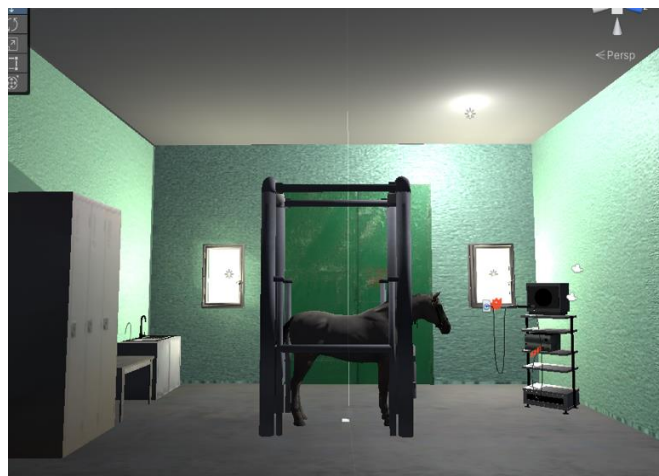


Figura 4 (a) visione frontale dell'area di gioco e (b) visione laterale dell'area di gioco

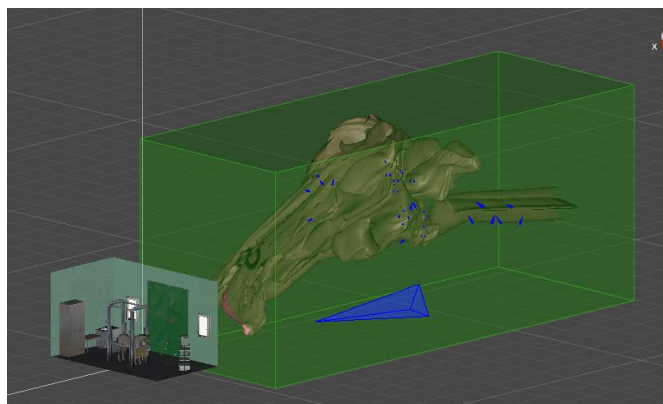
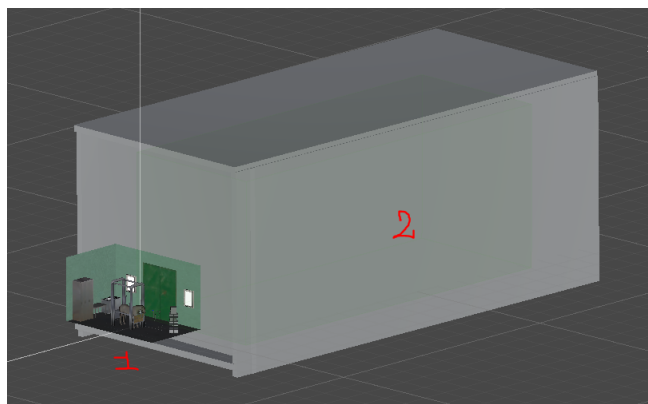


Figura 5 (a) Visione complessiva dei modelli: 1) stanza, ambiente di gioco; 2: pareti che racchiudono il modello dell'apparato respiratorio del cavallo e (b) Visione complessiva dei modelli senza le pareti che racchiudono il modello dell'apparato respiratorio



Figura 40 (a) Modello in Blender e (b) Modello reale



Figura 41. Modelli in Blender dei dispositivi reali a cui si collega l'endoscopio



Figura 6. Modelli reali dei dispositivi a cui si collega l'endoscopio

4.2.1.1. L'endoscopio

Il modello dell'endoscopio è diviso in tre parti: il corpo dell'endoscopio (Figura 43.a), i tubi e la punta. Il corpo dell'endoscopio e la punta sono due modelli realizzati su *Blender* e successivamente imparentati su *Unity*. Il primo è formato da un parallelepipedo svasato a cui sono agganciate due rotelle per il movimento della punta, due fori superiori per l'uso di procedure endoscopiche e due tubi (Figura 43.b). I due tubi sono stati realizzati con *Obi Rope* su *Unity*. *Obi* è un motore fisico avanzato basato su particelle in grado di simulare un'ampia gamma di comportamenti di materiali deformabili. Dipende dai pacchetti *Burst*, *Jobs*, *Collections* e *Mathematics*. Con *Obi Rope* si possono creare corde e canne, con il controllo completo sulla loro forma e sul loro comportamento [46]. La punta, invece, è un semplice cilindro a cui è stata imparentata un'armatura per il movimento su/giù/destra/sinistra (Figura 43.c). Questo tipo di movimento è stato realizzato tramite un *Animator* (strumento di *Unity* che contiene riferimenti alle clip di animazione usate e che controlla le loro transizioni utilizzando una macchina a stati) che gestisce un *BlendTree* (strumento di *Unity* che consente la fusione uniforme di più animazioni il cui effetto finale è controllato da un parametro di fusione) con cinque animazioni, corrispondenti alle quattro posizioni della punta, incluse le rotazioni delle rotelle, e due parametri (Figura 44).

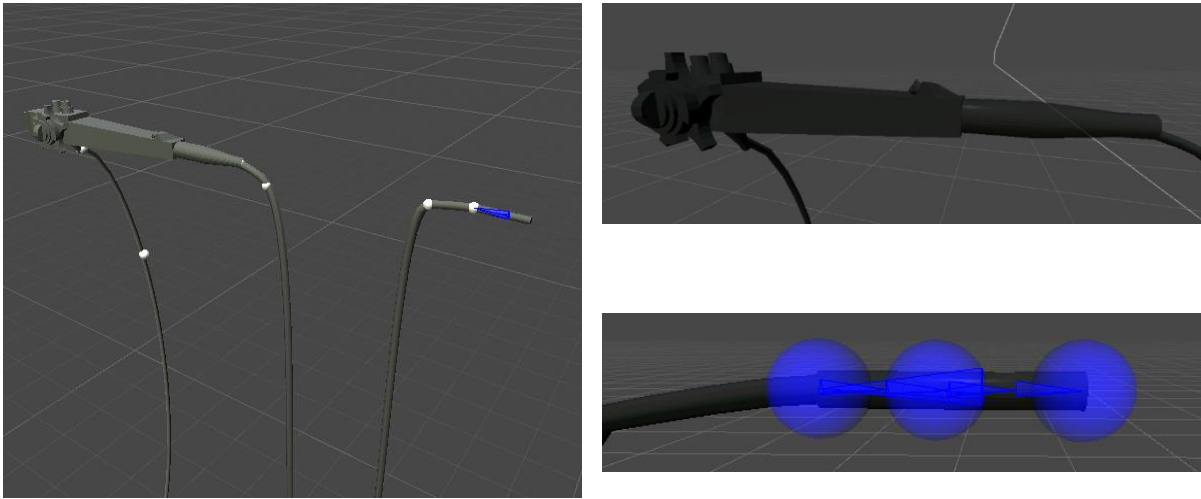


Figura 43 (a) in alto a destra: corpo dell'endoscopio, (b) a sinistra: modello dell'endoscopio, (c) in basso a destra: punta dell'endoscopio con armatura

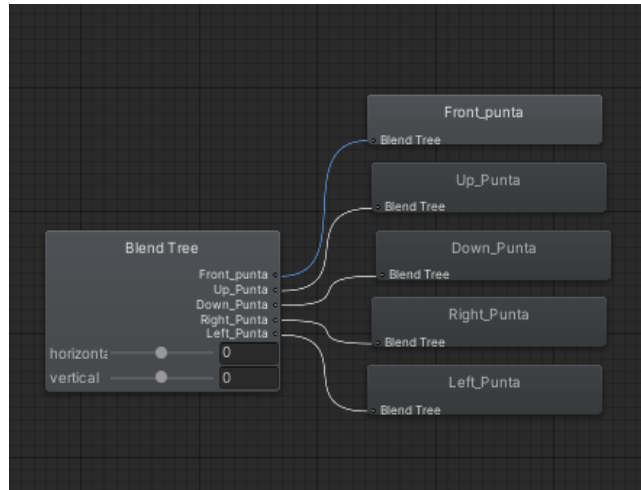


Figura 44. Blendtree per la gestione dei movimenti della punta e delle rotelle dell'endoscopio

4.2.1.2. Display

Per effettuare un'endoscopia è necessario osservare costantemente un display collegato alla camera che si trova sulla punta dell'endoscopio, in modo da poter visionare chiaramente l'interno del cavallo. Per poterlo fare, nel progetto è stata impostata la renderizzazione della camera in modo tale che essa non avvenisse in uno dei *Display* (oggetti adibiti al rendering) disponibili su *Unity*. L'output della camera, piuttosto, è stato assegnato come *albedo* (parametro che dà colore al materiale di un oggetto su *Unity*) di un nuovo materiale, a sua volta assegnato ad un altro oggetto (Figura 45.a). La camera in questione è mostrata nella Figura 45.b. È stato utilizzato un *Quad* (una mesh quadrata su *Unity*) che simula perfettamente una TV (Figura 45.c).

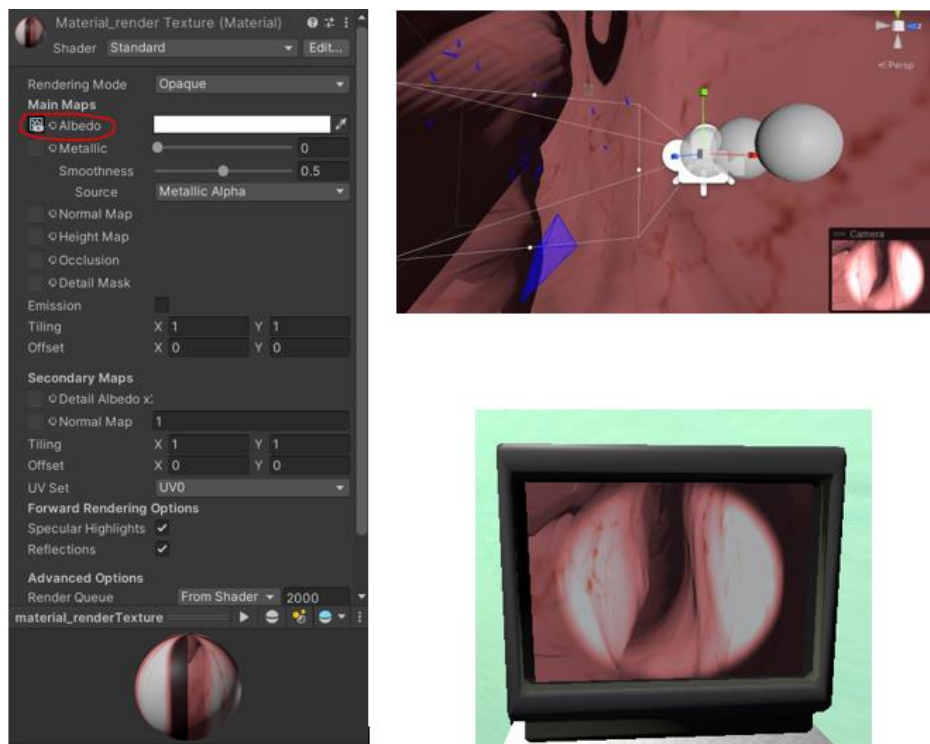


Figura 45 (a) a sinistra: materiale che ha come albedo l'output della camera, (b) in alto a destra: camera imparentata ad "head" e (c) in basso a destra: quad con assegnato il materiale su cui renderizzare la camera

4.2.2. Animazione del cavallo

Per poter rendere l'esperienza più realistica sono state implementate delle animazioni che il cavallo compie ad intervalli randomici da 5 a 16 secondi circa. In particolare, sono state realizzate le animazioni della coda, del cavallo che si dimena, del cavallo che morde, del cavallo che mostra la lingua infastidito e del cavallo che, con la testa abbassata a causa del sedativo, respira tranquillo. Questi movimenti sono stati riscontrati più volte durante l'endoscopia e sono stati riprodotti su *Blender*. La lingua del cavallo è stata realizzata ex-novo, in quanto non presente nel modello originale del cavallo. Il modello e le animazioni del cavallo sono stati successivamente importati su *Unity* dove vengono gestiti da un *Animator* i cui parametri vengono controllati da script. Ogni animazione è legata ad un numero, quando il parametro dell'animator si setta a quel numero, viene avviata l'animazione corrispondente a meno che non ci sia già qualche altra animazione in atto. Le animazioni sono state settate su *layer* (letteralmente "livelli", strati indipendenti per evitare conflitti di animazioni concorrenti) differenti nel caso dovesse succedere che ci siano più animazioni insieme. Inizialmente le animazioni erano interamente governate da script. Successivamente si è ritenuto più corretto utilizzare un parametro dell'*Animator* ("animID"), tramite il comando "*SetInteger*".

4.2.3. Raycast per i movimenti

Fin dall'inizio del progetto una delle sfide principali è stata modellare il movimento della punta, in particolare se potesse essere conveniente usare la simulazione fisica di *Unity*. Dopo diverse prove, si è deciso di non utilizzarla, in modo da avere più controllo sui vari movimenti. Le tre sfere per ruotare e muoversi correttamente all'interno del modello del naso, interagendo con l'ambiente circostante, utilizzano i *Raycast*. Il *Raycast* in *Unity* è una funzione fisica che proietta un raggio nella scena, restituendo un valore booleano se un obiettivo è stato colpito con successo. Quando ciò accade, le informazioni sul colpo, come la distanza, la posizione o un riferimento alla trasformazione dell'oggetto, possono essere memorizzate in una variabile *Raycast Hit* per un ulteriore utilizzo [47].

Il numero totale di raggi proiettati dalle tre sfere è di 51; essi vengono attivati tutti soltanto durante l'avanzamento. Durante la rotazione o il movimento all'indietro, vengono attivati soltanto i raggi utili, mentre durante la sosta tutti i *Raycast* vengono disattivati ad eccezione di quelli inseriti per evitare la fuoriuscita delle sfere dalla *mesh* della TAC e di cui si parla nel Capitolo 5.

4.2.4. Audio

L'audio inserito all'interno dell'applicazione è stato realizzato attraverso una ricerca in rete di fonti adatte alla simulazione che poi sono state successivamente mixate tra loro. Nello specifico si può riportare l'esempio dell'audio relativo all'animazione del cavallo che morde: prima vi è uno sbuffo, poi un nitrito, poi un rumore di denti che sbattono tra loro e in seguito un altro sbuffo, tutti ricavati da fonti audio-visive differenti e modificate per rendere il suono naturale. Lo sbattere dei denti è stato ricavato da un video in cui una persona sbatte ripetutamente i denti e, visto che il suono riprodotto risultava essere troppo alto e debole, di esso sono stati modificati il tono e il volume.

Nel complesso sono state inserite sei tracce, una delle quali utilizzata come sottofondo nel menù iniziale; le restanti sono state gestite tramite la creazione di un *array* contenente istanze della Classe *Sound*, creata appositamente per contenere: nome elemento, traccia audio, volume, pitch. Lo script in questione (Figura 46), chiamato *AudioManager*, è componente del modello del cavallo, in modo da renderlo sorgente. L'attivazione delle tracce è stata implementata da script ed inserita proprio nella zona dello script dedicata alle animazioni del cavallo.

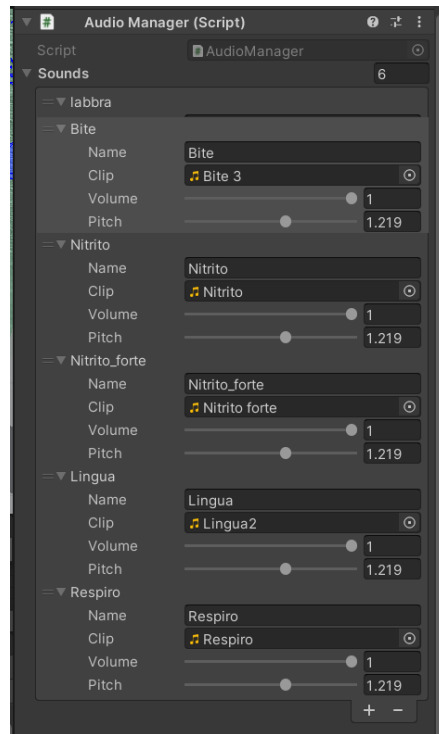


Figura 76. Array di Sounds contenuto in AudioManager

4.2.5. Post-processing

Per implementare alcune caratteristiche legate alla visione e all'aspetto degli ambienti è stato utilizzato il *post-processing*. *Unity* fornisce una serie di effetti di post-elaborazione ed effetti a schermo intero che possono migliorare notevolmente l'aspetto dell'applicazione con un tempo di configurazione ridotto. Si possono usare questi effetti per simulare la fisica della telecamera, le proprietà della pellicola o per creare immagini stilizzate [48].

Sono stati inseriti due “volumi” (*Post-Process Volume*, elementi di *Unity* usati per il *post-processing*) per il *post-processing*: il primo per la camera dell'endoscopio, il secondo per la camera dell'utente che governa l'endoscopio, usato semplicemente per rendere più realistica la luce che entra dalle finestre. Il primo agisce su vari aspetti della camera, in particolare la distorsione e la messa a fuoco. La distorsione è stata inserita poiché nell'endoscopio reale le immagini risultano avere una distorsione sferica, cambiando radicalmente il modo di osservare l'interno del cavallo anche al piccolo movimento. La messa a fuoco è stata ricreata osservando attentamente diversi video di endoscopia realizzata su esseri umani: si è notato quanto sia frequente una perdita di messa a fuoco. È stato notato, allo stesso modo, anche un parziale offuscamento creato dal deposito di liquidi della mucosa sulla superficie della camera. La messa a fuoco viene realizzata da script agendo sul *post-processing* ogni due minuti se avviene uno spostamento

avanti o indietro, è graduale e dura circa tre secondi. Il deposito del materiale sulla camera, invece, è stato realizzato tramite l'aggiunta di una *Canvas* (elemento di *Unity* che funge da contenitore per oggetti grafici) che cambia opacità ogni 200 secondi se vi sono collisioni frontali con la mucosa (Figura 47.a e Figura 47.b).

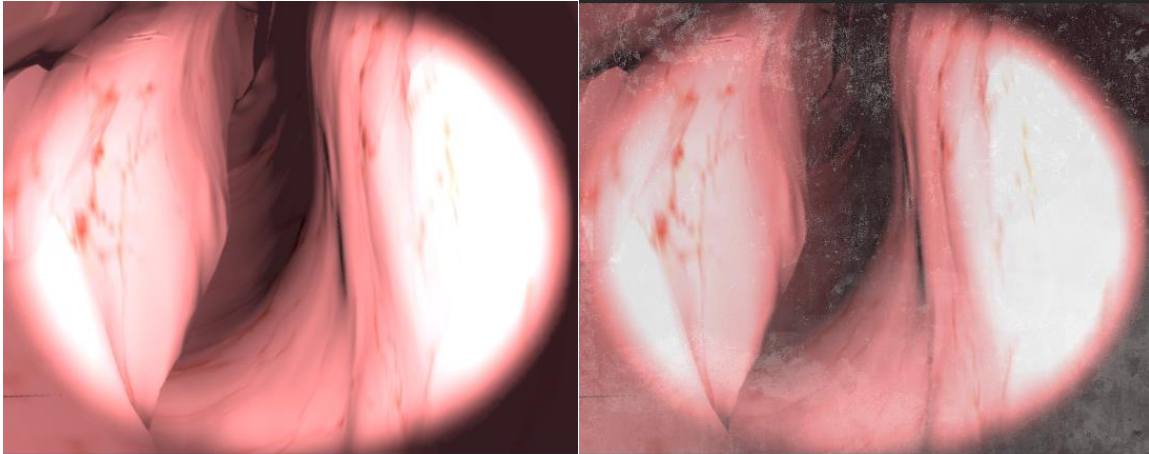


Figura 8 (a) Camera normale e (b) Camera con simulazione sporcizia tramite Canvas

4.2.6. Script

La gestione del motore dell'applicazione è sostanzialmente diretta dagli Script. Quasi tutte le funzioni sono inserite all'interno di uno Script principale, chiamato "*Player Movement_5*", componente di "*tail*", in cui sono state inserite i seguenti metodi:

- **raycast_head()**: funzione dedicata alla gestione dei *Raycast*, attivati solo al bisogno, poi utilizzati nelle funzioni a seguire (figura 48);
- **rotation()**: funzione dedicata alla gestione delle rotazioni delle tre sfere che simulano la punta dell'endoscopio;
- **movement()**: funzione dedicata alla gestione dei movimenti avanti e dietro delle tre sferette che simulano la punta dell'endoscopio;
- **dirtiness()**: funzione dedicata alla gestione dell'opacità della *Canvas* destinata alla simulazione della sporcizia sulla camera dell'endoscopio;
- **depth_distortion()**: funzione dedicata alla gestione del fuoco della camera nel *post-processing*;
- **horse_animations()**: funzione dedicata alla gestione delle animazioni del cavallo.

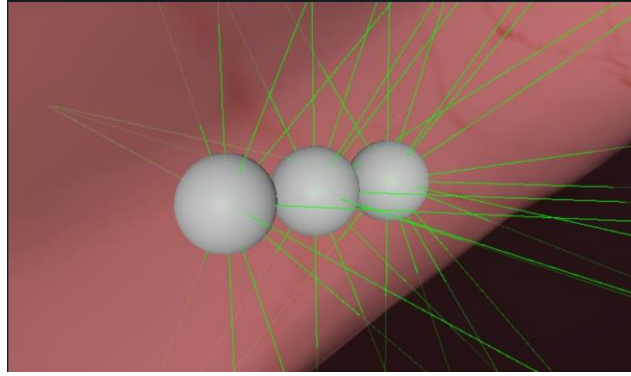


Figura 48. Raycast attivati tramite la funzione `raycast_head()`

Un altro script utilizzato nel progetto è quello che gestisce i movimenti delle *ShapeKeys* del modello dell'organo dell'apparato respiratorio superiore del cavallo. Esso è componente del modello del cavallo e gestisce i movimenti in maniera randomica e graduale.

Altri script utilizzati sono dedicati all'utilizzo del suono, menzionato in precedenza, alla gestione dei Popup e alla gestione delle collisioni.

4.2.7. Implementazione della VR

L'uso della VR è stato implementato nel software una volta che sono stati completati e verificati i vari aspetti dell'esperienza e le meccaniche di gioco. Per la gestione della VR, gli input di sistema sono stati modificati: se dapprima veniva utilizzata la tastiera per la gestione dei comandi, in seguito sono stati utilizzati i controller del *Meta Quest 2*. In particolare, il controller della mano sinistra è dedicato alla gestione dell'endoscopio, quello della mano destra, invece, al movimento avanti e indietro del tubo.

Per l'integrazione della VR nel progetto si è optato per l'*XR Interaction Toolkit* di *Unity*, un framework di alto livello che offre una serie di componenti che facilitano la realizzazione di applicazioni immersive. Per esempio, integra componenti già pronti per la gestione dei movimenti e delle interazioni relative alle mani (tramite controller) o i movimenti della testa (tramite visore).

Rilevante è l'uso del pacchetto *XR Default Input Action*, utilizzato per mappare tutti i comandi in modo tale che da script si possa accedere allo stesso tipo di azione tramite comandi differenti. Un esempio è l'input *Right*, realizzabile sia tramite la freccia destra della tastiera, sia tramite il pulsante Y del controller della mano sinistra (Figura 49).

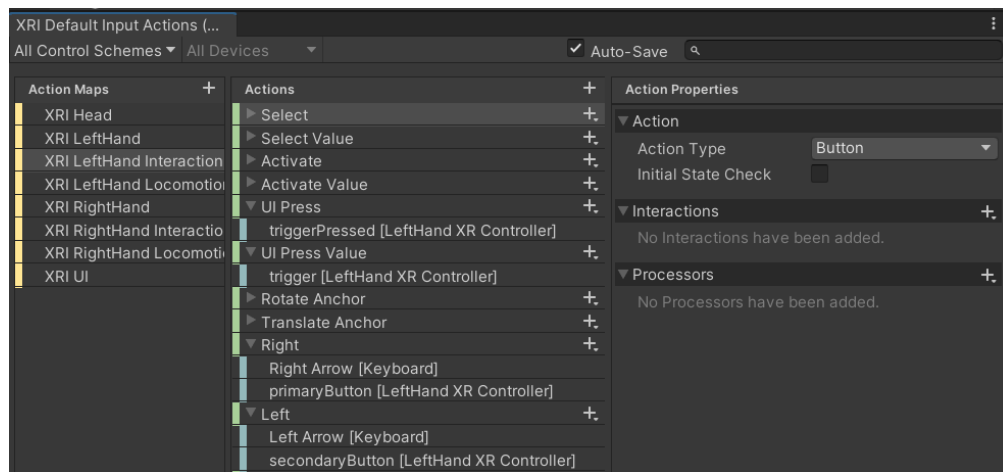


Figura 49. XRI Default Input Actions

6.1.1.1. Comandi

Per rendere l'esperienza il più fedele possibile alla procedura reale, è stato pensato l'utilizzo di due persone per il suo funzionamento: quella che muove il tubo dell'endoscopio avanti e indietro e quella che si occupa del resto della procedura e fornisce indicazioni all'altra. L'applicazione, però, non risulta essere una vera e propria esperienza immersiva condivisa, in quanto soltanto uno dei due utenti indosserà il visore.

Inizialmente l'utente con il visore si ritroverà a dover inserire il tubo in una delle due narici del cavallo, utilizzando entrambi i controller: con il sinistro dovrà cercare di tenere a bada il cavallo, con il destro dovrà cercare di inserire correttamente la punta. Una volta inserito il tubo, verrà consegnato il controller destro al secondo utente, che potrà comandarlo alzando e abbassando il controller, come se stesse effettivamente tenendo un tubo e facendolo muovere. Il primo utente, invece, dovrà tenere con la mano sinistra il controller sinistro e con la mano destra premere i comandi indicati per direzionare la punta dell'endoscopio, suggerendo i movimenti a voce al secondo utente. Vista la costruzione dell'endoscopio e la posizione delle rotelle, si è pensato di utilizzare i pulsanti Y e X del controller per muovere avanti e indietro la rotella esterna, mentre la direzione su e giù della levetta per muovere avanti e indietro la rotella più interna (Figura 50).

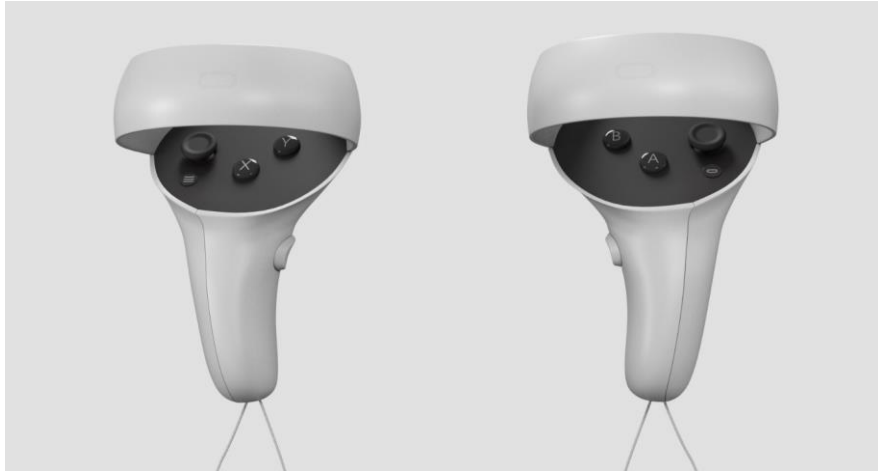


Figura 9. Controllers Oculus Quest 2.0

5. Riscontri e sviluppi futuri

5.1. Riscontri ricevuti

Per una realizzazione il più coerente possibile con gli obiettivi posti, stilati grazie alla collaborazione con la Professoressa Michela Bullone, una volta realizzato l'ambiente di simulazione questo è stato sottoposto ad una verifica da parte sua. Di seguito sono riportati i riscontri positivi e negativi ricevuti.

Riscontri positivi:

- Corretta difficoltà nell'inserimento dell'endoscopio in narice;
- Corretta modalità di esplorazione con endoscopio: movimenti nello spazio, visualizzazione sul display, simulazione cooperazione tra i due operatori di endoscopia, luci e texture;
- Coerenza uso controller ed uso endoscopio;
- Coerenza ambiente virtuale e ambiente ospedaliero;
- Fedeltà delle animazioni del cavallo.

Riscontri negativi:

- Posizione iniziale endoscopio inadeguata;
- Movimenti eccessivi della mucosa interna;
- Endoscopio troppo piccolo rispetto alla narice;
- Mancanza di alcune componenti dell'apparato respiratorio quali epiglottide e osti;
- Mancanza di rotazione sull'asse dell'endoscopio in entrata in narice e durante l'endoscopia;
- Ridotta sensibilità movimento mano/endoscopio;
- Posizionamento errato del display rispetto alla visuale nell'ambiente virtuale;
- Mancato sollevamento delle narici prima dell'inserimento dell'endoscopio.

È stato quindi effettuato un ulteriore lavoro per rimuovere gli elementi che avevano ricevuto un riscontro negativo. In particolare, è stata aggiunta la possibilità di sollevare le singole narici prima dell'inserimento dell'endoscopio. Una volta afferrato il cavallo, dei *popup* aggiuntivi suggeriscono all'utente l'azione da attuare per poter sollevare le narici:

tramite alcuni tasti del controller sinistro è possibile alzare la narice sinistra e la narice destra separatamente. È necessario evidenziare quanto sia importante che l'utente comprenda la corretta posizione che deve assumere la mano sinistra durante questa operazione. Per questo motivo è stata inserita la *mesh* di una mano che si muove sul naso, secondo i tasti premuti, assumendo la posizione corretta. Questo perché spesso gli studenti di Veterinaria tendono a tappare inconsapevolmente una delle due narici non consentendo la corretta respirazione del cavallo. Per evitare l'inserimento della punta dell'endoscopio a narice abbassata sono stati inseriti dei collider a scomparsa all'ingresso delle narici. Sia i movimenti delle narici che quelli delle dita della mano sono stati gestiti tramite *Animator* dedicati.



Figura 51. Mesh mano aggiunta per il sollevamento delle narici

La rotazione sull'asse dell'endoscopio, oltre ad essere casuale all'entrata in narice, è stata implementata usando la levetta del controller destro e può essere applicata durante tutto il corso dell'endoscopia.

Il movimento alto-basso/avanti-indietro è stato reso più sensibile tramite un coefficiente parametrizzato ma, comunque, limitato ad un valore massimo. Questo per due motivi: il primo è la possibile fuoriuscita dell'endoscopio dalla *mesh* della TAC a causa di cambiamenti troppo repentini di posizione delle tre sfere che simulano la punta, il secondo, più importante, è la volontà di rendere l'endoscopia realistica, in quanto movimenti del genere non sono possibili durante una vera endoscopia.

Per evitare, ulteriormente, l'eventualità che il primo punto, tra questi ultimi due, possa verificarsi comunque, sono stati inseriti quattro *Raycast* all'interno di ogni sfera,

ognuno di dimensione $\frac{1}{4}$ della stessa, di modo che eventuali penetrazioni di *mesh* riposizionino la punta dell'endoscopio correttamente all'interno di quest'ultima.

Per ovviare alla dimensione della punta dell'endoscopio, ritenuta troppo piccola rispetto all'originale, sono stati inseriti vari *Collider* in modo da evitare l'accesso di quest'ultima in zone non consentite.

Correggere elementi quali movimento della *mesh* della TAC, struttura del modello della TAC (come inserimento epiglottide), illuminazione corretta di elementi come il recesso faringeo, è stato un lavoro realizzato in *Blender* e importato nuovamente in *Unity*.

Una volta implementate queste modifiche, è stato organizzato un ulteriore momento di verifica con la Professoressa Bullone che ha dato un riscontro positivo.

5.2. Sviluppi futuri

Vista la natura puramente simulativa e non ancora didattica di questo progetto, senza dubbio gli sviluppi futuri risultano essere svariati. L'obiettivo principale rimane l'addestramento di studenti universitari ma possono esservi obiettivi secondari. La Professoressa Michela Bullone ha gentilmente fornito indicazioni circa altri aspetti da considerare e funzionalità aggiuntive da implementare per trasformare questo progetto in uno strumento utile ed utilizzabile:

- Abilità semeiotiche: implementazione di alterazioni esterne del cavallo e/o rumori respiratori che lo studente dovrebbe notare prima di iniziare l'esame endoscopico;
- Pacchetti con obiettivi di pre-endoscopia mirati: alcuni esempi potrebbero essere la capacità di mimare una sedazione sulla base del peso del cavallo, mettendo a disposizione una cassetta sedativi (abilità manuali/tecniche e di calcolo di dosaggi di farmaci) o assicurarsi che l'endoscopio sia correttamente montato e tutte le funzioni siano operative;
- Pacchetti con obiettivi di post-endoscopia: modulo di pulizia, disinfezione e deposito dello strumento, utile per l'addestramento di Assistenti Tecnici;
- Abilità di diagnosi: possibilità di generare alterazioni a carico delle strutture anatomiche interne o della loro funzionalità in modo da riprodurre la presenza di patologie a carico delle vie aeree; ciò potrebbe essere utile anche per valutazione finale del percorso di laurea/ex-esame di stato;
- Pacchetti con obiettivi procedurali mirati: esecuzione di procedure specifiche transendoscopiche quali lavaggio bronchiolo-alveolare, prelievo di biopsia,

ispezione tasche gutturali, ispezione tracheale per valutazione contaminazione da alimenti e altro;

- Modalità di addestramento: inserimento di un'assistente virtuale che dia suggerimenti costanti agli utenti in modo da affiancarli in ogni procedura.

6. Conclusioni

Il lavoro per la realizzazione dello strumento software è stato per gran parte impiegato nella produzione del modello dell'apparato respiratorio superiore del cavallo a partire da TAC, che ha richiesto più tempo del previsto. Questa è una delle ragioni che non ha permesso di raggiungere nella loro totalità gli obiettivi prefissati, ma che, nonostante tutto, ha posto le basi per una futura produzione di uno strumento di addestramento efficiente ed usabile. L'elaborato fornisce informazioni utili per la messa in pratica di migliorie della soluzione, come l'approfondimento di effetti collaterali in un'endoscopia, e informazioni utili per la comprensione della stessa.

In conclusione, è stata prodotta un'applicazione funzionante per simulare l'ambiente (compreso di audio e animazioni) e le meccaniche principali di una procedura endoscopica (inserimento del tubo ed esplorazione dell'apparato respiratorio tramite interazione tra utenti), sufficiente da potersi considerare una solida base da ampliare in futuro con nuove funzionalità.

L'uso della VR è stato fondamentale per una buona immersione, un fedele allenamento e l'eliminazione di quelle problematiche rilevanti come l'uso di cavie sane per l'insegnamento.

Ci si augura che tale applicazione possa essere sviluppata per essere successivamente usata in luoghi di insegnamento come le Università, senza necessaria supervisione di un insegnante o di un professionista, grazie all'interazione tra l'ambiente virtuale, pensato per istruire, e lo studente.

Bibliografia

- [1] Endoscopio veterinario flessibile, <https://www.agriexpo.online/it/prod/karlstorz/product-187691-117193.html>, accesso 11/10/2022
- [2] A. Cannavò and F. Lamberti, "How Blockchain, Virtual Reality and Augmented Reality are converging, and why", IEEE Consumer Electronics Magazine, pp. 6-13, 2021.
- [3] "Realtà Virtuale", Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Realt%C3%A0_virtuale, accesso 11/10/2022.
- [4] N. Fejzic, S. Seric-Haracic, and Z. Mehmedbasic, "From white coat and gumboots to virtual reality and digitalisation: where is veterinary medicine now?", Conference Series: Earth and Environment Science, Vol. 333, 2019.
- [5] C. Queen, "VR and AR in the Veterinary Profession", <https://vVRoice.co/vr-ar-veterinary-profession/>, accesso 11/10/2022
- [6] S.E. van der Wiel, R. Kutter Magalhaes, C. R. Rocha Gonçalves, M. Dinis-Ribeiro, M. J. Bruno, and A. D. Koch, "Simulator training in gastrointestinal endoscopy - From basic training to advanced endoscopic procedures", Best Pract Res. Clin. Gastroenterol., Vol. 30, pp. 375-387, 2016.
- [7] M. Neumann, G. Mayer, C. Ell, T. Felzmann, B. Reingruber, T. Horbach, and W. Hohenberger, "The Erlangen Endo-Trainer: Life-Like Simulation for Diagnostic and Interventional Endoscopic Retrograde Cholangiography", Endoscopy, Vol 32, pp. 906-910, 2000.
- [8] Product Data, Kyoto Kagaku, http://www.kyotokagaku.com/en/products_data/m40, accesso 11/10/2022
- [9] ENDO Brochure Simbionix, <https://simbionix.com/wp-content/pdf/Brochures/ENDO-Brochure-2021.10.en-Web.pdf>, accesso 11/10/2022
- [10] Simendo laparoscopy, <https://www.simendo.eu/products/simendo-laparoscopy/>, accesso 11/10/2022

- [11] L. Li, F. Yu, D. Shi, J. Shi, Z. Tian, J. Yang, X. Wang, and Q. Jiang, "Application of virtual reality technology in clinical medicine", *Am. J. Transl. Res.*, Vol. 9, pp. 3867-3880, 2017.
- [12] T. Jodaa, G. O. Gallucci, D. Wismeijerc, and N. U. Zitzmann, "Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review", *Comput. Biol. Med.*, Vol. 108, pp. 93-100, 2019.
- [13] Eyesi Surgical, <https://www.vrmagic.com/medical-simulators/eyes-surgical>, accesso 11/10/2022
- [14] K. DeBose, "Virtual Anatomy: expanding veterinary student learning", *J. Med. Lib. Assoc.*, Vol. 108, pp. 647-648, 2020.
- [15] Canine Dental Surgical Model, <https://vetsimulators.com/caninedentalsimulator/>, accesso 11/10/2022
- [16] Equine Palpation colic simulator, <https://vetsimulators.com/products/equine-colic-simulator/>, accesso 11/10/2022
- [17] VR Med Library Information: VR Anatomy, <https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>,_accesso 11/10/2022
- [18] Haptic cow & Haptic Horse - Virtualis official site, <https://www.virtualis.com/systems/haptic-cow-haptic-horse>, accesso 11/10/2022
- [19] EasyAnatomy official site, <https://easy-anatomy.com/>, accesso 11/10/2022
- [20] M. Samadbeik, D. Yaaghobi, P. Bastani, S. Abhari, R. Rezaee, and A. Garavand, "The Applications of Virtual Reality Technology in Medical Groups Teaching", *J. Adv. Med. Educ. Prof.*, pp. 123-129, 2018.
- [21] F. Aim, G. Lonjon, D. Hannouche, and R. Nizard, "Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery", *Arthroscopy*. Vol. 32, pp. 224–232, 2016.
- [22] L. Thomas, "Applications of Virtual Reality in Medicine, <https://www.news-medical.net/health/Applications-of-Virtual-Reality-in-Medicine.aspx>, accesso 11/10/2022
- [23] R. Mishra, K. Narayanan, G. E. Umana, N. Montemurro, B. Chaurasia, and H. Deora, "Virtual Reality in Neurosurgery: Beyond Neurosurgical Planning", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol. 19, 2022

- [24] D. Freeman, S. Reeve, A. Robinson, A. Ehlers, D. Clark, B. Spanlang, and M. Slater, "Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders", *Psychol. Med.*, Vol. 47, pp. 2393-2400, 2017.
- [25] H. G. Hoffman, D. R. Patterson, G. J. Carrougher, and S. R. Sharar. "Effectiveness of virtual realitybased pain control with multiple treatments", *Clin. J. Pain*, Vol. 17, pp. 229–35, 2001.
- [26] G. J. Carrougher, H. G. Hoffman, D. Nakamura, D. Lezotte, M. Soltani, L. Leahy, L. H. Engrav, and D. R. Patterson, "The effect of virtual reality on pain and range of motion in adults with burn injuries". *J. Burn. Care Res.*, Vol. 30, pp. 785-791. 2009.
- [27] S. R. Sharar, G. J. Carrougher, D. Nakamura, H. G. Hoffman, D. K. Blough, and D. R. Patterson, "Factors influencing the efficacy of virtual reality distraction analgesia during postburn physical therapy: preliminary results from 3 ongoing studies", *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 88, pp. 43-49, 2009.
- [28] J. L. Gold, S. H. Kim, A. J. Kant, M. H. Joseph, and A. S. Rizzo, "Effectiveness of virtual reality for pediatric pain distraction during i.v. placement", *Cyberpsychol. Behav.*, Vol. 9, pp. 207-212, 2006.
- [29] H. G. Hoffman, R. A. Rodriguez, M. Gonzalez, M. Bernardy, R. Peña, W. Beck, D. R. Patterson,,and W. J. Meyer, "Immersive Virtual Reality as an Adjunctive Non-opioid Analgesic for Pre-dominantly Latin American Children With Large Severe Burn Wounds During Burn Wound Cleaning in the Intensive Care Unit: A Pilot Study", *Front. Hum. Neurosci.*, Vol. 13, pp. 262, 2019.
- [30] S. Langener, J. Van Der Nagel, J. van Manen, W. Markus, B. Dijkstra, L. De Fuentes-Merillas, R. Klaassen, J. Heitmann, D. Heylen, and A. Schellekens, "Clinical Relevance of Immersive Virtual Reality in the Assessment and Treatment of Addictive Disorders: A Systematic Review and Future Perspective", *J. Clin. Med.*, Vol. 10, 2021.
- [31] X. X. Ma, "Rendering volumetrico di dati provenienti da RM e TAC in realtà virtuale", Università di Bologna, Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche, 2017.
- [32] K. Liimatainen, L. Latonen, M. Valkonen, K. Kartasalo, and P. Ruusuvuori, "Virtual reality for 3D histology: multi-scale visualization of organs with interactive feature exploration", *BMC Cancer*, Vol. 21, 2021.
- [33] R. K. J. Brown, S. Petty, S. O'Malley, J. Stojanovska, M. S. Davenport, E. A. Kazerooni, and D. Fessahazion, "Virtual Reality Tool Simulates MRI Experience", *Tomography*, Vol. 4, pp. 95-98, 2018.

- [34] K. Kapoor, and A. Singh, "Veterinary anatomy teaching from real to virtual reality: An unprecedented shift during COVID-19 in socially distant era", Anat. Histol. Embryol., Vol. 51, pp. 163-169, 2022.
- [35] K. E. McCool, S. A. Bissett, T. L. Hill, L. A. Degernes, and E. C. Hawkins, "Evaluation of a Human Virtual-Reality Endoscopy Trainer for Teaching Early Endoscopy Skills to Veterinarians", J. Vet. Med. Educ., Vol. 47, pp. 106-116, 2020
- [36] A. Paszkiewicz, M. Salach, P. Dymora, M. Bolanowski, G. Budzik, and P. Kubiak, "Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0", Sustainability, Vol. 13, 2021
- [37] Blender, <https://www.blender.org/>, accesso 11/10/2022
- [38] Blender, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Blender_\(programma\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Blender_(programma)), accesso 11/10/2022
- [39] Unity, Wikipedia [https://it.wikipedia.org/wiki/Unity_\(motore_grafico\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Unity_(motore_grafico)), accesso 11/10/2022
- [40] Adobe Substance, Fandom, https://adobe.fandom.com/wiki/Substance_by_Adobe, accesso 11/10/2022
- [41] InVesalius, <https://en.wikipedia.org/wiki/InVesalius>, accesso 11/10/2022
- [42] MeshLab, <https://www.meshlab.net/>, accesso 11/10/2022
- [43] MeshLab, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab>, accesso 11/10/2022
- [44] Audacity, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Audacity>, accesso 11/10/2022
- [45] Visual Studio Code, Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code, accesso 11/10/2022
- [46] Obi Rope, Unity Asset Store, <https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/obi-rope-55579>, accesso 11/10/2022
- [47] RayCast, Gamedevbeginner, <https://gamedevbeginner.com/raycast-in-unity-made-easy/>, accesso 11/10/2022
- [48] Post Processing, Unity Manual <https://docs.unity3d.com/Manual/PostProcessingOVRView.html>, accesso 11/10/2022

Lista delle figure

- Figura 1. Endoscopio [<https://egcimagens.com.br/produto/endoscopio-flexivel/>]
- Figura 2(a). Particolare della punta
- Figura 2(b). Particolare delle rotelle
- Figura 3. Disegni con spiegazione dettagliata delle componenti di un endoscopio [<https://www.agriexpo.online/it/prod/karlstorz/product-187691-117193.html>]
- Figura 4(a). Erangen Endo-Trainer [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1096288307001052>]
- Figura 4(b). Gi Mentor II [S.E. van der Wiel, R. Kutter Magalhaes, C. R. Rocha Gonçalves, M. Dinis-Ribeiro, M. J. Bruno, and A. D. Koch, “Simulator training in gastrointestinal endoscopy - From basic training to advanced endoscopic procedures”, Best Pract Res. Clin. Gastroenterol., Vol. 30, pp. 375-387, 2016.]
- Figura 5(a). The Kyoto Kagaku Colonoscope Training Model [http://www.kyotokagaku.com/en/products_data/m40]
- Figura 5(b). URO Mentor [http://www.kyotokagaku.com/en/products_data/m40]
- Figura 6(a). GI Express [<https://symbionix.com/wp-content/pdf/Brochures/ENDO-Brochure-2021.10.en-Web.pdf>]
- Figura 6(b). XVision ERCP Traininf System [https://www.researchgate.net/figure/The-X-Vision-ERCP-Training-System-mounted-on-an-endoscopy-trolley-Front-view-of-the_fig3_23562919]
- Figura 7(a). LapMentor [<https://www.medicalexpo.it/prod/surgical-science/product-79096-1027246.html>]
- Figura 7(b). MIST-VR [https://www.researchgate.net/figure/Laparoscopic-Surgical-Simulators-Promis-left-and-MIST-VR-right_fig1_51762710]
- Figura 8(a). Simendo [<https://www.simendo.eu/products/simendo-laparoscopy/>]
- Figura 8(b). Insight Arthro VR Shoulder Simulator [L. Li, F. Yu, D. Shi, J. Shi, Z. Tian, J. Yang, X. Wang, and Q. Jiang, "Application of virtual reality technology in clinical medicine", Am. J. Transl. Res., Vol. 9, pp. 3867-3880, 2017.]

- Figura 9(a). Proedicus VA Simulator [L. Li, F. Yu, D. Shi, J. Shi, Z. Tian, J. Yang, X. Wang, and Q. Jiang, "Application of virtual reality technology in clinical medicine", Am. J. Transl. Res., Vol. 9, pp. 3867-3880, 2017.]
- Figura 9(b). TraumaVision Fractured Femur Orthopedic
[https://www.researchgate.net/figure/The-platform-of-TraumaVision-fractured-femur-orthopedic-simulator-A-and-its-interface_fig3_320126170]
- Figura 10(a). Visible Ear Simulator [https://www.researchgate.net/figure/Simulator-setup-Portable-PC-with-GeForce-9-800-M-GTX-graphics-card-and-Windows-Vista-32_fig1_26311307]
- Figura 10(b). EYESI [<https://www.vrmagic.com/medical-simulators/eyes-surgical>]
- Figura 11(a). Which DentSim
- Figura 11(b). CDS-100 [<https://www.omnia-health.com/product/simex-cds-100>]
- Figura 12. Moog Simodont Dental Trainer [<https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>]
- Figura 13. Canine Dental Surgical Model
[<https://vetsimulators.com/caninedentalsimulator/>]
- Figura 14(a). Canine Spay Simulator
- Figura 14(b). VSI Equine Simulator [<https://vetsimulators.com/products/equine-colic-simulator/>]
- Figura 15. VR Canine Simulator, Vet Med [<https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>]
- Figura 16. Haptic Cow & Haptic Horse [<https://www.virtalis.com/systems/haptic-cow-haptic-horse>]
- Figura 17. JatsonVR - Virtual Canine Simulator [<https://easy-anatomy.com/>]
- Figura 18. EasyAnatomy [<https://easy-anatomy.com/>]
- Figura 19. Confronto tra dissezioni di cadavere e dissezioni virtuali
[<https://guides.lib.vt.edu/vetmed/vranatomy>]
- Figura 20. Oculus Quest 2 con controllers Oculus Touch
[<https://appblogitalia.com/oculus-quest-2-recensione/>]

- Figura 21. Selezione della maschera in Invesalius
- Figura 22(a). Comune errore nella selezione della maschera
- Figura 22(b). Selezione corretta della maschera
- Figura 23. Parte esterna del modello vista lateralmente ottenuta da TAC
- Figura 24. Porzione interna del modello ottenuto da TAC
- Figura 25. Vista posteriore del modello ricavato da TAC
- Figura 26. Parte esterna del modello vista lateralmente ottenuta dal modello ricostruito manualmente
- Figura 27. Porzione interna del modello ottenuto manualmente
- Figura 28. Vista posteriore del modello ricavato manualmente
- Figura 29. I 24 piani intersecati con il modello ottenuto da TAC
- Figura 30(a). Piani con modificatore booleano
- Figura 30(b). Particolare di un piano in vista frontale
- Figura 31(a). Simulazione della punta dell'endoscopio
- Figura 31(b). Punta reale dell'endoscopio
- Figura 32(a). Rotazione verso sinistra
- Figura 32(b). Modello delle tre sfere
- Figura 32(c). Rotazione verso destra
- Figura 33(a). Particolare di uno dei canali che durante l'animazione si apre
- Figura 33(b). Particolare di uno dei canali che durante l'animazione si chiude
- Figura 34. Armatura applicata al modello
- Figura 35. Colliders associati a due ossa dell'armatura del modello texturizzato
- Figura 36. Composizione della punta dell'endoscopio

- Figura 37. Collider sulla testa del cavallo
- Figura 38(a). Visione frontale dell'area di gioco
- Figura 38(b). Visione laterale dell'area di gioco
- Figura 39(a). Visione complessiva dei modelli: 1) stanza, ambiente di gioco; 2: pareti che racchiudono il modello dell'apparato respiratorio del cavallo
- Figura 39(b). Visione complessiva dei modelli senza le pareti che racchiudono il modello dell'apparato respiratorio
- Figura 40(a). Modello in Blender
- Figura 40(b). Modello reale
- Figura 41. Modelli in Blender dei dispositivi reali a cui si collega l'endoscopio
- Figura 42. Modelli reali dei dispositivi a cui si collega l'endoscopio
- Figura 43(a). Corpo dell'endoscopio
- Figura 43(b). Modello dell'endoscopio
- Figura 43(c). Punta dell'endoscopio con armatura
- Figura 44. Blendtree per la gestione dei movimenti della punta e delle rotelle dell'endoscopio
- Figura 45(a). Materiale che ha come albedo l'output della camera
- Figura 45(b). Camera imparentata ad "head"
- Figura 45(c). Quad con assegnato il materiale su cui renderizzare la camera
- Figura 106. Array di Sounds contenuto in AudioManager
- Figura 47(a). Camera normale
- Figura 47(b). Camera con simulazione sporcizia tramite Canvas
- Figura 48. Raycast attivati dalla funzione raycast_head
- Figura 49. XRI Default Input Actions
- Figura 50. Controllers Oculus Quest 2.0

- Figura 51. Mesh mano aggiunta per il sollevamento delle narici

