

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

CAMPUS DI CESENA

SCUOLA DI SCIENZE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA E SCIENZE

INFORMATICHE

AMBIENTE DI MIXED REALITY PER L'INSEGNAMENTO

DELLA MEDICINA VETERINARIA

Relazione finale in
SISTEMI MULTIMEDIALI

Relatore:

Prof.ssa Paola Salomoni

Correlatore:

Dott.sa Catia Prandi

Presentata da:

Eleonora Guidi

Sessione II

Anno Accademico 2015/2016

Indice

Indice.....	I
Introduzione	1
1 E-learning e Realtà Virtuale	5
1.1 Formazione a distanza	5
1.2 E-learning	6
1.3 La Realtà Virtuale.....	12
1.4 Realtà Virtuale e Aumentata in campo educativo	18
1.5 L'apprendimento della medicina veterinaria oggi.....	19
1.6 Progetti già sviluppati.....	21
2 Design	25
2.1 Analisi dei requisiti.....	25
2.2 Tour Virtuali	26
2.3 Simulatori virtuali.....	30
2.4 Problematiche da affrontare	30
2.5 Pannellum	31
2.6 Blender	32
2.7 Pannellum vs Blender	34
2.8 Fotocamere	35
2.9 Post produzione	37
3 Implementazione.....	43
3.1 Creazione delle immagini panoramiche	43
3.2 Elementi base del tour virtuale su Blender.....	49
3.3 Creazione del tour virtuale	52
3.4 Inserimento dei modelli 3D di animali sul tour virtuale.....	55
3.5 Esportazione	57
3.6 Problemi riscontrati	57
Conclusioni	61
Bibliografia	65

Introduzione

Questa tesi progettuale nasce sulla base di un progetto accademico, sviluppato con la collaborazione di docenti della facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università di Bologna.

Obiettivo della tesi è l'analisi e una prima prototipazione del sistema, per verificare la fattibilità della realizzazione di un ambiente E-learning virtuale ed interattivo. Il progetto finale prevede di creare un simulatore integrato all'interno del portale E-learning, che possa essere utilizzato da studenti e insegnanti a supporto della didattica, oltre a prevedere l'integrazione dei classici elementi dell'E-learning quali quiz o test di autovalutazione.

La tecnologia E-learning ha subito un sostanziale decollo a partire dagli anni Novanta del Novecento, rivoluzionando il concetto di educazione a distanza e espandendosi enormemente fino ad essere utilizzata in un gran numero di discipline e ambienti differenti.

La recente diffusione al grande pubblico di dispositivi come smartphone e tablet hanno portato all'evoluzione dell'E-learning in Mobile Learning, ampliandone ulteriormente la sua diffusione.

Meccanismi come la Realtà Virtuale hanno inoltre cooperato a rendere questa metodologia ancora più immersiva, grazie allo sviluppo di simulatori in grado di rappresentare ambienti impossibili da raggiungere all'uomo o la cui visita è limitata ai singoli addetti, per questioni di pericolo o sensibilità dell'ambiente.

Con il progredire della tecnologia sono state adottate soluzioni sempre più moderne, come ad esempio soluzioni basate su Realtà Aumentata o Mista, in modo da far visualizzare all'utilizzatore l'ambiente reale e non solo una sua ricostruzione digitale.

L'uso congiunto di metodologie E-learning e Realtà Virtuale o Aumentata è un campo relativamente nuovo, che sta velocemente progredendo a svilupparsi man mano che le tecnologie del settore avanzano e si migliorano.

Il nostro progetto prevedrà l'utilizzo del software Blender per la costruzione di un simulatore virtuale sotto forma di tour, per dare la possibilità a studenti e insegnanti di visitare virtualmente la stalla della facoltà tramite immagini a 360°. All'interno del tour sarà inoltre possibile visualizzare modelli 3D animati di animali da fattoria.

Per via dell'utilizzo di tecnologie che si sono sviluppate recentemente, il nostro è sicuramente un progetto molto all'avanguardia e innovativo. Inoltre, grazie a questo utilizzo simultaneo di foto reali e modelli virtuali, si porrà un passo avanti rispetto alla maggior parte dei progetti sviluppati fino a questo momento con scopi simili.

Questo progetto sarà il primo passo alla realizzazione del software, occupandosi di trovare le tecnologie principali su cui lavorare in seguito. Visto tale fine, questa tesi prevedrà un'estensiva fase di ricerca, con analisi di vari software utili ai nostri scopi, e una seconda parte di realizzazione di un prototipo base, non troppo esteso, per dimostrare visivamente e racchiudere tutto ciò che è stato scoperto precedentemente.

Nella prima parte, la ricerca verterà sui software da utilizzare in seguito. In questa sezione ci siamo trovati a dover cercare programmi in grado di occuparsi coerentemente sia del tour virtuale che della realizzazione dei modelli realizzati con Realtà Virtuale. Per questo abbiamo proceduto a cercare soluzioni appropriate, identificandone le principali in Pannellum e Blender. In seguito abbiamo proceduto a selezionare il migliore, basandoci sulla facoltà di integrare meglio tutti i componenti che ci occorrono.

Nella seconda parte invece, quella un po' più pratica, abbiamo proceduto a studiare in che modo fosse possibile realizzare immagini a 360°, quali fossero le migliori tecnologie sul mercato attuale e quali quelle che ci sarebbero state più utili nel corso del nostro progetto. Abbiamo poi proceduto a realizzare le foto per il nostro progetto e a unirle assieme attraverso appositi software per ottenere le foto sferiche. Anche in questo caso abbiamo cercato diverse opzioni per realizzarle, esplorando soluzioni sia a pagamento che gratuite e utilizzando le

migliori. In questa fase abbiamo anche proceduto a svolgere tutte quelle operazioni di postproduzione fotografica, che ci hanno portato a ricreare tutti i dettagli necessari, che non era possibile ritrarre con l'immagine ottenuta sul campo.

Il seguito della tesi è così organizzato:

- Il capitolo 1 intitolato “E-learning e Realtà Virtuale” si occupa di inquadrare il contesto in cui questa tesi prende vita, procedendo con l'analisi del metodo E-learning, una fase di ricerca delle tecnologie utilizzate per svilupparli e il loro utilizzo. Si procederà poi ad occuparci di Realtà Virtuale, Aumentata e Mista, analizzandone le differenze e il loro modo di cooperare con il metodo E-learning. Infine ci occuperemo di medicina veterinaria, studiandone l'attuale insegnamento ed esplorando i benefici che un portale E-learning, strutturato come quello oggetto di questo progetto di tesi potrebbe portare, illustrando anche progetti simili già realizzati.
- Il capitolo 2 si occuperà invece del design del programma. Dopo una prima fase di analisi dei requisiti del nostro sistema finale, procederemo ad esplorare il mondo dei tour e dei simulatori virtuali, concentrandoci sulle caratteristiche di software utilizzati per realizzarli, in particolare Blender e Pannellum. Procederemo poi a parlare di fotocamere digitali e fotografia a 360°, anche in questo caso introducendo software di postproduzione per la loro realizzazione.
- Il capitolo 3 sarà l'ultimo capitolo di questa tesi e si occuperà dell'implementazione vera e propria del sistema. In questa fase illustreremo gli elementi principali che porteranno alla creazione di un tour virtuale su Blender e all'inserimento di modelli in 3D su di esso. Analizzeremo inoltre i passaggi necessari alla creazione di immagini panoramiche a 360° e alla loro modifica per renderle conformi ai nostri obiettivi.

1 E-learning e Realtà Virtuale

In questo primo capitolo discuteremo l'evoluzione dei sistemi di formazione a distanza, dalla sua prima introduzione al più recente metodo E-learning. Procederemo poi ad illustrare i più recenti passi avanti fatti nel campo della Realtà Virtuale, concentrandoci in particolar modo al suo impiego fatto in campo educativo. Infine esploreremo la possibilità di realizzare un portare E-learning per gli studenti di Medicina Veterinaria che sfrutti tutte le migliori tecnologie e metodologie precedentemente descritte e sia facilmente utilizzabile dagli allievi, fornendo anche esempi di progetti simili già realizzati.

1.1 Formazione a distanza

Tra il XX e XXI secolo, il rapporto tra tecnologie della comunicazione ed educazione, cambia radicalmente, soprattutto grazie all'introduzione della formazione a distanza (FaD).

La formazione a distanza ha visto la sua evoluzione seguire strettamente quella dei mezzi comunicativi, consentendoci ad oggi di distinguerla in tre generazioni. La prima e più importante tecnologia comunicativa è sicuramente la scrittura: la parola scritta è infatti capace di estendersi oltre i limiti spazio-tempo in cui è generata. Per questo motivo la prima generazione di formazione a distanza risale intorno al 1850, con l'avvento dell'istruzione per corrispondenza.

I passi principali di questa metodologia erano:

- Invio allo studente del materiale da studiare da parte del docente;
- Autoapprendimento dei concetti;
- Autovalutazione;
- Invio al docente degli esercizi o test svolti;
- Attesa della risposta di quest'ultimo con opportuna valutazione.

Gli unici momenti in cui gli allievi potevano interagire con i docenti di persona erano nei luoghi e nei tempi prestabiliti.

Con l'avvento delle nuove tecnologie, anche la didattica della formazione a distanza ha subito un radicale cambiamento: l'insegnamento per corrispondenza ha ben presto trovato la sua evoluzione nei nuovi media, come la radio, la televisione. Si ha proprio in questo momento il passaggio alla seconda generazione di formazione a distanza. Mentre la radio limitava molto l'interazione tra allievo e docente essendo intrinsecamente unidirezionale, la televisione si dimostrò ben presto un canale di comunicazione facilmente fruibile e rivolto a una gran quantità di persone. La successiva introduzione di supporti multimediali come le videocassette hanno dato la possibilità di distribuire e riprodurre le lezioni ovunque e in qualsiasi momento. Purtroppo il concetto di interazione allievo-docente e di aula, restavano ancora molto lontani dal raggiungimento.

Con l'invenzione del personal computer si giunge finalmente alla più recente e ultima generazione di formazione a distanza. Questa si avvaleva di strumenti offline, senza l'utilizzo della rete, come floppy disk e CD-ROM, e da strumenti on-line collegati a Internet [DON12].

Tali sistemi formativi sono stati in grado di entrare a far parte delle pratiche quotidiane e influenzare i nostri modi di pensare e di interpretare la realtà. In questo capitolo illustreremo il concetto di E-learning, analizzando la diffusione di tale metodologia e soffermandoci a definirne pro e contro. Procederemo poi ad illustrare com'è possibile creare un ambiente di apprendimento interattivo ed immersivo grazie all'utilizzo delle ultime tecnologie, come la Realtà Virtuale e Aumentata, in contesto educativo.

1.2 E-learning

Il sistema che ha completamente rivoluzionato il mondo della comunicazione si è sviluppato solo negli anni Novanta del Novecento, con l'adozione del *Word Wide Web*: questo ha ufficialmente segnato il passaggio “dei *media* da tecnologie centriche e monofunzionali, che vedono il soggetto come fruitore

sostanzialmente passivo rispetto a un centro erogatore del messaggio, a tecnologie acentriche, polifunzionali e partecipative [CAL09].”

A partire da quegli anni, infatti, assistiamo a un'improvvisa proliferazione di comunità virtuali atte a comunicare e scambiare informazioni, ampliando così il sapere collettivo.

Con l'invenzione del web 2.0, l'utente può essere ancora più partecipe alla rete rispetto a prima, diventando un autore di contenuti lui stesso, attraverso *blog*, *podcast* e soprattutto *social network*.

In un panorama così in evoluzione, il fronte educativo non poteva non adeguarsi; ecco quindi che vengono adottati i primi sistemi di educazione a distanza, anche conosciuti come *E-learning* [CAL09].

1.2.1 Definizione di E-learning

Con E-learning o *Online Learning* o *Electronic Learning*, indichiamo un metodo di istruzione mediante cui gli utenti di Internet sono in grado di apprendere una disciplina attraverso dispositivi elettronici, di tipo più tradizionale quali computer e laptop, o più recentemente tramite smartphone o tablet. Quest'ultimo caso è anche conosciuto come *Mobile Learning* per la forma intrinseca dei mezzi di comunicazione attraverso cui avviene.

Possiamo anche definire E-learning qualsiasi forma di apprendimento ed insegnamento tramite supporto elettronico di carattere procedurale, mirata a realizzare la costruzione della conoscenza tramite esperienza, pratica e conoscenza dello studente [DON12]. Ciò consente ad ogni tipologia di utente di imparare in qualsiasi luogo si trovi e all'orario a lui più consono.

Tutti i sistemi di E-learning prevedono caratteristiche comuni quali:

- Utilizzo di una connessione ad Internet attraverso cui usufruire dei materiali didattici e sviluppo di attività formative basate su una piattaforma tecnologica, nota come *learning management system*, LMS;
- Impiego di dispositivi tecnologici;
- Indipendenza da vincoli di presenza fisica o orario specifico;

- Monitoraggio continuo del livello di apprendimento, anche grazie a frequenti test di valutazione e autovalutazione;
- Valorizzazione di multimedialità, intesa come interazione tra diversi media per migliorare la comprensione dei contenuti, interattività con i materiali, creando percorsi di studio personalizzati e migliorando l'apprendimento, e interazione umana, con insegnanti, tutor o altri studenti [WIK16a].

“Secondo Ruth C-Clark e Richard E-Mayer, la definizione di E-learning deve rispondere alle tre parole chiave What-How-Why, ovvero Cosa-Come-Perché [CLA11]:

- Cosa: i corsi tramite E-learning includono sia l'informazione che la metodologia per aiutare le persone ad apprendere.
- Come: i corsi E-learning sono appunto trasmessi via mezzi digitali usando parole nella forma di linguaggio parlato o scritto, e disegni come illustrazioni, foto, animazioni e video.
- Perché: le lezioni di E-learning sono intese per aiutare gli studenti a raggiungere obiettivi personali al fine di incrementare proprie capacità. Infatti con la parola studenti, non si intende solo ragazzi fino all'età universitaria, ma anche professionisti in qualsiasi ambito [MAR14].”
Infatti l'E-learning può essere utilizzato sia a scopo didattico che lavorativo, consentendo a tutti di partecipare a distanza, agendo in diversi ambiti o contesti [VIR16].

1.2.2 Pro e contro dell'E-learning

Come ogni nuova invenzione tecnologica, l'E-learning ha apportato diversi cambiamenti alla società e al modo di approcciarsi allo studio di diverse discipline. Procediamo ad elencare le principali differenze che riscontriamo tra un metodo di studio tradizionale e l'E-learning, distinguendoli tra vantaggiosi e svantaggiosi.

Partendo dai vantaggi dell'approccio online rispetto a quello faccia a faccia troviamo:

- **Accessibilità:** sicuramente uno dei maggiori vantaggi è la possibilità di accedere al contenuto pubblicato da qualsiasi luogo e a qualsiasi orario, attraverso qualsiasi dispositivo o connessione Internet. Ciò significa che, se per un qualsiasi motivo lo studente dovesse saltare una lezione, il portale darebbe la possibilità di reperire tutto il materiale visualizzato in classe e quello addizionale messo a disposizione dall'insegnante. Alcuni sistemi sono anche predisposti a effettuare *streaming live* della lezione o a registrarla e metterla a disposizione degli utenti per visualizzazioni future. Per quanto questo sia utile, potrebbe però portare a comportamenti non troppo responsabili da parte degli studenti, come saltare le lezioni o utilizzare solo il materiale sul portale, senza più l'ausilio dei libri di testo per le discipline, ma questo verrà affrontato in seguito.
- **Diversità:** la piattaforma E-learning dà la possibilità sia a studenti che a insegnanti di pubblicare contenuti di tipologia diversa, come scritti, audio, video o animazioni. Inoltre, l'insegnante potrebbe anche differenziare il materiale a seconda della classe che si trova davanti, pubblicando contenuti personalizzati solo per una categoria di studenti o con diversi livelli di difficoltà, garantendo allo studente un percorso più appropriato e mirato alle proprie esigenze.
- **Comunità:** con l'avvento dei social network, anche l'E-learning hanno cercato di adeguarsi. Ora è molto facile trovare strumenti utili per condividere informazioni tra gli iscritti o fare domande e ricevere risposte. L'inclusione di un forum all'interno del portale dà la possibilità all'insegnante di aprire discussioni a cui gli studenti possono partecipare con interventi o domande. In quest'ultimo caso, la risposta dell'insegnante resta a disposizione di chiunque, in modo da evitare che una stessa cosa venga richiesta molte volte da studenti diversi. Questo strumento può

anche essere impiegato per inviare informazioni a tutti gli iscritti relativamente a scadenze o a date di esami o corsi.

- **Valutazione:** la piattaforma accetta il caricamento di ogni tipo di download, indicando sia a studenti che a insegnanti l'avvenuto caricamento, evitando così eventuali dispute relative a consegne mancate. Questo da inoltre la possibilità di evitare consegne cartacee, diminuendo in parte il carico di lavoro dell'insegnante, in quanto molte piattaforme hanno anche degli appositi strumenti integrati, in grado di riconoscere documenti plagiati e segnalarli. Per non parlare del fattore ambientale.
- **Feedback:** capita spesso che un utente si senta a disagio a scrivere una valutazione all'interno di un'aula o in determinati contesti. È stato riscontrato che lasciare una valutazione all'interno di un portale E-learning, può essere più vantaggioso per questi individui, in quanto sono in grado di farlo protetti dall'anonimato che è garantito loro dallo schermo di un computer e temporalmente quando preferiscono. Un buon feedback è essenziale sia a studenti che insegnanti per riconoscere problemi e apportare miglioramenti.

Come abbiamo visto i vantaggi apportati da questa nuova tecnologia sono innumerevoli, sia per gli insegnanti che per gli studenti. Purtroppo però, come per ogni cosa, c'è anche un'altra faccia della medaglia da considerare. Procediamo quindi a illustrare i principali svantaggi dovuti all'E-learning:

- **Assenteismo:** come precedentemente accennato, la possibilità di trovare tutti i materiali sull'E-learning, può spesso portare gli iscritti a saltare le lezioni frontali, soprattutto se il materiale sottoposto agli studenti in classe è lo stesso che si trova sulla piattaforma. Sarebbe quindi conveniente utilizzare il portale web solo per caricare contenuti addizionali, in modo da incuriosire ulteriormente gli studenti in aula e invogliare gli assenteisti a seguire le lezioni.
- **Qualità dei materiali:** è compito dell'insegnante quello di controllare accuratamente ogni materiale caricato sul portale, assicurandosi che questi

siano sempre reperibili. È inoltre buona prassi utilizzare stili visivi ben strutturati, in modo da facilitare il compito dello studente nella memorizzazione dei contenuti a lui sottoposti.

- **Quantità dei materiali:** i docenti che utilizzano E-learning si possono attualmente suddividere in due categorie: chi fornisce troppi materiali e chi ne fornisce troppo pochi. Nel primo caso, lo studente può facilmente sentirsi sopraffatto dall'abbondante quantità di documenti, perdendo in fretta interesse nella disciplina. Allo stesso modo, anche una mancanza di sufficiente materiale, può far sì che l'utente si distraiga.
- **Controllo dell'identità:** uno dei problemi più gravi delle piattaforme online è la difficoltà di asserire che un dato compito o test sia realmente eseguito dal proprietario del profilo. Per questo motivo, i certificati rilasciati da molti corsi tenuti online non sono ufficialmente riconosciuti. L'unico modo di evitare questo problema potrebbe essere l'installazione di un sistema di videosorveglianza attivabile nel momento in cui l'utente svolge un test, per accertare che questi sia davvero chi dice di essere e sia da solo nella stanza.
- **Allontanamento dalla vita sociale:** come disse Aristotele: “L'uomo è un animale sociale”. È nella nostra natura il bisogno di dare o chiedere aiuto, instaurando un rapporto personale con gli altri. Il solo utilizzo di un portale online, rischia di rimuovere ogni aspetto umano dalle conversazioni, portando le persone a interagire strettamente a fini professionali. Questo potrebbe alla lunga causare un isolamento da qualsiasi contesto sociale e comunitario [DUL16].

1.2.3 Diffusione dell'E-learning in Italia

A partire dai primi anni 2000, anche l'Italia ha visto un crescente interesse per questa nuova forma di comunicazione all'interno del suo territorio.

Nel 2002 il Ministero per l'Innovazione e le Tecnologie ha proposto un decreto per favorire l'utilizzo di *software open source* all'interno della Pubblica

Amministrazione. Resta tuttora molto incerto se la nascita di tale decreto sia da attribuirsi al riconoscimento della superiorità di tale tipologia di software o dalla volontà di distaccarsi dal dominio di Microsoft sul territorio [POL02].

Nel 2003 il Ministero della Salute ha accreditato i *providers* per la formazione a distanza.

Sempre nel 2003 viene varata la legge Moratti-Stanca, il decreto sulle università telematiche, che da subito suscita polemiche: tra le critiche troviamo la preoccupazione per la proliferazione di pseudoatenei, i limiti che Internet pone alla qualità della didattica e la separazione di insegnamento e ricerca.

Nel 2004 viene approvata la legge Stanca, per garantire l'accesso a persone con disabilità ad ogni sito della pubblica amministrazione, favorendo il diritto all'accessibilità universale. Tale legge definisce i requisiti che un sito web deve rispettare per essere accessibile a tutti.

Meritano menzione le tante associazioni e movimenti che, per tutto questo periodo, hanno lavorato parallelamente alle istituzioni tradizionali per dettare linee guida o promuovere determinate iniziative tecnologiche [CAL09].

1.3 La Realtà Virtuale

Con Realtà Virtuale o *Virtual Reality* o VR indichiamo qualsiasi tipo di simulazione creata attraverso l'uso di un computer, utilizzata sia per videogiochi che per veri e propri simulatori, utili nei più svariati ambienti e discipline [WIK16b].

1.3.1 Storia della Realtà Virtuale

Se per definire la Realtà Virtuale, ci basiamo sul solo concetto di creare l'illusione di trovarsi in un luogo in cui invece non siamo, allora possiamo pensare ai dipinti panoramici del diciannovesimo secolo come a un primo tentativo di Realtà Virtuale. Tali dipinti erano infatti studiati appositamente con lo scopo di riempire il campo visivo dello spettatore, trasportandolo in prima persona all'interno dell'evento ritratto.

Per quanto riguarda l'approdo delle tecnologie in uso ancora oggi, invece, dobbiamo aspettare almeno il 1838 con l'invenzione dello stereoscopio. Studiando il cervello umano, Charles Wheatstone dimostrò che questo processa le immagini in modo differente attraverso ogni occhio: visualizzando due immagini stereoscopiche poste una a fianco all'altra, si poteva percepire un senso di immersione e profondità. Questo principio è ancora utilizzato oggi nei visori di categoria più bassa come i *Google Cardboard* per dare all'utilizzatore l'impressione di visualizzare una scena in tre dimensioni.

Nel 1929 Edward Link inventò il primo simulatore di volo, largamente impiegato durante la Seconda Guerra Mondiale nelle prime fasi dell'addestramento delle nuove reclute per limitare i possibili rischi e far prendere loro confidenza con il mezzo.

Tra le invenzioni più particolari c'è sicuramente il Sensorama, realizzato da Morton Heilig nel 1950. Potremmo definirla una cabina sensoriale, in quanto si prefiggeva di stimolare tutti i cinque sensi, con appositi sensori posti sulla sua superficie e al suo interno, durante la visione di un film. Assieme all'invenzione del macchinario, Heilig realizzò anche cinque cortometraggi con annessi tutti gli effetti che la cabina poteva produrre come immagini in 3D, suoni, vento, odori e movimento della seduta.

Dieci anni dopo, Heilig inventò il primo visore da indossare sulla testa per la visione non interattiva di film: la *Telesphere Mask*. Questo primo modello non poteva ancora rilevare il movimento del capo, ma forniva immagini stereoscopiche e suoni.

Circa un anno dopo, nel 1961, due ingegneri della Philco Corporation realizzarono il primo visore con rilevamento del movimento magnetico: l'*Headsight*. Questo tipo di visore gettò nuove basi ai moderni sistemi VR, ma non aveva una vera e propria integrazione con un computer per la generazione di immagini. Questo infatti era stato studiato e realizzato in ambito militare per la visualizzazione in remoto attraverso una telecamera e non per collegarsi a un computer e generare Realtà Virtuale.

Nel 1987 Jaron Lanier coniò finalmente il termine “Virtual Reality” per racchiudere tutti gli esperimenti e prototipi realizzati all’interno di quest’ambito. Inoltre, all’interno della sua compagnia, realizzò diversi dispositivi per la Realtà Virtuale compresi i guanti *Dataglove* e il visore *EyePhone*.

Agli inizi degli anni Novanta vediamo diffondersi i primi dispositivi a Realtà Virtuale disponibili al pubblico: questi sono per lo più macchine per sale giochi con un visore per la produzione di immagini stereoscopiche immersive. Alcune macchine erano anche in grado di connettersi insieme, garantendo un’esperienza multi giocatore [VRS16].

1.3.2 La Realtà Virtuale oggi

Dai primi anni Duemila ad oggi, il mondo della Realtà Virtuale ha attraversato incredibili e rapidissimi cambiamenti: si tratta di un settore talmente in evoluzione, che sempre più campi si interessano al suo utilizzo. Ad oggi la Realtà Virtuale viene utilizzata soprattutto nei *videogame*, dando la possibilità al giocatore di sperimentare una modalità di gioco mai vista e, per la prima volta, consentendogli di orientarsi all’interno del campo di gioco così come farebbe nella vita reale, cambiando inquadratura semplicemente ruotando il capo.

Questa non è l’unica applicazione per la Realtà Virtuale: l’invenzione di apposite telecamere sta cambiando il modo di riprendere film e video o scattare fotografie, consentendo all’utente un approccio molto più immersivo e a 360°; un altro campo in cui è molto utilizzata, è sicuramente quello architettonico e delle vendite di immobili dove, con l’ausilio dei nuovi dispositivi VR, si può dare la possibilità ad architetti e *designer* di vedere una simulazione di come un edificio o una stanza saranno una volta realizzati.

Merita sicuramente più che una menzione il fronte educativo in cui, grazie alla Realtà Virtuale, è possibile effettuare vere e proprie simulazioni o esplorare le regioni più remote del mondo reale in un contesto virtuale [CNE16].

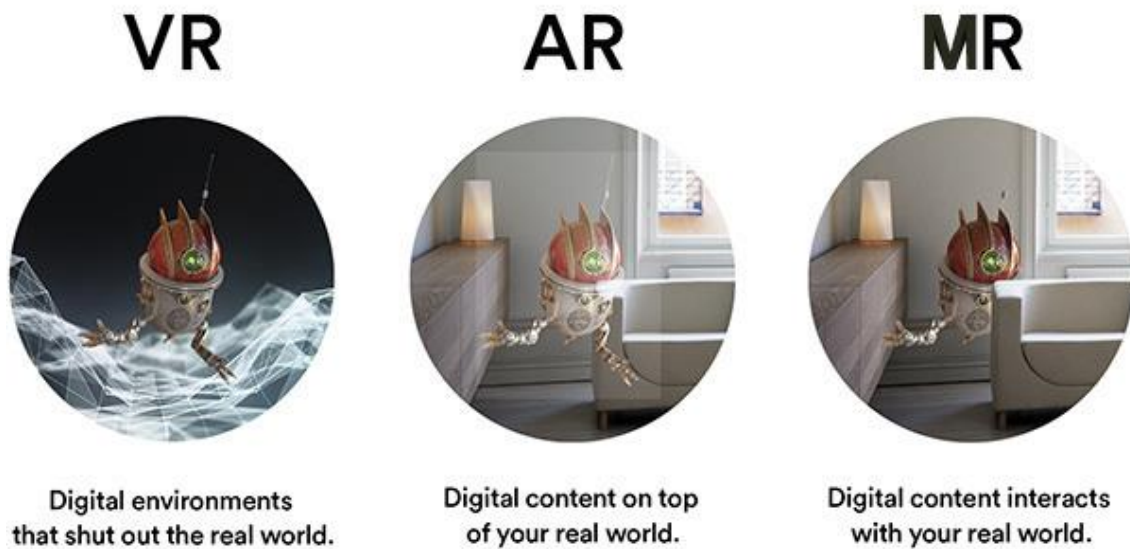


Figura 1.1: differenza percepita dall'utente tra Realtà Virtuale, Realtà Aumentata e Realtà Mista [EAS16].

1.3.3 VR vs AR vs MR

Realtà Virtuale (VR), Realtà Aumentata (AR), Realtà Mista (MR); questi tre termini sono spesso utilizzati intercambiabilmente, ma non si tratta della stessa cosa: mentre abbiamo già analizzato la Realtà Virtuale, vediamo di fare un po' di chiarezza sugli altri due concetti (Figura 1.1).

1.3.4 Augmented Reality

Sempre più spesso ci troviamo davanti ad applicazioni che si basano non più su Realtà Virtuale, ma su Realtà Aumentata (*Augmented Reality* o AR in inglese), anche conosciuta come *blended reality*.

Si tratta di sistemi di grafica interattiva che, attraverso l'uso di appositi *markers*, permettono di fare interagire elementi reali ed elementi virtuali: tramite una webcam le applicazioni basate su Realtà Aumentata sono in grado di riconoscere il marker e visualizzarvi sopra informazioni o elementi digitali [LUI16a].

Esistono anche soluzioni senza l'utilizzo di marker veri e propri, per esempio applicazioni che riconoscono i connotati del volto e vi sovrappongono *texture* o altri elementi digitali. In questa categoria merita sicuramente una menzione la sempre più famosa applicazione per smartphone Snapchat che dà la possibilità di

aggiungere determinati filtri alle proprie foto nel momento stesso in cui vengono scattate.

Un'altra applicazione basata su Realtà Aumentata che ha fatto molto scalpore negli ultimi tempi è PokémonGo, che ha un'apposita opzione per dare ai giocatori la possibilità di attivare la fotocamera del proprio dispositivo mobile e visualizzare e catturare i Pokémon nello spazio circostante.

Per via del suo potenziale innato, la Realtà Aumentata è sempre più apprezzata in campo pubblicitario ed educativo. Nel primo caso sono sempre più note le pensiline dei tram riadattate per la Realtà Aumentata: il passante ignaro si trova a guardare ciò che sta realmente accadendo attraverso il vetro, per poi essere sorpreso da un elemento virtuale che inizia a interagire con ciò che è sullo sfondo. Campagne di questo genere sono state intraprese da diverse aziende tra cui Pepsi [LUI16b], Renault [YOU16a] o ABC Family [YOU16b].

Sul fronte della formazione, invece, la Realtà Aumentata può essere utile per visualizzare informazioni aggiuntive su monumenti storici o su dispositivi elettronici e meccanici come motori o circuiti elettrici. Purtroppo è un campo ancora ampiamente ignorato, ma merita sicuramente di essere preso in considerazione più seriamente e implementato capillarmente nei prossimi anni.

È stato riscontrato che l'uso della Realtà Aumentata nell'insegnamento di discipline scientifiche può beneficiare molto gli studenti, aiutandoli ad acquisire maggior manualità con le tecniche spiegate durante le lezioni o a coinvolgerli di più nello studio della disciplina [CRA16].

1.3.5 Mixed Reality

La Realtà Mista o *Mixed Reality* o MR è sicuramente l'ultima arrivata e la meno nota delle tre.

Si occupa di combinare i migliori aspetti della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata, in modo da essere il più commercializzabile possibile.

Funziona ancorando gli oggetti virtuali a punti fissi dello spazio reale, in modo tale che ad ogni movimento dell'utente, l'oggetto digitale si muova appropriatamente [JOH16].

Tale oggetto virtuale è anche manipolabile dall'utente, che può spostarlo o modificarlo a suo piacimento, come non era precedentemente possibile con la Realtà Aumentata.

1.3.6 I visori

Così come per il concetto teorico, anche per quanto riguarda i dispositivi hardware, troviamo delle differenze tra le tre tipologie.

Tra i dispositivi più utilizzati nel contesto della Realtà Virtuale, dobbiamo sicuramente nominare quelli prodotti da Oculus (Rift e Gear VR) e i Google Cardboard. Sono tutti visori studiati per trasportare l'utilizzatore interamente nel mondo virtuale, con la vista e l'udito, non consentendo a luce o stimoli esterni di penetrare. Per via del fatto che non è possibile vedere fisicamente le proprie mani, sono stati studiati appositi controller, per sostituire i classici mouse o tastiere, in modo da essere i più intuitivi possibili e consentire all'utente di interagire con il mondo virtuale [JOH16].

Per quanto riguarda la Realtà Aumentata, invece, utilizziamo l'ausilio di appositi occhiali, come i Moverio di Epson o gli ormai sorpassati e dimenticati Google Glass. Tali occhiali differiscono dai visori per Realtà Virtuale in quanto consentono di vedere il mondo reale a cui viene sovrapposto uno strato digitale.

Tra i progetti di Mixed Reality più importanti attualmente sul mercato c'è Microsoft con gli HoloLens: il visore è appositamente studiato per far sì che l'utilizzatore interagisca in tre modi diversi con lo spazio digitale: ruotando la testa, la rappresentazione digitale si regola allo stesso modo, tramite input vocali si potrà richiedere direttamente a Cortana (l'assistente digitale di Microsoft) ciò che vogliamo e infine tramite i gesti potremo manipolare quello che visualizziamo [MIC16].

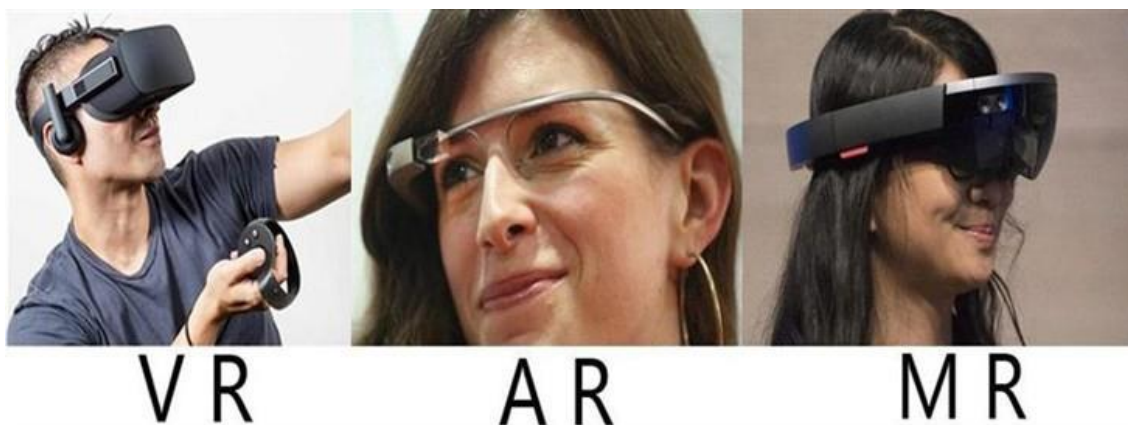


Figura 1.2: Oculus Rift (visore VR), Google Glass (visore AR) e Microsoft Hololens (visore MR) [GOO16].

1.4 Realtà Virtuale e Aumentata in campo educativo

La Realtà Virtuale può velocemente trasformare il classico apprendimento passivo di una disciplina, in una esperienza attiva e immersiva per lo studente.

L'adozione di tali nuovi meccanismi sarà molto utile per porre l'allievo di fronte a compiti rischiosi, ma per cui è richiesta una padronanza pratica, non che teorica. Per tali sessioni, l'individuo può essere equipaggiato nel migliore dei modi per il compito prefissato, permettendo di sperimentare anche le operazioni che potrebbero essere più rare e pericolose nella vita reale.

Tra i settori dell'educazione in cui la Realtà Virtuale e quella Aumentata stanno avendo più successo, c'è sicuramente quello medico, in cui simulazioni e modelli sono ormai all'ordine del giorno [LEA16].

L'Università del Maryland sta sviluppando dispositivi rivoluzionari tramite cui i futuri medici possono utilizzare tecnologie a Realtà Aumentata per vedere attraverso il corpo del paziente prima di iniziare un'operazione oppure svolgere operazioni in simulazioni virtuali.

Anche la scuola per infermiere della Boise State University svolge esercitazioni virtuali per insegnare le procedure più invasive.

In Inghilterra alla Kingston University e alla University of London si utilizza un teatro virtuale in cui gli studenti possono far finta di fare visite o prescrivere trattamenti, simulando la realtà ospedaliera con tutte le complicazioni del caso,

come incidenti o situazioni caotiche. Questo può essere utile agli studenti per motivarli e aumentare la loro autostima [NMC16].

Anche in altri campi scientifici, come ad esempio fisica o chimica, questo genere di simulazioni si sta sviluppando sempre più, con ottimi risultati.

Uno degli aspetti della Realtà Virtuale che sta più spopolando in questo momento, è la creazione di tour virtuali. Questi sono costituiti da immagini a 360°, capaci di rendere tutto molto più immersivo per chi li visualizza, soprattutto tramite un appropriato visore, collegate tra loro e accompagnate da descrizioni dettagliate su specifici aspetti mostrati e di interesse [TRE16].

La Realtà Virtuale ci dà anche la possibilità di visualizzare e modellare un oggetto nella maniera che preferiamo: la facoltà di ingegneria della Pennsylvania State University è stata tra i primi ad utilizzare un visore Oculus Rift e i propri guanti come controller, con i suoi studenti. Si è notato che questi ultimi erano molto più veloci ad assemblare un oggetto con questo sistema, rispetto ai colleghi che utilizzavano un classico approccio di mouse, tastiere e schermo di un computer.

Dispositivi come Oculus Rift potranno anche aiutare gli allievi a collaborare a livello globale, sincronizzando i propri dispositivi e permettendo di partecipare coerentemente e concorrentemente alla costruzione di uno stesso progetto.

1.5 L'apprendimento della medicina veterinaria oggi

Consultando la maggior parte dei piani di studi italiani per l'insegnamento della medicina veterinaria, salta subito all'occhio la preferenza per un approccio di tipo più classico, fatto principalmente di lezioni frontali, piuttosto che qualcosa di più pratico, che prediliga l'interazione dello studente con l'animale fin dai primi anni.

Parlando più specificamente dell'Università di Bologna, lo stesso sito del corso di laurea in Medicina Veterinaria con sede a Ozzano dell'Emilia, ci dà un riscontro concorde a questa affermazione: consultando il piano didattico e le specifiche dei vari corsi, è facile vedere che la pratica sul campo è davvero

minima e gli studenti non hanno spesso la possibilità di impiegare le tecniche studiate per più di una volta all'interno del corso [ALM16a] [ALM16b].

Prendendo contatti con diversi studenti del corso di laurea, di anni didattici differenti, è subito stato chiaro che la richiesta per più ore di pratica è lampante: gli alunni trovano che le uniche lezioni frontali non siano sufficienti a memorizzare adeguatamente alcune tecniche o anche a comprenderle appieno.

È stato chiaro fin da subito che la stalla dell'università non viene visitata tante volte quanto servirebbe: mi è stato risposto che solo alcuni insegnanti la utilizzano per visite durante le lezioni e al massimo un paio di volte all'anno. L'unico modo per visitarla più spesso è facendovi tirocinio.

Alla mia domanda se sarebbe stato apprezzabile avere uno spazio virtuale su cui esercitarsi, la gran parte ha risposto che sarebbe qualcosa di molto utile per rivedere le manovre viste a lezione e quindi ripassarle. Alcuni hanno addirittura fatto notare che una soluzione di questo genere potrebbe anche comportare la presa di confidenza di uno studente alle prime armi e un minore stress per l'animale.

Fermo restante che la Realtà Virtuale non possa e non debba mai sostituire le visite e i laboratori pratici sugli animali, potrebbe comunque essere una buona idea per aiutare i futuri medici nelle prime fasi del loro percorso scolastico.

Una soluzione di questo genere garantirebbe ai ragazzi di fare "pratica" fin dal primo anno, senza dover però interagire realmente con un animale. Se il modello virtuale sarà fatto adeguatamente, questo potrebbe poi aiutare i ragazzi quando dovranno svolgere determinate manovre nella vita reale negli anni seguenti.

Un altro punto su cui in molti si sono trovati ad aver qualcosa da ridire è l'attività chirurgica, che al momento viene effettuata solo nel quinto anno di corso: un approccio di tipo simulatorio potrebbe, anche in questo caso, aiutare insegnanti e studenti a fare dimostrazioni di operazioni o a svolgerne liberamente, prima di effettuarle su animali reali.

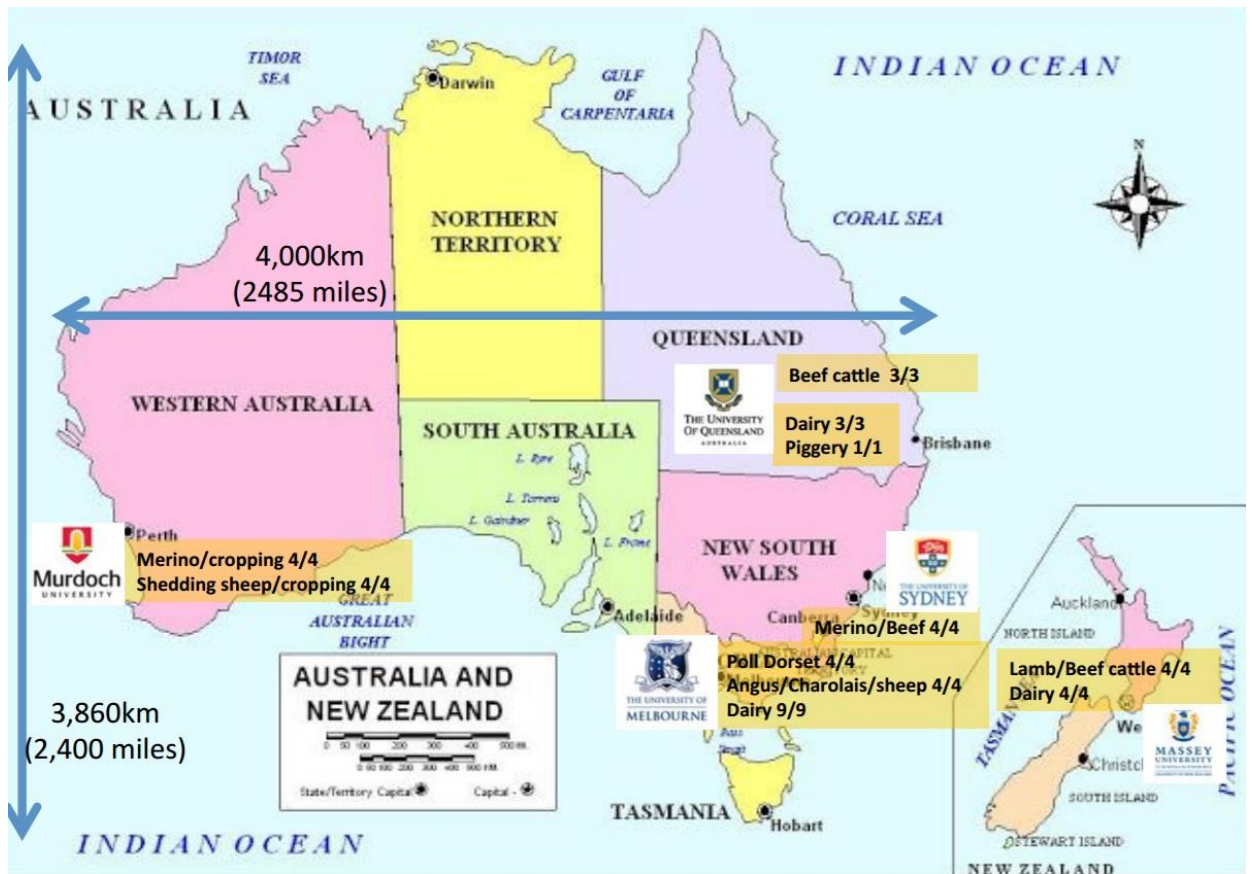


Figura 1.3: siti partecipanti al progetto australiano [BAR15].

1.6 Progetti già sviluppati

Nel 2015 le università di Melbourne, Sydney, Queensland, Massey e Murdoch svilupparono un progetto di fattoria virtuale in 4D che integrava cinque proprietà tra Australia e Nuova Zelanda (Figura 1.3).

Questo progetto prevedeva la mappatura tramite 25 immagini a 360° e coordinate GPS di ogni fattoria, in modo che gli stessi posti potessero essere visitati nel corso delle quattro stagioni, per avere foto degli stessi punti con climi differenti e mostrare all'utente informazioni il più probabili possibile, integrando differenti rappresentazioni temporali.

Si è poi sviluppato un apposito portale web che desse la possibilità a tutti di accedere ad ogni fattoria, spostandosi tra i vari punti.



Figura 1.4: interfaccia del portale del progetto australiano [BAR15].

Com'è ben visualizzabile in Figura 1.4, l'interfaccia utente del portale australiano si divide in diversi settori:

- Una bussola in alto a destra, per mantenere visualizzato l'orientamento dell'immagine;
- Delle frecce animate sovrapposte all'immagine panoramica, utilizzate per muoversi tra una foto e la successiva;
- Una mappa in alto a sinistra, utile per riconoscere la localizzazione dei punti fotografati all'interno dello spazio topografico, aiutando ancora una volta lo spettatore ad orientarsi meglio;
- Una sezione in basso, sovrapposta all'immagine panoramica, contenente l'anteprima di tutti i punti relativi a una determinata fattoria, in modo tale che un utente sia in grado di saltare da uno all'altro a proprio piacimento, senza doverli obbligatoriamente scorrere uno di seguito all'altro;
- Una sezione in basso contenente un grafico relativo a diversi attributi personalizzabili, come temperature medie o precipitazioni.
- Un pannello di navigazione tra le due sezioni in basso, utilizzato per orientarsi all'interno dell'immagine panoramica, ruotandola a destra o sinistra o zoomando.

È inoltre possibile visualizzare ogni punto durante le diverse stagioni, essendo questi geolocalizzati, in modo da apprezzare appieno i cambiamenti della campagna e nel modo di allevare il bestiame (Figura 1.5).

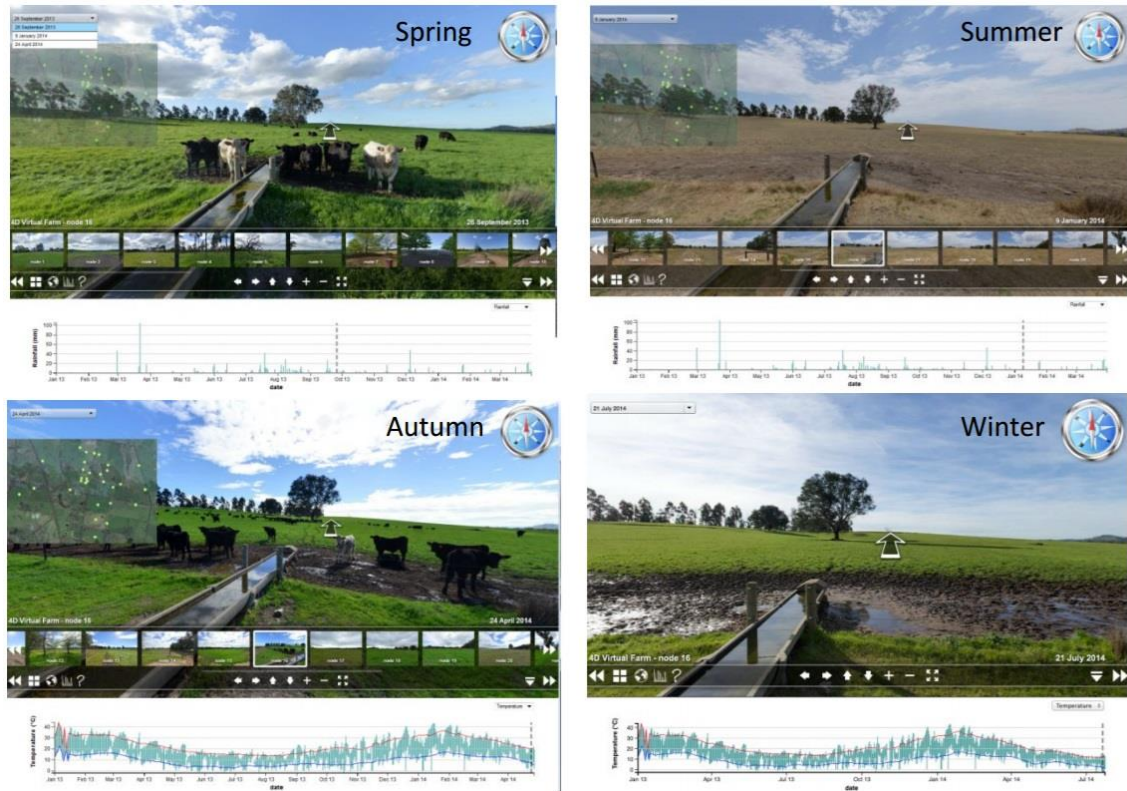


Figura 1.5: visualizzazione dello stesso punto nelle quattro stagioni sul progetto australiano [BAR15].

Tale progetto è stato pensato per aiutare i docenti a mostrare agli studenti realtà diverse, in quanto si era riscontrato che gran parte dei nuovi iscritti arrivavano da contesti urbani e non conoscevano molto del mondo rurale che li circondava.

Inoltre, al termine del corso di studi, gli studenti dovevano essere in grado di analizzare contesti rurali differenti, ma svolgere visite didattiche in così tanti ambienti non era sempre possibile, per motivi di tempo o denaro, ma soprattutto per via della tipica connotazione geografica australiana, in cui gli appezzamenti possono essere incredibilmente vasti e molto distanti tra loro.

All'interno di ogni immagine era inoltre possibile aggiungere collegamenti ad altre fonti come video, descrizioni o *file*, oltre a poter aggiungere contenuti più tipici dell'E-learning come domande a scelta multipla o quiz [BAR15] [YOU16c].

2 Design

2.1 Analisi dei requisiti

Questa tesi progettuale nasce sulla base di un progetto accademico per la realizzazione di un ambiente E-learning virtuale ed interattivo. Tale progetto è stato sviluppato con la collaborazione di docenti della facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università di Bologna, in modo da realizzare un simulatore integrato all'interno del software, che possa essere da loro utilizzato a supporto della didattica, oltre a integrarvi i classici elementi dell'E-learning quali quiz o test di autovalutazione.

Tale simulatore dovrebbe prevedere due scenari differenti:

- il laboratorio: il primo scenario disponibile. Si tratta di un'area, simile a una sala operatoria, in cui gli studenti possano effettuare operazioni, in modo da garantire loro di fare pratica anche senza l'utilizzo di un animale reale. Questo strumento può chiaramente aumentare l'efficienza dell'insegnamento, accompagnandola in ogni suo passo alla pratica costante, e diminuire lo stress per i pazienti, sostituendoli nella maggior parte dei casi dai loro corrispettivi virtuali. Un procedimento di questo tipo può sviluppare la memoria fotografica degli studenti, consentendo spesso di ricordare e imparare con maggiore velocità e facilità le tecniche insegnate a lezione.
- la stalla: è il secondo scenario. In tale ambiente virtuale gli studenti devono essere in grado di effettuare un tour virtuale per la stalla accademica o, in futuro, per diverse fattorie, interagendo con gli animali circostanti. Il principale scopo di tale ambiente è quello di aiutare gli studenti provenienti da contesti urbani a familiarizzare con scenari più rurali. Inoltre, tale scenario sarebbe anche utile per simulare manovre effettuabili in contesti critici o situazioni di pericolo, come il controllo di

malattie e infezioni. Questi tipici elementi di *gamification* possono essere inseriti all'interno del software per aiutare gli studenti ad affrontare situazioni possibili, ma non molto probabili, in modo da prepararli adeguatamente ad affrontare qualsiasi cosa possa accadere durante il percorso scolastico o, più probabilmente, una volta terminati gli studi. Quello che per lo studente può apparentemente sembrare un gioco in fase di apprendimento, potrebbe un giorno essergli molto utile nella vita reale, se si trovasse davvero a dover affrontare certe situazioni di pericolo per lui e per la popolazione.

Sulla base di dato progetto, si pone questa tesi, soffermandosi in particolar modo sull'ultimo aspetto enunciato.

Per verificare la fattibilità del progetto, si è realizzato un tour virtuale della stalla della Facoltà di Medicina Veterinaria di Bologna con sede a Ozzano dell'Emilia, all'interno del quale sia possibile, oltre che visitare la struttura, interagire con modelli virtuali degli animali.

Inoltre, il progetto prevede di montare tali modelli, sulle sempre più famose immagini a 360° scattate nella realtà.

Il nostro progetto si porrà quindi un passo avanti rispetto alla controparte australiana illustrata precedentemente in quanto, oltre alla realizzazione di un tour simile al loro, verranno aggiunti i modelli 3D degli animali.

Inoltre, il simulatore dovrà essere accessibile online attraverso un classico *browser*, senza costringere l'utilizzatore a installare software o plug-in aggiuntivi. Per questo dovremo trovare un software che ci garantisca una esportazione coerente con gli obiettivi del progetto e il più possibile efficiente.

2.2 Tour Virtuali

Quando parliamo di tour virtuali, ci riferiamo a simulazioni di luoghi esistenti effettuata tramite composizione di video o immagini rappresentative. Possono anche contenere altri elementi multimediali, quali suoni, musiche, testi o narrazioni [WIK16c].

Questo genere di nuove applicazioni, vede la loro nascita a partire dagli anni Novanta del Novecento. Inizialmente basate sui classici tour reali, in cui l'interessato visitava la struttura a piedi, si sono presto evolute in soluzioni tecnicamente molto più avanzate: la possibilità di navigare attraverso immagini delle diverse strutture e la facoltà di aggiungere una voce narrante, hanno dato a questi tour la classica connotazione di una visita museale [CAM16].

Oggi, la maggior parte dei tour virtuali prodotti, sono principalmente utilizzati in tre ambiti: turistico, immobiliare ed educativo.

2.2.1 Turismo Virtuale

Il turismo virtuale è un concetto relativamente recente, sviluppatosi soprattutto negli ultimi anni grazie all'avvento sul mercato di fotocamere a 360° a basso costo.

Per quanto sembri una bellissima idea consentire a chiunque di visitare posti dalla parte opposta del pianeta, restando comodamente seduti sulla propria poltrona a casa, i pareri sono alquanto discordanti e gli scettici all'ordine del giorno.

Da un lato si sostiene che il turismo virtuale sia utile a coinvolgere maggiormente e a invogliare lo spettatore a visitare un determinato luogo nella realtà, mentre dall'altro ci si chiede se la visione di tour virtuali non porti invece il turista a eliminare un luogo da viaggi futuri una volta visitato virtualmente.

A favore del turismo virtuale si pongono le testimonianze di diversi rappresentanti di aziende operanti nel campo, come Abi Mandelbaum, CEO di YouVisit, o Joost Schreve, fondatore di kimkim. Questi assicurano di aver visto crescere positivamente i profitti del turismo nella vita reale in seguito all'adozione di soluzioni virtuali da parte delle proprie aziende. Essi infatti affermano che l'adozione della Realtà Virtuale possa dare al turista la possibilità di decidere se valga la pena visitare o meno un luogo prima della partenza, consentendogli di decidere in precedenza cosa pensa sarebbe meglio inserire nel proprio itinerario di viaggio e cosa crede faccia più per lui [MAS16].

Tra gli scettici, invece, troviamo chi crede che un tour virtuale possa sostituire l'esperienza reale e venga utilizzato in alternativa al viaggio vero e proprio. Questi individui credono che fornire a chiunque gli strumenti per effettuare visite virtuali a determinati siti, non faccia altro che scoraggiarli ad acquistare o programmare un viaggio in quei posti [TEC16].

Purtroppo o per fortuna, con il crescente sviluppo della Realtà Virtuale, questo scetticismo iniziale sta un po' diminuendo e anzi, inizia a delinearsi una nuova categoria di individui che cercano nuovi modi per trarre profitto dal turismo virtuale. Mentre al momento, questo non è possibile o scarsamente effettuabile per via della grande abbondanza di materiale gratuito disponibile online, nei prossimi anni sarà sicuramente un settore in espansione e un campo che subirà una forte crescita [EYE16].

2.2.2 Settore immobiliare

Come ogni buona idea o novità tecnologica, si è ben presto cercato di trarne il maggiore profitto possibile, non solo in termini economici, ma anche in termini di risparmio di tempo e velocizzazione delle transazioni, secondo il luogo comune per cui "il tempo è denaro".

In particolar modo si è presto compreso che il concetto di tour virtuale poteva essere sfruttato per facilitare il lavoro degli agenti immobiliari, mettendo a loro disposizione strumenti basati su Realtà Virtuale e Aumentata, potenzialmente in grado di aiutarli a concludere una vendita.

In poco tempo si è passati da un semplice *slideshow* su una pagina web, alla possibilità di inviare al cliente un tour immersivo dell'immobile. Questi tour potevano essere visualizzati su Internet, o attraverso appositi plug-in, in modo che il potenziale compratore avesse qualcosa di meglio su cui basarsi delle semplici fotografie.

In alternativa i tour erano anche utilizzabili all'interno della visita dell'abitazione vera e propria, come supporto all'agente immobiliare in loco, consentendo di visualizzare subito i vari ambienti della casa, utile soprattutto per immobili di

grandi dimensioni, o aiutando il possibile compratore a immaginare come sarebbe stata la casa una volta arredata, grazie ad appositi rendering virtuali eseguiti da esperti architetti o 3D artist e montati nel tour.

2.2.3 Educazione

Il settore educativo è sicuramente uno dei principali beneficiari della creazione di tour virtuali. Questa apparentemente semplice invenzione, può dare la possibilità a chiunque di trovarsi in qualsiasi luogo e in qualsiasi epoca. Ammettiamolo: è molto più interessante vedere con i propri occhi come vivevano i romani piuttosto che leggerne solamente nei libri di storia [OPE09].

Sempre più musei e monumenti danno la possibilità di svolgere tour virtuali, consentendo anche allo spettatore a casa di visitare la struttura.

Inoltre molti siti sono fisicamente inaccessibili ai non addetti, quindi un tour virtuale è spesso l'unico modo per mostrarli al mondo intero, senza rischi per la struttura o per lo spettatore.

È anche possibile che alcuni luoghi, un tempo di grande importanza storica, oggi siano privati e quindi inaccessibili al pubblico o caduti in rovina. Strumenti basati su Realtà Virtuale sono in grado di venirci incontro, ricostruendo come sarebbero stati determinati luoghi o andando a prendere quelli ancora in piedi e ricostruendone gli interni come sarebbero stati un tempo, per poi racchiudere il tutto in fantastici tour della proprietà. Tra le aziende che si occupano, tra le altre cose, di questo genere di progetti, troviamo il Cineca di Bologna. In particolare, sul fronte educativo, il Laboratorio ha di recente concluso dei progetti di ricostruzione di ambienti storicamente accurati, come ad esempio lo Studiolo di Isabella d'Este [VIS16]. In particolar modo il progetto prevedeva la ricostruzione dell'arredamento originale dello studio, così come doveva essere ai tempi della proprietaria. Isabella d'Este era una grande collezionista d'arte e nel corso della sua vita riuscì a recuperare tantissime opere che esponeva all'interno dei suoi appartamenti personali. Purtroppo oggi tutte quelle opere sono disperse nei maggiori musei del mondo. Per questo motivo i ragazzi del Cineca hanno

collaborato con l'Università della California, Santa Cruz, per riportare virtualmente le opere all'interno dello studio e mostrare come sarebbe stato in quel tempo.

2.3 Simulatori virtuali

Una simulazione è una rappresentazione virtuale di una condizione, evento o situazione reale, usata per visualizzare tali dinamiche o per prevedere effetti futuri, determinati dalle condizioni iniziali.

I simulatori virtuali si distinguono principalmente in due tipi:

- Dimostrativi, che si occupano semplicemente di rappresentare graficamente la condizione imposta in partenza;
- Interattivi, in cui lo spettatore può continuare a modificare i fattori di partenza anche durante la fase di simulazione [BEL86].

I primi simulatori erano costituiti da macchinari veri e propri, come il *Link trainer*, il primo simulatore di volo utilizzato durante la Seconda Guerra Mondiale per istruire i cadetti in un ambiente il più sicuro possibile.

Per quanto riguarda simulatori dotati di Realtà Virtuale e basati su software piuttosto che su hardware, dobbiamo aspettare la fine degli anni Ottanta.

Intorno alla metà degli anni Novanta, l'industria del *gaming* sorpassò quella militare nel predominio sui simulatori, anche grazie all'incredibile avanzamento nello sviluppo di grafica ad alta risoluzione [JOU16].

Oggi la Realtà Virtuale sta prendendo piede nei più disparati settori e vede uno sviluppo senza precedenti.

2.4 Problematiche da affrontare

Posta nei termini esposti precedentemente, il passaggio dal software australiano al nostro sembra banale, ma purtroppo non è così: infatti, visto che l'utilizzo di immagini o video a 360° da parte dell'utente comune, è una cosa relativamente nuova e rivoluzionaria, non esistono software in grado di fare automaticamente questa integrazione tra "reale" (le foto) e virtuale. La maggior parte dei software

disponibili ci impongono di realizzare tutto virtualmente, simulando ogni aspetto dell'ambiente; gli unici software che prevedono l'utilizzo di immagini a 360°, servono a creare tour virtuali in cui gli unici elementi interattivi che è possibile aggiungere sono link alle immagini seguenti o informazioni in determinati punti che si aprono a tendina.

La seconda questione da considerare è la necessità che la simulazione sia accessibile via Internet, in modo da non limitare l'utente all'utilizzo dell'unico computer, ma lasciandolo libero di utilizzare qualsiasi dispositivo in grado di navigare con un browser.

Dopo diverse ricerche le nostre opzioni si sono ridotte a due software che sarebbero potuti essere in grado di rispondere alle nostre esigenze: Pannellum e Blender.

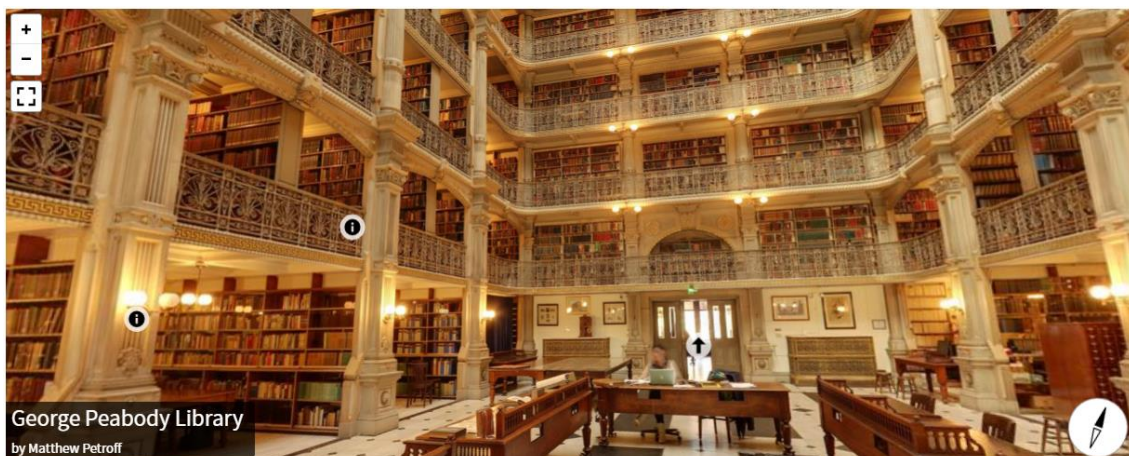


Figura 2.1: Tour virtuale realizzato con Pannellum. Sono facilmente riconoscibili gli hotspots rappresentanti informazioni aggiuntive (i) e la freccia direzionale circa al centro dell'immagine [PAN16].

2.5 Pannellum

Pannellum è un software leggerissimo, opensource e gratuito per la visualizzazione di immagini panoramiche sviluppato da Matthew Petroff (Figura 2.1). È costruito usando HTML, CSS, Javascript e WebGL e non necessita di alcun plug-in per essere utilizzato, basta incorporare il codice all'interno di un `<iframe>` o utilizzare le apposite API.

Da la possibilità di inserire hot-spots all'interno delle immagini, per integrare informazioni aggiuntive sulle stesse, e di navigare tra loro con un'interfaccia molto intuitiva, connettendole in veri e propri tour virtuali. È inoltre in grado di supportare l'inserimento di video a 360°. Funziona senza problemi sulla maggior parte dei browser recenti che supportano WebGL, tranne Internet Explorer 10 e precedenti.

Essendo opensource è completamente personalizzabile in tutti i suoi componenti: ciò significa che sfondi, icone e dimensioni sono facilmente modificabili dall'utente nel modo che preferisce [PAN16a].

Il software continua ad essere sviluppato e aggiornato. L'ultimo recentissimo rilascio, risale al 30 ottobre 2016 e integra la navigazione delle immagini attraverso l'orientamento del proprio dispositivo mobile [PET16].

2.6 Blender

Blender è un software di modellazione 3D opensource e gratuito. Supporta tutte le fasi della creazione di oggetti in 3D come modellazione, rigging, animazione, rendering, composizione, motion tracking, video editing e creazione di videogiochi compresi.

Dalla sua creazione nel 1995 da parte di Ton Roosendaal e del suo team olandese al NeoGeo, Blender è cresciuto fino ad essere utilizzato da centinaia di utenti da tutto il mondo, provenienti dai più disparati settori dell'animazione e della grafica, che continuano a svilupparlo per garantire un ottimo applicativo gratuito per la produzione in 3D [BLE16a]. La Blender Foundation, la fondazione non-profit che attualmente si occupa di produrre e amministrare Blender, continua ad ospitare un piccolo team di lavoratori che si occupano principalmente della parte più burocratica dell'azienda, ma la maggior parte dei cambiamenti che avvengono sul software hanno atto all'interno della community, in cui vengono ideati e sviluppati.

Il software dà anche la possibilità di scrivere API in Python per personalizzare l'applicazione che si sta creando o aggiungere strumenti specifici.

La possibilità di aggiungere add-on specifici, dà all'utente molte più possibilità, consentendogli di personalizzare il programma come meglio crede per i suoi scopi.

Il software può essere ospitato sulla maggior parte dei sistemi operativi (Windows, Linux, Macintosh). Utilizza OpenGL per garantire un'esperienza consistente e viene sempre testato dal team di sviluppo su diverse piattaforme prima del rilascio.

Il software è protetto da licenza GPL, consentendo agli stessi utenti di alterarlo come più ritengono opportuno, garantendone una costante evoluzione e miglioramento. Inoltre il software è tranquillamente utilizzabile sia per uso personale che commerciale, senza l'obbligo di acquistare nulla [BLE16b].

2.6.1 Blend4web

Blend4web è uno di quegli add-on per Blender di cui si parlava prima. Si tratta di un applicativo in grado, tra le altre cose, di consentire l'esportazione dei progetti Blender, per la visualizzazione online e la loro interazione con pagine web attraverso hyperlink sugli oggetti 3D. Blend4web consente di esportare sia in .html che in .json, consentendoci di pubblicare i nostri contenuti e renderli accessibili da chiunque abbia una connessione Internet e un browser che supporti WebGL.

I nostri progetti possono essere visualizzati tramite un WebPlayer che visualizzi il progetto esportato in .json o direttamente tramite l'esportazione in .html.

Mentre l'esportazione in html non ci consente molte modifiche, quella in json ci dà più possibilità di personalizzare i nostri contenuti, usando gli elaborati in 3D da soli o, ad esempio, anche come sfondi a pagine web più complesse [BLE16c].

Lo sviluppo di Blend4web procede di pari passo con quello di Blender, consentendo agli utenti di avere sempre l'ultima versione disponibile sul mercato di entrambi i software e un ottimo supporto tecnico in ogni fase dello sviluppo.

Ad oggi non esiste un sistema migliore di Blender e Blend4web per diffondere grafica 3D via Internet: sono in corso progetti simili presso compagnie del

settore, come ad esempio Unity, che sta procedendo a sviluppare un applicativo che sfrutta sempre WebGL per esportare i progetti da visualizzare on-line, ma al momento Blend4web si pone al di sopra di quest'ultimo, come è stato ampiamente dimostrato da test effettuati da stessi progetti campione eseguiti in diverse situazioni [BLE16d].

2.7 Pannellum vs Blender

Sia Pannellum che Blender sono software molto interessanti e ben fatti, ma per i nostri scopi, ognuno aveva pro e contro.

Mentre con Pannellum era possibile creare in maniera semplicissima un tour virtuale, risultava invece molto complicato andare a inserire gli elementi 3D.

Per quanto riguarda Blender, invece, era semplicissimo lavorare con modelli di animali 3D, ma non era invece altrettanto semplice costruire il tour virtuale o pensare di integrare elementi più tipici di un e-learning.

Per cercare di prendere il meglio dai due software, abbiamo provato a integrarli, creando il tour virtuale con le immagini a 360° con Pannellum e inserendo, attraverso gli hotspots, collegamenti a pagine html esportate con Blend4web. Questa soluzione poteva funzionare, ma richiedeva di sviluppare virtualmente intere sezioni della nostra applicazione e non ci consentiva di inserire i modelli 3D sopra alle immagini, come invece volevamo. Inoltre i tempi di caricamento delle pagine realizzate con Blend4web sono sempre piuttosto lunghi e, con un approccio di questo genere, l'aggiunta di diverse pagine avrebbe comportato un'incrementale aumento dei tempi di attesa. Questo non è economicamente accettabile nella società di oggi.

Per questo motivo abbiamo deciso di abbandonare questo approccio e concentrarci sulla realizzazione del tour unicamente su Blender. In questo caso lo sviluppo sarebbe stato più complesso, ma il risultato finale non avrebbe risentito di tempi di caricamento così lunghi. Inoltre l'interazione di elementi 3D e immagini a 360° sarebbe stata molto più coerente e immersiva.

2.8 Fotocamere

La creazione di immagini panoramiche a 360° a tutto tondo, anche conosciute come fotosfere, non è sempre stata semplice.

I primi esperimenti per realizzare cose simili sono stati fatti con delle semplici macchine fotografiche, unendo più immagini una a fianco all'altra.

Questa operazione di *merging* veniva fatta manualmente, cercando di fare combaciare gli scatti nel modo migliore possibile. Ovviamente si trattava di un procedimento molto lungo e complesso. Oggi, per fortuna, esistono appositi software, installabili sul proprio computer, che ci aiutano facendo un'analisi delle diverse immagini e connettendole nel migliore dei modi. Per fare degli esempi, il software più famoso che fa cose simili è sicuramente Adobe Lightroom, ma si trovano tranquillamente on line anche ottimi sostitutivi gratuiti come Hugin.

Con lo sviluppo degli smartphone, anche le loro fotocamere hanno subito un graduale miglioramento ed ora, gran parte delle marche, prevedono un supporto integrato per la ripresa di immagini panoramiche e fotosfere. Questo ha portato allo sviluppo di vere e proprie community online in cui gli utenti possono pubblicare le proprie foto scattate durante i viaggi. Sicuramente una delle più importanti è rappresentata da Google Maps, il cui sviluppo negli anni ha portato all'integrazione di sempre più contenuti multimediali all'interno del servizio.

Le fotocamere dei cellulari non sono, però, ancora abbastanza avanzate per fotografi e professionisti, per questo la tecnologia ci è venuta nuovamente incontro, sviluppando apposite fotocamere a 360°.

Sul mercato esistono già fotocamere con diversi costi e livelli di precisione: quelle meno precise sono costituite solitamente da due sole camere che ricoprono una superficie di 180° l'una, poste una opposta all'altra. Si tratta delle più imprecise perché, unendo solamente due immagini, capita spesso che nella linea di congiunzione, le due foto abbiano luminosità diverse e questa si noti abbondantemente, soprattutto se tali fotocamere danno anche la possibilità di realizzare video. Tra queste ricordiamo una delle attualmente più economiche che è la LG 360 CAM [SMA16].

Per quanto riguarda il nostro progetto, abbiamo chiesto aiuto ai ragazzi di Trail Me Up [TMU16], start up cesenate operante nel campo della mappatura a 360° di sentieri percorribili unicamente a piedi. In particolar modo abbiamo chiesto ai ragazzi se fosse stato possibile utilizzare il loro zaino per scattare alcune foto presso la stalla della sede del corso di laurea in Medicina Veterinaria di Ozzano dell'Emilia.

Il loro zaino è configurato in maniera molto particolare: questo infatti consiste in una fotocamera montata su un apposito supporto, in grado di riprendere foto a 360° più in alto rispetto alla media. La fotocamera è composta a sua volta da sei fotocamere, cinque laterali e una superiore, che scattano immagini contemporaneamente (Figura 2.2). Queste immagini vengono poi assemblate in un secondo momento, mediante un apposito software. Da quanto precedentemente descritto si può facilmente notare che non viene fatta alcuna foto verso il basso: infatti la pavimentazione viene ricostruita in un secondo momento dai ragazzi di Trail Me Up, mediante un algoritmo specifico. A noi invece basterà riempire l'immagine, riproducendo la pavimentazione, in fase di postproduzione.

Nel nostro caso, questa soluzione è stata la più appropriata perché nelle nostre foto erano presenti degli animali, a cui sicuramente non è possibile chiedere di restare immobili mentre si scattano un numero infinito di fotografie con fotocamere DSLR o simili. Per questo motivo, questa fotocamera a scatto contemporaneo è stata il giusto strumento da utilizzare, consentendoci di evitare tutta una serie di problemi in fase di post produzione dovuti a soggetti in movimento.



Figura 2.2: a sinistra, lo zaino di Trail Me Up. A destra l'ingrandimento della fotocamera montata sullo zaino [CAM15].

2.9 Post produzione

Realizzare un'immagine a 360° richiede quasi sempre il passaggio da almeno un software di stitching, sicuramente se si usano fotocamere tradizionali. Procederemo quindi a illustrarne due, uno a pagamento e l'altro gratuito, per aiutarci in questo passaggio.

Inoltre, può a volte capitare che, anche se siamo stati estremamente attenti durante la fase di ripresa delle fotografie, alcuni elementi non vengano risultino sfocati o non possano essere uniti adeguatamente. Ovviamente capita spesso che alcune foto siano impossibili da scattare nuovamente e si debba obbligatoriamente lavorare con il materiale a propria disposizione. Per questo motivo servono determinati software di post produzione che ci aiutino a sistemare questi difetti e a riportare l'immagine all'aspetto che avrebbe dovuto originariamente avere.

2.9.1 Adobe Photoshop Lightroom

Una volta scattate le fotografie, ci occorrerà un software che ci dia la possibilità di ottenere immagini sferiche a 360°. Un programma di prima categoria in questo panorama è sicuramente Adobe Photoshop Lightroom, software di altissima qualità che ci consente di fare ciò che ci serve in modo molto semplice e relativamente veloce.

Lightroom è uno dei software di punta di casa Adobe. Si tratta di un catalogo digitale che consente di organizzare coerentemente le proprie fotografie e di apportare un primo fotoritocco, modificando luci e ombre o applicando alcuni degli effetti propri del software.

Ogni modifica è tranquillamente reversibile, consentendo all'utente di tornare in qualsiasi momento all'immagine di partenza o a un determinato setup, se precedentemente salvato.

La funzionalità davvero interessante di questo programma, che risulta essere uno dei suoi punti di maggiore forza, è la possibilità di copiare tutte le modifiche apportate a uno scatto e incollarle su un altro. In tal modo il fotografo non deve andare a modificare ogni foto una alla volta, ma, per scatti dello stesso tipo, può modificarne uno e utilizzare quelle impostazioni su tutti gli altri. Oppure può decidere di creare un filtro personalizzato e applicarlo sempre uguale su una serie di foto a suo piacimento.

Si tratta di una funzionalità molto interessante e largamente impiegata, basti pensare a quei fotografi che lavorano nelle discoteche o per determinati eventi in cui tutte le immagini prodotte devono avere una sorta di continuità: sarebbe impensabile editarle tutte a mano, ripetendo gli stessi passaggi per ogni immagine, eppure era ciò che accadeva prima dell'invenzione di Lightroom.

Inoltre le funzionalità per la creazione di panorami attraverso questo software vengono migliorate ad ogni nuovo rilascio, consentendo l'intera industria di crescere e produrre opere sempre migliori. Con l'ultimo aggiornamento, al posto della funzione di ritaglio automatico, viene data la possibilità di modificare automaticamente i bordi della foto panoramica, estendendoli fino ai vertici del

quadro immagine, senza perdere nemmeno un dettaglio, evitando di ritagliare la fotografia [ADO16a].

Il programma è al momento disponibile sia in versione desktop che come applicazione per iOS e Android. Questo dà la possibilità di mantenere il proprio catalogo digitale su ogni dispositivo, potendo accedere in ogni luogo alle proprie immagini e potendo continuarne la modifica da dove si era interrotta [ADO16b].

2.9.2 Hugin

Hugin è un altro software per la creazione di immagini panoramiche operante su diversi sistemi operativi. È basato su Panorama Tools, un software precedente per la creazione di panorami, originariamente ideato dal Professor Helmut Darsch dell'Università di Applied Sciences Furtwangen, il cui sviluppo è stato interrotto nel 2013 [PAN16b].

La *pipeline* che ha portato all'attuale versione di Hugin, vede le prime pubblicazioni nel 2009 ed è attualmente ancora in attività, continuando nella produzione e nel miglioramento del software [HUG16b].

Sono attualmente in fase di sviluppo soluzioni che possano garantire la produzione di immagini HDR direttamente su Hugin o che diano la possibilità di effettuare una prima fase di editing dell'immagine, quantomeno in termini di bilanciamento del bianco e dell'esposizione [HUG16a].

Al momento il software è piuttosto semplice da utilizzare: basta importare le immagini, eventualmente selezionando il tipo di obiettivo appropriato con cui sono state scattate le foto e selezionare Allinea.

Questo passaggio richiederà un po' di tempo in quanto il software si occuperà di cercare tutti i punti di contatto tra le varie foto importate e collegarle assieme.

Come è ben intuibile, più foto devono essere processate, più tempo occorrerà.

Una volta finita questa fase sarà possibile salvare la panoramica. Il software dà la possibilità di esportare in diversi formati con diversi livelli di compressione.

Oltre a queste opzioni base, è anche possibile selezionare altri parametri importanti: ad esempio nella scheda Proiezione è possibile selezionare il tipo di

risultato che si vuole ottenere dalla panoramica, selezionando tra diversi formati quali, tra gli altri, Equirettangolare, Fisheye, Cilindrica ecc...

Hugin si conferma un software molto interessante per la realizzazione di immagini panoramiche, soprattutto perché non ne esistono di altrettanto buoni e gratuiti. Anzi per alcune questioni si pone anche un passo avanti rispetto a Lightroom, in quanto dà la possibilità di modificare l'immagine e raddrizzarla molto velocemente, funzionalità incredibilmente utile se nella nostra panoramica sono presenti degli edifici, che sono quelli che normalmente subiscono più deformazioni con questo procedimento. L'unica pecca che abbiamo per ora trovato è la mancanza di quelle funzionalità di editing che Lightroom integra così egregiamente: con Hugin siamo obbligati a passare da un secondo software per fare anche la minima modifica, richiedendoci di dedicare ulteriore tempo ad ogni singola immagine, da editare singolarmente.

Quando al software verranno integrati strumenti di editing, è probabile che si confermerà un fantastico prodotto sul mercato, consentendoci di compiere operazioni più complesse che con Lightroom, e diventando un grande supporto alla fotografia paesaggistica e panoramica.

2.9.3 Adobe Photoshop

Può accadere che nelle fasi di realizzazione del prodotto, il semplice utilizzo di Lightroom o Hugin non basti: le immagini potrebbero avere difetti o non essere perfettamente definite. Inoltre, come già preannunciato, quelle realizzate con la fotocamera di Trail Me Up non prevedono la ripresa della pavimentazione, che quindi andrà ricreata a mano.

Per svolgere tutta una serie di aggiustamenti importanti, procediamo usando Adobe Photoshop, software di altissimo livello prodotto dalla famosa azienda americana.

Dalla realizzazione di Display nel 1987, primo antenato dell'odierno software, Photoshop ha subito innumerevoli modifiche e aggiustamenti, che l'hanno portato ad essere l'applicazione più famosa ad oggi sul mercato.

Il nome Photoshop venne appositamente creato per la prima versione distribuita in commercio nel 1988, quando i fratelli Knoll, primi ideatori del software, vendettero tutti i diritti alla Adobe.

La prima versione di Photoshop 1.0 venne rilasciata nel 1990 [CRE16].

Siamo ormai giunti oggi alla trentesima versione con Photoshop CC, se si contano gli aggiornamenti continui che sono stati fatti dall'introduzione di CC: ormai il software è in grado di fare qualsiasi cosa in termini di foto editing e pittura digitale. Negli ultimi aggiornamenti è anche stata introdotta una nuova funzionalità per realizzare immagini vettoriali, senza quindi dover passare più da Illustrator. Inoltre è ormai possibile lavorare anche con elementi 3D e con video, senza dover obbligatoriamente passare per altri software [ADO16c].

Nel nostro caso Photoshop sarà essenziale per modificare le immagini panoramiche a nostra disposizione, consentendoci di ricreare una pavimentazione e modificando ogni foto che risulti avere problemi una volta importata nel nostro progetto su Blender.

3 Implementazione

In questo terzo ed ultimo capitolo ci troveremo ad affrontare tutti i passaggi che ci hanno portati alla realizzazione del nostro tour virtuale su Blender, concentrandoci su realizzazione e modifica di immagini a 360°, creazione di modelli in tre dimensioni su Blender e aggiunta di animali animati all'interno del tour.

3.1 Creazione delle immagini panoramiche

Una delle prime difficoltà che ci siamo trovati ad affrontare all'interno del nostro progetto, ovviamente, è stata la creazione delle immagini panoramiche a 360° che ci occorrevano.

Abbiamo quindi proceduto a imparare come scattare le immagini con metodi diversi e come assemblarle in post produzione, in modo da decidere quale fosse più efficiente usare nel nostro caso. Procediamo quindi ad illustrare i diversi passaggi che ci siamo trovati a compiere.

3.1.1 Come scattare le foto

Come è possibile immaginare, ritrarre foto panoramiche con apposite fotocamere è la via più semplice, in quanto in un unico scatto si ottiene la foto.

Ma facciamo l'esempio di qualcuno che non ha la possibilità di utilizzarle e procediamo quindi a descrivere il modo in cui sarebbe più opportuno scattare fotografie con una semplice macchina fotografica, per poi assemblarle in panoramiche o fotosfere in un secondo momento.

Scattare immagini con una fotocamera DSRL non è la cosa più semplice del mondo e spesso richiede diversi tentativi prima di ottenere un lavoro discreto.

A seconda del soggetto che si vuole ritrarre, potremmo avere o meno la necessità di utilizzare un cavalletto: se nella nostra immagine panoramica abbiamo elementi a noi vicini, è consigliabile utilizzare un treppiede per controllare

meglio la fotocamera e mantenerla più stabile, ma se gli oggetti sono tutti lontani non è essenziale impiegarne uno.

Inoltre per limitare il numero di scatti da compiere, si consiglia vivamente di usare un obiettivo grandangolare o settare il proprio ponendo lo zoom al minimo, in modo da ritrarre il maggior angolo possibile per singolo scatto.

Per realizzare una panoramica occorre scattare fotografie per tutti i 360°, ruotando la fotocamera di un certo angolo per ogni foto, in modo che quella precedente e la successiva si sovrappongano almeno di un venti per cento, per consentirne poi l'unione in postproduzione.

Una volta scattate la prima serie di fotografie occorrerà alzare la fotocamera di un angolo a piacere per ripetere lo stesso procedimento assicurandosi, anche in questo caso, di avere un venti per cento di margine tra le prime immagini scattate e quelle superiori.

Una volta completata la parte superiore, si procede nello stesso modo anche per quella inferiore.

L'ultimo passaggio è smontare la fotocamera dal treppiede e realizzare un'immagine diretta del soffitto e, una volta spostatisi adeguatamente, realizzare un'immagine del suolo.

Oltre a stare attenti a ritrarre ogni angolo dell'ambiente, occorre anche cercare di mantenere la luminosità e il bilanciamento del bianco il più costante possibile.

Se si vuole ottenere un'immagine HDR, occorre ripetere questo procedimento con tre esposizioni differenti, che poi verranno unite in postproduzione prima di realizzare la fotosfera.

Com'è intuibile questo procedimento è molto lungo, sia nella sua realizzazione che nella seconda parte di postproduzione.

Inoltre bisogna tenere conto del fatto che, se nella nostra immagine sono presenti soggetti in movimento, sarà del tutto impossibile o quasi realizzare questo tipo di fotografia.

Per questo motivo, visto la presenza di animali all'interno del nostro progetto, abbiamo deciso di chiedere aiuto ai ragazzi di Trail Me Up, in modo da realizzare fotografie consistenti e il più precise possibile.

Abbiamo quindi raggiunto la sede del corso di laurea in Medicina Veterinaria ad Ozzano dell'Emilia e abbiamo proceduto a catturare alcune immagini della stalla della facoltà. Con la fotocamera dello zaino, come già accennato, si effettuano sei scatti in contemporanea, che vengono poi assemblati in post produzione. (Figura 3.1)

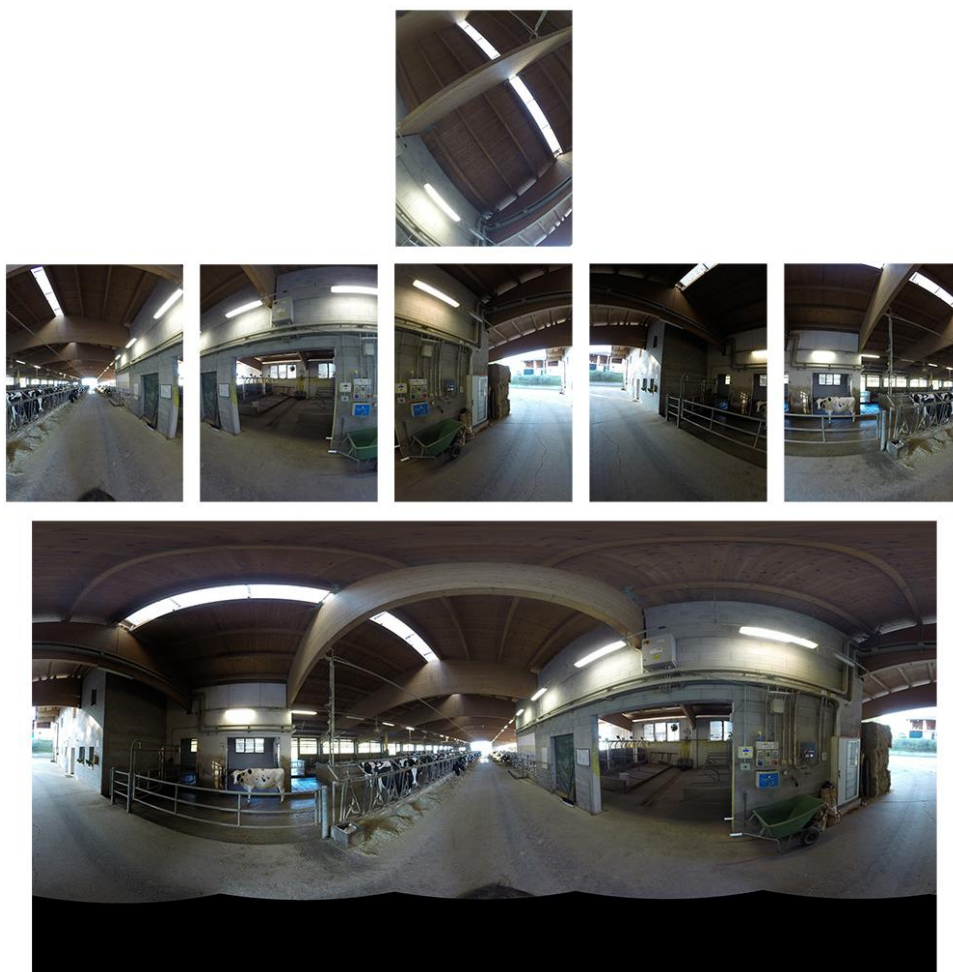


Figura 3.1: prima e dopo lo stitching delle fotografie scattate con lo zaino di Trail Me Up

3.1.2 Come assemblare le foto in panoramiche a 360°

Sia che le immagini vengano realizzate tramite DSRL o tramite fotocamera a scatto singolo, il procedimento di assemblaggio, o *stitching* in inglese, è del tutto analogo.

Appositi software vengono utilizzati per questo, fornendoci più o meno funzionalità, con diversi livelli di complessità.

Il software a nostro parere più funzionale da utilizzare è Adobe Lightroom. Questo avanzato software di fotografica ci dà la possibilità di assemblare le nostre foto con un semplice comando: basta selezionare tutte le nostre immagini, cliccare col tasto destro del mouse, selezionare *Unione Foto* → *Panorama* e, nel nostro caso, selezionare la funzione *Sferica*. Il motivo per cui selezioniamo questa deformazione è perché, come vedremo in seguito, le nostre immagini verranno utilizzate come texture sulla superficie di una sfera in tre dimensioni e quindi, questa opzione è la più appropriata. Se invece di una sfera avessimo utilizzato un cilindro, sarebbe stato meglio impiegare l'opzione *Cilindrica*.

Inoltre è preferibile lasciare deselezionata l'opzione di ritaglio automatico, procedendo poi in un secondo momento a rifinire la nostra immagine.

Siccome l'operazione di unione delle foto può richiedere molto tempo, perché necessita di processare molti dati, è preferibile utilizzare immagini con risoluzioni più basse rispetto a quelle scattate, consentendo quindi questi tempi di accorciarsi.

Se si preferisce utilizzare un software pubblico e gratuito, Hugin è sicuramente quello meglio costruito. In questo caso però, oltre a dover importare le immagini, sarà utile selezionare anche il tipo di obiettivo con cui sono state scattate (cosa che Lightroom fa in automatico grazie ai metadati delle foto) in modo da ottenere una panoramica migliore una volta assemblate.

3.1.3 Problematiche da affrontare

Come precedentemente accennato, i problemi principali in questa fase vengono dalla posizione degli elementi nella scena: la presenza di oggetti troppo vicini alla fotocamera o di soggetti mobili, possono portare a grossi problemi in fase di stitching. Infatti, per quanto riguarda il primo esempio, se ci fossero oggetti troppo vicini, i software di postproduzione potrebbero avere problemi a realizzare la fotosfera in quanto potrebbero non avere sufficienti scatti per

ricreare l'oggetto in maniera continuativa e coerente nel nuovo spazio, creando aloni e deformazioni antiestetiche. Una di queste deformazioni è facilmente individuabile in Figura 3.2 a sinistra, circondata dall'ellisse rosso.

Nel secondo caso, invece, soggetti in movimento potrebbero portare a una sorta di effetto fantasma all'interno di un'immagine, in cui il soggetto viene ritratto parzialmente al suo interno. La Figura 3.2 a destra ritrae esattamente uno di questi casi.

Si può sempre cercare di correggere ulteriormente questi difetti, passando per un altro software di grafica fortemente specializzato come Adobe Photoshop o il suo corrispettivo gratuito Gimp, ma si tratta nuovamente di un lavoro molto lungo e complesso e a volte non si ottiene mai un risultato ottimale in ogni caso [OPP15].



Figura 3.2: esempi di deformazioni e problemi riscontrabili dopo aver eseguito lo stitching.

3.1.4 Ricostruzione del suolo e miglioramento delle immagini

Come è visibile in Figura 3.1, l'immagine ottenuta dall'unione delle sei fotografie realizzate con lo zaino, necessita di essere sistemata e riempita nella zona nera.

Per fare ciò utilizzeremo il software Adobe Photoshop perché, pur essendo a pagamento, è quello con cui abbiamo più familiarità e molto più semplice da utilizzare di Gimp per operazioni di questo tipo.

I passaggi principali che ci troveremo a compiere saranno principalmente due: eliminare elementi esterni che non centrano con l'ambiente (il fotografo o la sua ombra per quanto possibile), e ricostruire la base della foto in modo che sia coerente con il resto dello scatto e venga visualizzata in maniera appropriata una volta creata la sfera 3D.

Tutti questi passaggi dovrebbero portarci ad ottenere un risultato simile a quello mostrato in Figura 3.3.



Figura 3.3: prima e dopo l'operazione di ricostruzione del suolo dell'immagine.

3.2 Elementi base del tour virtuale su Blender

Creare un tour virtuale su Blender non è semplicissimo e richiede la costruzione di diversi elementi 3D. Procediamo quindi ad elencare i principali passaggi che ci siamo trovati ad eseguire.

3.2.1 Creazione delle sfere

La creazione di un tour virtuale su Blender inizia con la costruzione delle sfere di alloggiamento per le immagini a 360°. Come abbiamo visto precedentemente, le immagini che andremo a creare sono immagini sferiche a 360°, per questo motivo la mappatura di esse su una sfera sarà la soluzione migliore da adottare. Ciò non toglie che se ci fossimo trovati in altre situazioni, con semplici immagini panoramiche o prospettiche, le sfere possono essere sostituite con solidi più appropriati, come potrebbero essere cilindri o cubi. I passaggi successivi di creazione restano pressoché gli stessi per ogni genere di solido scelto.

Per mappare l'immagine creata sulla sfera, abbiamo bisogno, prima di importarla, di fare un'operazione di *unwrap*: tale operazione ci consente, una volta eliminati i due vertici della sfera e preso come riferimento un meridiano, di aprirla su sé stessa ottenendo una base per la nostra immagine. Una volta aperta, la proiezione sul piano risulterà diversa da quella che ci occorre (Figura 3.4 sinistra), per questo dovremo correggerne l'aspetto e scalarla fino a farle riempire tutto il quadrato dell'immagine (Figura 3.4 destra).

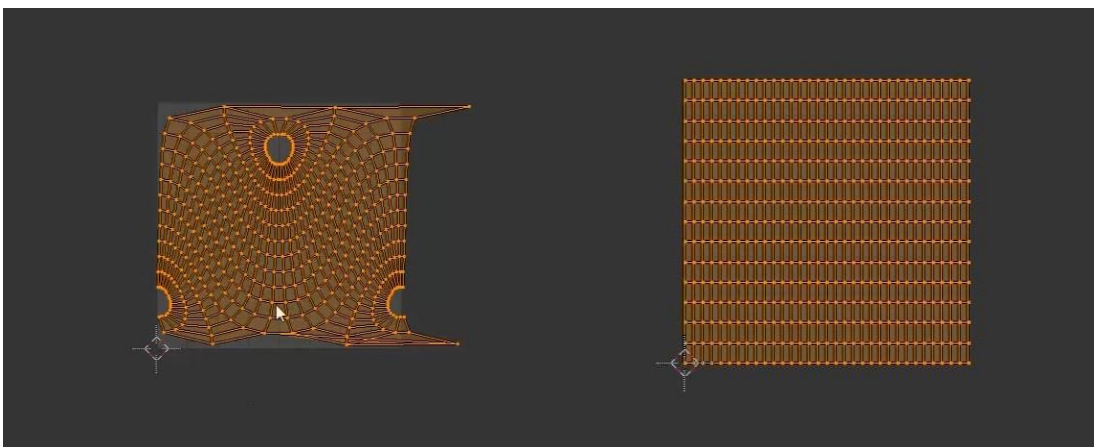


Figura 3.4: *unwrapping della sfera. A sinistra la visualizzazione iniziale, a destra quella che occorre ottenere per avere una mappatura adeguata della fotografia [YOU16d].*

A questo punto prossimo tornare in *Object Mode*, aggiungere un materiale alla sfera e una texture relativa ad esso, selezionando la nostra immagine a 360°.

Ora, selezionando di visualizzare la texture, possiamo notare che la nostra immagine è visibile sulla superficie della nostra sfera. Ma poiché noi ci troveremo a guardare la sfera dal suo interno, perché l'immagine sia visibile anche da quel punto di vista, ci occorre fare un'operazione di *Flip Normals*.

Se ora procediamo a spostare il nostro campo visivo all'interno della sfera ci accorgeremo che l'immagine risulta ribaltata, perché il lato "dritto" si trova sulla faccia esterna del solido. Per questo motivo ci conviene ribaltare le immagini in post produzione ed importarle direttamente già modificate.

Ora la sfera esterna è pronta e possiamo procedere ad effettuare tutti quei cambiamenti che ci possono servire nella sua forma, in modo da rispecchiare il più possibile la nostra immagine e dare allo spettatore la possibilità di immergersi appieno nel nostro tour. Ovviamente a questo punto potremo anche chiudere i buchi che ci sono rimasti ai due estremi: basterà selezionare la corona di vertici finali ed unirli, scalandoli verso l'interno e cliccando 0 [YOU16d].

3.2.2 Settaggio della telecamera

Un aspetto di fondamentale importanza da considerare a questo punto è il settaggio della telecamera: dopo averla creata, procederemo a inserirla internamente alla sfera e a controllare, tramite il tasto 0 del tastierino numerico, che l'inquadratura ci soddisfi, in quanto quella sarà la stessa che avrà lo spettatore del tour prima di modificarla a suo piacimento. Un'altra cosa essenziale da fare è inserire dei parametri per bloccare la telecamera, impedendole di spostarsi fuori dalla sfera o di ruotare il campo visivo fino a trovarci al contrario.

Mantenendo la telecamera in *Perspective mode*, procederemo a modificare la distanza focale in base alle dimensioni della nostra sfera e ai nostri bisogni: se, come nel nostro caso, vogliamo ottenere un'inquadratura iniziale più ampia, sceglieremo una distanza focale più bassa e viceversa.

Per oggetti così grandi un altro importante parametro da considerare è il *Clipping*, che rappresenta l'intervallo di distanze tra cui Blender eseguirà il rendering del nostro oggetto. In particolar modo è consigliabile aumentare la distanza finale, in quanto è quella che non ci consente nemmeno di visualizzare la nostra sfera per intero se non modificata.

Un altro parametro da settare per evitare di invertire la visualizzazione è il limite di rotazione verticale. Fissato di default a 45° in alto e in basso, può essere modificato a piacimento.

3.2.3 I punti luce

I punti luce sono una parte fondamentale da considerare quando si lavora con computer grafica o realtà virtuale. Questi sono infatti essenziali a dare una percezione più coerente dell'ambiente allo spettatore, integrando maggiormente i vari oggetti tra loro.

Siccome nel nostro progetto saranno presenti anche oggetti con texture non *shadeless*, come per esempio gli animali che aggiungeremo tra poco, necessiteremo di un'illuminazione ad-hoc. Per questo preiederemo inserendo un oggetto luminoso, cercando di farne coincidere la provenienza con quella in cui è presente il sole sulla nostra foto panoramica.

Tra tutti gli oggetti luminosi che Blender ci mette a disposizione di default, c'è anche un sole virtuale, che useremo nel nostro progetto per via del modo in cui irraggia la luce, quasi uniformemente in ogni direzione. Questo darà ai nostri oggetti quella differenza tra luci e ombre che li renderà il più possibile simili alla realtà.

3.2.4 Creazione dei modelli delle frecce direzionali

Essenziali per muoversi all'interno del tour, risultano essere le frecce direzionali. Nel nostro caso non procederemo a creare delle frecce direzionali simili a quelle della versione *Live View* di *Google Maps*.

Per realizzare la freccia siamo partiti da un semplice cubo, i cui vertici sono poi stati modificati secondo il nostro gusto, per ottenere una freccia che fosse al contempo funzionale e accattivante.

Abbiamo poi proceduto ad animarla in modo tale che si muovesse indicando all'utente la via da seguire.

Perchè questa animazione sia visibile all'utente, occorre che, nella sezione *World*, venga selezionato *Apply default animation* nel menu a tendina relativo ad *Animation* (Figura 3.5).

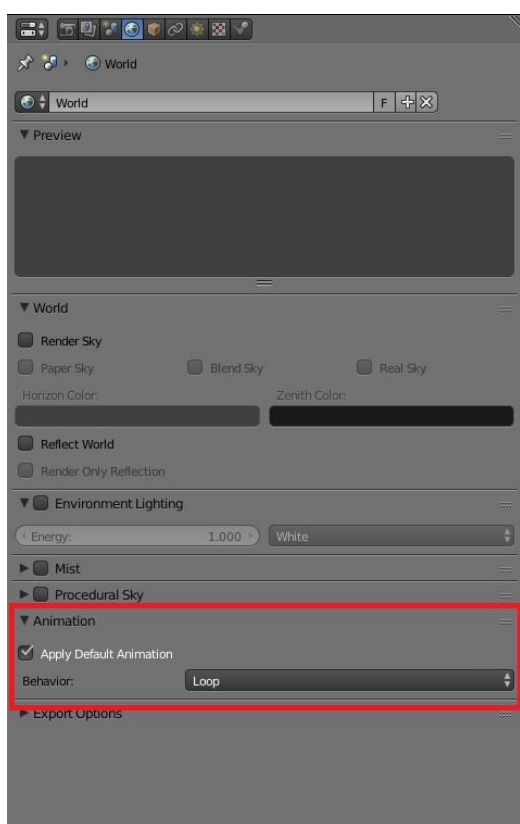


Figura 3.5: impostazioni per accertarsi che l'animazione venga esportata correttamente.

3.3 Creazione del tour virtuale

Fino a questo momento abbiamo visto come creare e animare modelli virtuali degli elementi base di un tour virtuale.

Procediamo quindi ora alla realizzazione del tour virtuale vero e proprio, assemblandoli insieme e collegando le diverse schermate una di seguito all'altra.

Come prima cosa possiamo importare la freccia direzionale creata in precedenza e porla all'interno della nostra prima sfera. Una volta che sarà stata ridimensionata e spostata adeguatamente, questa freccia ci servirà come modello per tutte quelle seguenti e verrà semplicemente duplicata di volta in volta.

Continuiamo quindi duplicando la sfera precedentemente creata, contenente la freccia. Un modo semplice e veloce per farlo consiste nel aumentare il campo visivo in modo da essere abbastanza lontani dalla sfera perché sia interamente selezionabile, premere il tasto B sulla tastiera e creare una selezione con il mouse che prenda tutta la sfera. In questo modo avremo selezionato sia la sfera che la freccia al suo interno. Ora basterà uno Shift-D per duplicare l'oggetto. In questo momento è utile anche ancorarlo ad un asse cartesiano, selezionando X o Y, sempre da tastiera. Ripetiamo questo passaggio tante volte quante è necessario al nostro progetto (Figura 3.6).

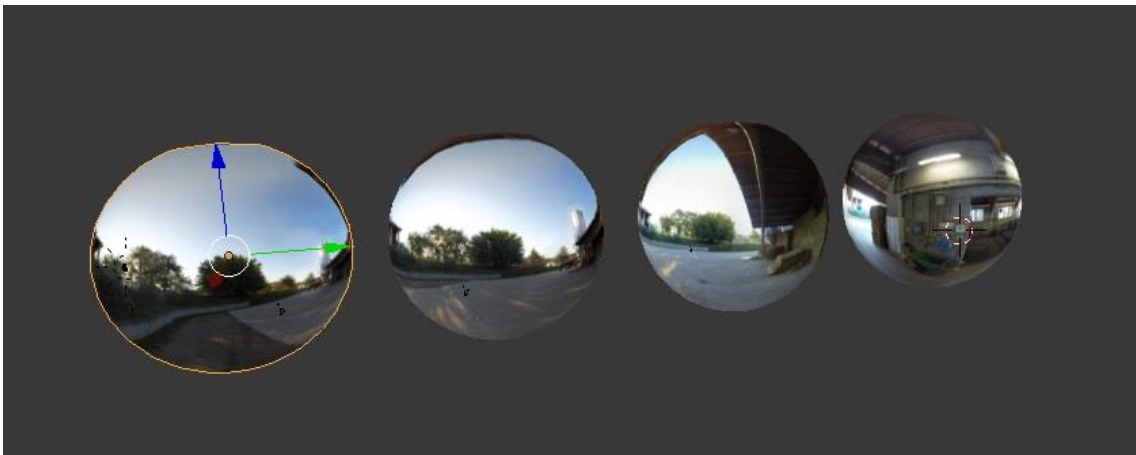


Figura 3.6: come si presenta il nostro progetto Blender dopo aver creato alcune delle schermate.

Per ogni nuova sfera creata basterà sostituire il materiale e la texture, così da creare tutte le schermate del tour.

Anche per quanto riguarda le frecce direzionali interne alle sfere, procederemo a duplicarle tante volte quante sarà necessario, sicuramente almeno per garantire di andare e tornare tra due schermate.

È inoltre molto utile posizionare le sfere una di seguito all'altra, nell'ordine in cui verranno visualizzate, sia perché è più semplice visualizzarle e ritrovarle, ma anche per un altro motivo che andremo ad esporre nella prossima sezione.

3.3.1 Node Editor

Il Node Editor è lo strumento attraverso cui saremo in grado di associare dei comandi agli oggetti. In particolar modo nel nostro caso useremo questo pannello principalmente per gestire il movimento della telecamera tra le varie sfere a seconda della freccia che viene selezionata.

Per prima cosa occorre verificare di trovarsi nel pannello di controllo fornito da Blend4web. Questa operazione è facilmente effettuabile: basta che in alto al centro, l'etichetta posta a sinistra della versione del software, sia su Blend4Web e non su BlenderRender o simili.

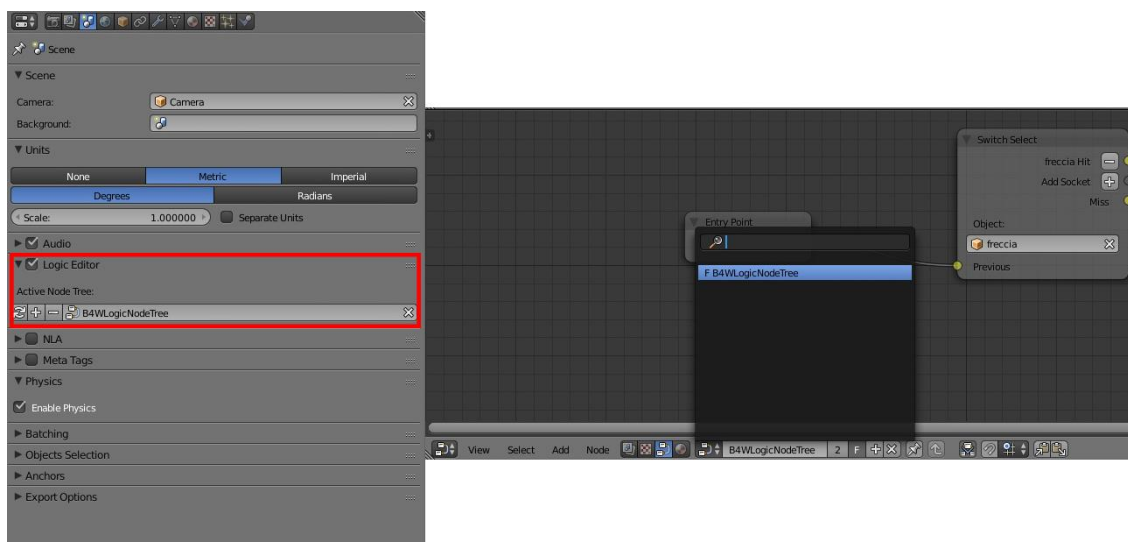


Figura 3.7: a sinistra come inserire un nuovo Logic Node Tree, a destra come aprire il Logic Node Tree appena creato all'interno del Node Editor.

Ora occorre associare un nuovo *logic node tree* al nostro progetto. Per farlo andiamo nella sezione Scene a destra, spuntiamo la casella a fianco a Logic Editor e clicchiamo il simbolo + sottostante (Figura 3.7 sinistra).

A questo punto occorrerà visualizzare una nuova finestra in cui aprire il Node Editor e, una volta selezionata la sezione Bend4Web logic, procediamo ad aprire il Logic Node Tree appena creato (Figura 3.7 destra).

Per compiere le operazioni che ci richiede il nostro tour, ci occorrerà aggiungere un nodo di tipo *Switch Select* all'*Entry Point* già presente.

Questo *Switch Select* ci servirà per collegare un'azione alle varie frecce della sfera.

A questo punto ci troveremo all'interno della prima sfera, quella in cui è inizialmente posta la telecamera. Per questo motivo nello Switch Select aggiungeremo la freccia rispettiva a questa prima sfera.

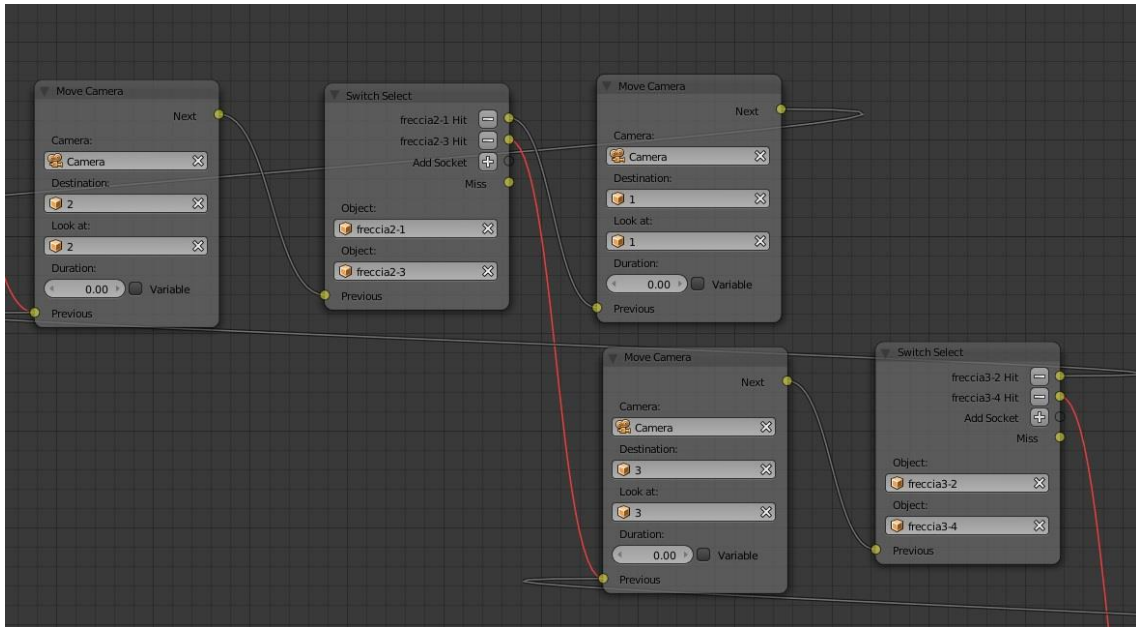


Figura 3.8: esempio di Node Editor con sitch select per due frecce e spostamenti di telecamera associati.

Il prossimo passaggio è aggiungere un altro nodo, questa volta di tipo *Move Camera*. Qui dovremo inserire la nostra telecamera nel primo campo, la sfera di destinazione che vogliamo raggiungere cliccando la freccia nel secondo campo e la direzione verso cui vogliamo che venga puntata la telecamera. Se il percorso sulla sfera seguente procede in maniera lineare e uniforme basterà inserire il nome della sfera di destinazione anche in questo terzo campo, altrimenti, per ruotare l'inquadratura della telecamera, abbiamo notato che è molto utile inserire un elemento di tipo *Empty* e puntare l'obiettivo su quello.

In caso le frecce sulla sfera fossero più di una, basterà aggiungere una socket nel nodo di tipo *Switch Select* e agganciarvi un nodo *Move Camera* differente (Figura 3.8).

3.4 Inserimento dei modelli 3D di animali sul tour virtuale

Nel corso del seguente anno scolastico, gli studenti di Sistemi Multimediali hanno dovuto creare un elaborato finale in cui utilizzavano modelli 3D di animali

animati. Per fare una dimostrazione dell'integrazione di tali modelli nel nostro progetto, utilizzeremo le migliori animazioni scaturite da quell'ambiente e le inseriremo all'interno del nostro tour.

Questi verranno importati come è stato fatto per le frecce direzionali e posizionati in modo tale che stiano bene sullo sfondo (Figura 3.9).

Anche in questo caso sarà necessario spuntare la casella per renderizzare l'animazione come spiegato nella sezione 3.2.2 se non si è già proceduto a farlo.

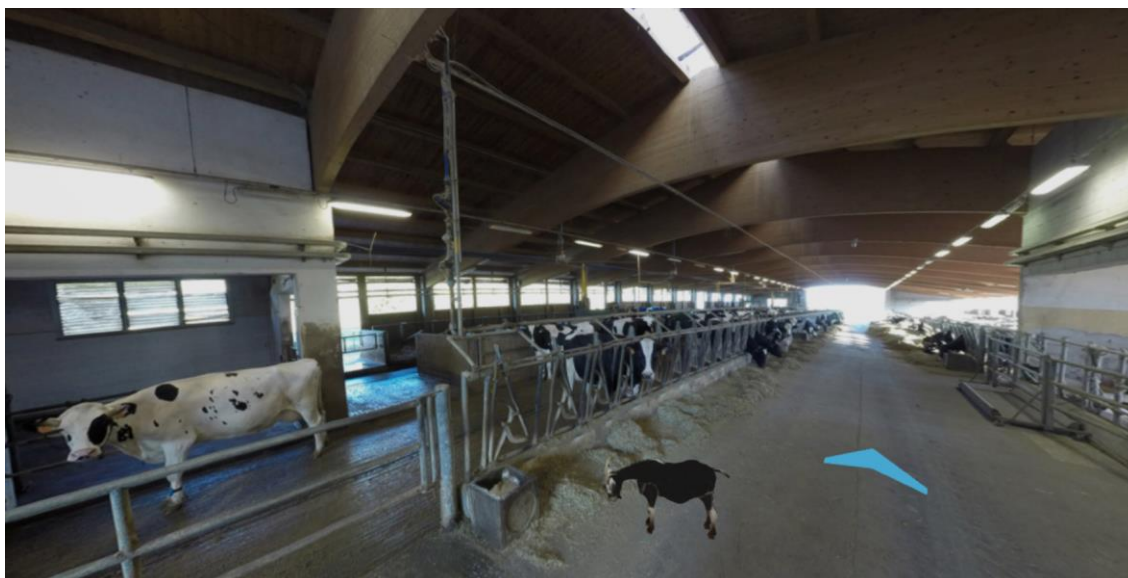


Figura 3.9: visualizzazione degli animali all'interno del nostro progetto.

3.5 Esportazione

Grazie a Blend4web, oltre ai regolari formati di esportazione forniti da Blender, abbiamo la possibilità di esportare anche in formato .html e .json. Esportare un file blender in qualsiasi versione è molto semplice, basta selezionare File → Export e il formato prestabilito. Blend4web si limita ad aggiungere i suoi metodi di esportazione a questo elenco.

Ciò che principalmente cambia tra i due metodi di esportazione è essenzialmente il loro utilizzo una volta esportati: l'html è un progetto già completo di suo per il web, con una configurazione studiata dai progettisti di Blend4web. Si tratta di una buona visualizzazione se si vuole usare Blend4web per cose elementari, ma risulta altamente scomodo andare a modificare qualsiasi parte del codice, perché non si tratta di html puro, ma di stringhe addebitamente criptate dai progettisti di Blend4web per essere scritte in formato html, ma non realmente modificabili.

Se si volesse fare un uso più approfondito e professionale di Blender per il web, sarebbe consigliabile utilizzare il formato json perché è molto più personalizzabile. Blend4Web fornisce anche un webplayer associato al formato .json, in modo da poterlo usare per caricare adeguatamente il file. Questo però non impedisce all'utente di creare un proprio webplayer con loghi o funzioni propri, personalizzando l'applicativo per qualsiasi scopo sia stato ideato.

Vista la natura strettamente dimostrativa del nostro progetto, noi opteremo per un'esportazione standard in html, utilizzando il visualizzatore integrato da Blend4Web.

3.6 Problemi riscontrati

Blend4Web è un plug-in molto valido, ma purtroppo, agendo in un campo così nuovo e particolare, ha ancora tante pecche. Di seguito illustrerò i principali problemi che ci siamo trovati ad affrontare nel corso di questo progetto e come abbiamo risolto alcuni di essi:

- Blend4web non prevede tutte le funzionalità auspicabili, ad esempio non è presente un Logic Node per gestire il mouseover, a detta degli sviluppatori

volutamente assente perché il plugin è sviluppato per lavorare multi piattaforma e gli smartphone non hanno questa capacità. Non è nemmeno possibile sostituire una telecamera con un'altra passando tra i vari punti, ma solo muoverla. Questo costringe lo sviluppatore a lavorare con la stessa telecamera per tutto il progetto, limitando a volte ciò che potrebbe invece fare utilizzando telecamere differenti interscambiabili.

- Come già fatto presente, utilizzando le immagini sulla superficie interna delle sfere, queste venivano specchiate, il che ha richiesto una modifica esterna per ogni singola foto prima del montaggio. Questo non è stato troppo pesante per il nostro progetto attuale, dato il numero limitato di punti, ma se ci trovassimo davanti centinaia di scatti, tutte queste modifiche richiederebbero troppo tempo.
- WebGL lavora male con immagini di dimensioni diverse da multipli di 2, per questo abbiamo dovuto ridurre tutte le immagini a 4096x512. Riducendole abbiamo dovuto affrontare il problema della diminuzione della qualità. Dopo aver provato tutti i metodi di compressione a nostra disposizione, abbiamo optato per una riduzione a Bicubica Nitida.
- Siccome la nostra foto è stata esportata in forma quadrangolare, mappare con essa la superficie di una sfera porta a deformarla agli apici di essa, causando problemi all'immagine. Un buon modo per evitare questo potrebbe essere, o mappare l'immagine diversamente, in modo tale che venga adeguatamente visualizzata sulla superficie della sfera, o eliminare le calotte polari e sostituirle con dei piani con delle texture personalizzate estratte dalla nostra immagine di partenza.
- Un'altro problema che ci siamo trovati ad affrontare, riguarda il posizionamento degli animali: infatti abbiamo notato che, al momento, non esistono nodi che ci diano la possibilità di far spostare un modello, per questo abbiamo dovuto ripetere i modelli degli animali per qualsiasi sfera in cui volevamo si visualizzassero. Questo ha ovviamente portato a

un maggior apporto di dati e a ulteriori rallentamenti nel caricamento del programma.

- Ultimo, ma non meno importante, risulta essere la velocità generale del programma. Infatti la nostra pagina web, richiede sempre più tempo per il proprio caricamento in particolar modo se ci troviamo davanti a un gran numero di modelli in 3D. Questo risulta essere ancora un grosso problema, ma al momento non ci sono software in grado di andare più velocemente se si vuole optare per una visualizzazione via web e non con programmi desktop.

Conclusioni

Il lavoro appena presentato getta le basi al proprio ampliamento in un progetto su larga scala che vada a inserire anche elementi tipici del metodo E-learning quali quiz e test autovalutativi. Detto ciò, il progetto si mostra nella sua natura di primo prototipo, volendo illustrare le tecnologie ad oggi ritenute più all'avanguardia e più appropriate per questa tipologia di elaborati.

Dopo una prima fase di ricerca su diverse tecnologie e software al momento a nostra disposizione, abbiamo proceduto alla realizzazione di un simulatore virtuale su Blender, che desse la possibilità all'utente di interagire con un ambiente di Realtà Mista.

Il nostro software funziona in modo tale da consentire all'utilizzatore di intraprendere un determinato percorso all'interno del portale, consentendogli di aggirarsi per le varie schermate proprio come se si trovasse su Google Maps versione Live View e stesse camminando per una via. Inoltre, all'interno delle varie schermate sarà anche possibile trovare degli animali virtuali, animati precedentemente per compiere compiti prestabiliti. Tali animazioni resteranno fisse in questa prima versione del progetto, ma saranno facilmente riadattabili per ogni esigenza nel caso si voglia portare il software ad un livello più avanzato. In quest'ultimo caso sarà quindi possibile far sì che gli animali rispondano con certi comportamenti al contatto con l'utente, consentendo di simulare anche procedure di controllo o meccanismi di sicurezza da adottare in casi di pericolo.

Per realizzare questo progetto ci siamo valse di Blend4web, plug-in per Blender realizzato da un team di lavoro russo.

Questo plug-in ci ha dato la possibilità di esportare il nostro prodotto per il web, consentendo di accedervi da ogni dispositivo dotato di una connessione Internet.

Purtroppo, visto che si tratta di software relativamente giovani, Blend4web non ci fornisce diverse funzionalità ed opzioni che sarebbero utili nello sviluppo di ambienti di Realtà Mista come quello pensato in questo documento di tesi. Ad

esempio, come è stato già illustrato precedentemente, non c'è un metodo di mouseover automatico, che deve invece essere scritto ad-hoc in python dallo sviluppatore. Inoltre orientarsi all'interno di un progetto di base risulta molto difficile: non c'è la possibilità di sovrapporre al progetto elementi fissi, ma che interagiscano con il sistema, per questo è impossibile ad esempio sovrapporre una mappa interattiva del luogo che stiamo visitando. L'unica soluzione che si può adottare in questo caso, per sistemi relativamente complessi, è la denominazione delle frecce, associando a ognuna un'adeguata indicazione per procedere.

Blender è nato come software di grafica 3D, utile per fare render di immagini o video, e non per produrre progetti da visualizzare on line. Per questo motivo, anche con la produzione di un ottimo plug-in come Blend4web, i progetti blender risultano essere ancora troppo lenti e pesanti: i tempi di caricamento iniziale possono essere anche molto lunghi e una volta all'interno del sistema può capitare che questo non sia abbastanza reattivo, per via della gran quantità di dati che si troverà a dover decodificare e analizzare, come è bel dimostrato dai tanti progetti dimostrativi messi a disposizione online dal team di Blend4web.

Detto questo ad oggi non esiste un sistema migliore di Blender e Blend4web per diffondere grafica 3D via Internet: progetti simili, come quello correntemente in sviluppo da Unity, non sono ancora in grado di competere con questa soluzione, confermandosi molto più lenti e quasi del tutto impossibili da utilizzare da mobile.

Blend4web risulta quindi un ottimo software, incredibilmente personalizzabile nella sua versione avanzata e abbastanza fruibile per progetti di piccolo calibro, come ad esempio quello da noi realizzato a supporto di questa tesi.

Per tutti gli altri progetti di grandi dimensioni, non ci resta che aspettare che esca una versione in grado di rendere il sistema più leggero o ripensare al progetto suddividendolo in parti costruibili con tecnologie diverse, in modo da dare la possibilità all'utente di navigare regolarmente senza dover attendere tempi troppo lunghi. Un'altra possibilità, applicabile anche al nostro progetto, potrebbe essere

quella di suddividere ogni schermata in un singolo progetto blend4web, suddividendo così il massiccio carico di dati, ma costringendo anche l'utente a dover attendere ogni volta il caricamento della schermata.

Come per tutte le cose, anche in questo caso ci sono pro e contro, che ci portano a dover valutare in base a ciò che ci prefiggiamo di fare, cosa faccia più al caso nostro e come piegare la tecnologia al nostro volere.

Bibliografia

- [VIR16] Virtual College, "What is e-learning?", 2016, <http://www.virtual-college.co.uk/elearning/elearning.aspx/>
- [WIK16a] Wikipedia, "Apprendimento Online", 2016, https://it.wikipedia.org/wiki/Apprendimento_online/
- [DUL16] A. Duluta, S. Mocanu. "E-LEARNING: WHO, WHY, WHERE?", in The International Scientific Conference eLearning and Software for Education, "Carol I" National Defence University, Bucharest, 2016, Vol. III, pp. 286-293.
- [WIK16b] Wikipedia, "Realtà Virtuale", 2016, https://it.wikipedia.org/wiki/Realt%C3%A0_virtuale/
- [JOH16] E. Johnson, "What are the differences among virtual, augmented and mixed reality?", Recode, 2016, <http://www.recode.net/2015/7/27/11615046/whats-the-difference-between-virtual-augmented-and-mixed-reality/>
- [CNE16] Cnet, "Virtual Reality 101", 2016, <http://www.cnet.com/special-reports/vr101/>
- [LUI16a] LuisLab, 2016, <http://www.realta-aumentata.it/home.asp/>
- [LUI16b] LuisLab, "Pepsi Max: un'incredibile installazione con la realtà aumentata", 2016, <http://www.realta-aumentata.it/pepsimax-augmented-reality.asp/>
- [YOU16a] YouTube, "MP4 1080p Nuova Renault Twingo sorprende Milano con realtà aumentata e pensiline speciali", 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=0eZsrzCqGDY/>
- [YOU16b] YouTube, "Creatures from Shadowhunters haunt Boston streets | JCDecaux North America", 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=HY28DmBdJxM/>
- [CRA16] D. Craciun, M. Bunoiu. "AUGMENTED REALITY IN ROMANIAN SCIENCE EDUCATION PROS AND CONS", in The International Scientific Conference eLearning and Software for Education, "Carol I" National Defence University, Bucharest, 2016, Vol. III, pp. 193-199.

- [MIC16] Microsoft, "Why Microsoft Hololens", 2016, <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/why-hololen/>
- [ALM16a] Alma Mater Studiorum, Corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Medicina Veterinaria, Piani Didattici, 2016, <http://corsi.unibo.it/magistralecu/medicinaveterinaria/Pagine/PianiDidattici.aspx/>
- [ALM16b] Alma Mater Studiorum, Corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Medicina Veterinaria, Presentazione, 2016, <http://corsi.unibo.it/magistralecu/medicinaveterinaria/Pagine/Presentazione.aspx/>
- [BAR15] S. Barber, "Development of 4D farms to improve students learning and safety", 2015, http://transformingassessment.com/sites/default/files/files/TA_webinar_6_may_2015_slides.pdf/
- [YOU16c] YouTube, "Development of 4D farms to improve student learning and safety", 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=kw1SK4qTiR0/>
- [CAL09] A. Calvani, "Dall'educazione a distanza all'e-learning", 2009, [http://www.treccani.it/enciclopedia/dall-educazione-a-distanza-all-e-learning_\(XXI-Secolo\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/dall-educazione-a-distanza-all-e-learning_(XXI-Secolo)/)
- [LEA16] Learning Light, "Virtual Reality Meets Learning & Development", 2016, <http://www.learninglight.com/virtual-reality-learning-development/>
- [TRE16] M. Treser, "Augmented And Virtual Reality In Education", 2016, <https://elearningindustry.com/using-virtual-reality-in-education/>
- [NMC16] NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition, "Augmented and Virtual Reality", pp. 40-41, 2016
- [VRS16] Virtual Reality Society (VRS), "History Of Virtual Reality", 2016, <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html/>
- [POL02] O. Policella, "L'open source nella pubblica amministrazione: il punto della situazione", 2002, <http://www.diritto.it/articoli/informatica/policella.html/>

- [WIK16c] Wikipedia, "Virtual tour", 2016, https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_tour/
- [CAM16] CampusTours, "The History of Virtual Tours", 2016, <http://www.campustours.com/evolution/>
- [MAS16] Mashable, "How virtual tourism will help enhance real-world travel", 2016, <http://mashable.com/2016/04/22/vr-tour-travel-brandspeak/#UK8vJjjiOkqk/>
- [TEC16] Tech Curves, "Virtual Tourism: Threat and Opportunity", 2016, <https://techcurves.wordpress.com/2016/02/12/virtual-tourism-threat-and-opportunity/>
- [EYE16] EyeForTravel, "Virtual tourism – the pathway to promotion or profit?", 2016, <http://www.eyefortravel.com/social-media-and-marketing/virtual-tourism-pathway-promotion-or-profit/>
- [OPE09] OpenCulture, "Ancient Rome in 3D on Google Earth", 2009, http://www.openculture.com/2009/03/ancient_rome_in_3d_on_google_earth.html/
- [JOU16] Journal of Critical Care, "The history of medical simulation", 2016, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883944107002018/>
- [BEL86] P. C. Bell, R. M. O'Keefe. "Visual Interactive Simulation - History, Recent Developments, and Major Issues", 1986, <http://eprints.cs.vt.edu/archive/00000022/01/TR-86-15.pdf/>
- [PAN16a] Pannellum, 2016, <https://pannillum.org/>
- [PET16] Matthew Petroff, "Pannellum 2.3", 2016, <https://mpetroff.net/2016/10/pannillum-2-3/>
- [BLE16a] Blender, History, 2016, <https://www.blender.org/foundation/history/>
- [BLE16b] Blender, About, 2016, <https://www.blender.org/about/>
- [BLE16c] Blend4web, Products and Technologies, 2016, <https://www.blend4web.com/en/technologies/>
- [SMA16] Smartworld, "LG 360 Cam, la recensione (foto e video)", 2016, <http://www.smartworld.it/recensioni/lg-360-cam/>

- [DON12] M. Donadio, "Progettazione e sviluppo di estensioni per AContent", 2012, http://amslaurea.unibo.it/4553/1/DONADIO_Mauro_tesi.pdf
- [EAS16] East Buzz, "After the AR and VR is MR magic leap: why it's worth 4.5 billion", 2016, <http://www.eastbuzz.com/2016/07/23/after-the-ar-and-vr-is-mr-magic-leap-why-it-s-worth-4-5-billion/>
- [GOO16] Google, 2016, <http://img5.pcpop.com/ArticleImages/0X0/3/3956/003956654.jpg/>
- [MAR14] E. Marchi, "Nuove metodologie di apprendimento digitale: Microlearning e Mobile learning", 2014, http://amslaurea.unibo.it/7768/1/marchi_eric_tesi.pdf
- [CLA11] R. C. Clark, R. E. Mayer, "E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning", Pfeiffer, 2011
- [CAM15] F. Campanella, "Trail me up, da Cesena gli inventori dello "street view" dedicato ai sentieri più belli", 2015, <http://www.cesenatoday.it/cronaca/trail-me-up-cesena-startup-streetview-sentieri-intervista.html/>
- [OPP15] J. Opp, "Create a Photo Sphere With Your DSLR Camera", 2015, <https://photography.tutsplus.com/tutorials/create-a-photo-sphere-with-your-dslr-camera--cms-24939/>
- [ADO16a] Adobe Photoshop Lightroom CC, "Perfect your photography from shoot to finish.", 2016, <http://www.adobe.com/products/photoshop-lightroom/features.html/>
- [ADO16b] Adobe Photoshop Lightroom CC, "See what you can do with Lightroom", 2016, <https://helpx.adobe.com/lightroom/how-to/what-is-lightroom.html?playlist=/ccx/v1/collection/product/lightroom/segment/photographer/explevel/beginner/applaunch/orientation/collection.ccx.js>
- [PAN16b] Panorama Tools, 2016, <http://panotools.sourceforge.net/>

- [HUG16a] Hugin, "Photometric alignment and vignetting correction", 2016, <http://hugin.sourceforge.net/tech/>
- [HUG16b] Hugin, 2016, <http://hugin.sourceforge.net/>
- [CRE16] Creative Overflow, "HISTORY OF PHOTOSHOP: JOURNEY FROM PHOTOSHOP 1.0 TO PHOTOSHOP CS5", 2016, <https://creativeoverflow.net/history-of-photoshop-journey-from-photoshop-1-0-to-photoshop-cs5/>
- [ADO16c] Adobe Photoshop CC, "We've been busy.", 2016, <http://www.adobe.com/products/photoshop/features.html>
- [VIS16] Visit Lab Cineca, "Un nuovo fantasmagorico progetto: Isabella d'Este Virtual Studiolo", 2016, <http://visitlab.cineca.it/?p=1727>
- [TMU16] Trail Me Up, 2016, <http://www.trailmeup.com/>
- [YOU16d] YouTube, Will W, "Use Google Camera App to Put a Spherical Picture On Your Website with Blend4Web and WebGL", 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=STYq5qQ2w2E>
- [BLE16d] Blend4web, "Blend4Web vs Unity: WebGL Performance Comparison", 2016, <https://www.blend4web.com/en/community/article/280/>

