

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e
della Produzione

**Corso di Laurea Magistrale
in Aeromeccanica e Sistemi**

Tesi di Laurea Magistrale



***Digitalizzazione e analisi di procedure operative
aeronautiche per l'addestramento di piloti in ambiente
di realtà virtuale***

Relatore

Prof. Guglieri Giorgio

Correlatore

Dr. Primatesta Stefano

Tutor Aziendale (Txt-eSolution)

Ing. Sillano Fabrizio

Candidato

Andrea Pavone

Anno accademico 2019/2020

Indice

| | |
|--|-----------|
| 1 - Introduzione..... | 6 |
| 2 – Realtà Virtuale..... | 8 |
| 2.1 – Definizione..... | 8 |
| 2.2 – Storia del VR..... | 11 |
| 3 - Stato dell’arte | 19 |
| 3.1 – Evoluzione delle procedure di training | 19 |
| 3.1.1 – E-Learning..... | 20 |
| 3.1.2 – Blended Learning | 23 |
| 3.1.3 – VR training | 24 |
| 3.2 – Hardware VR | 27 |
| 3.2.1 - Headsets | 29 |
| 3.2.2 - Controllers..... | 34 |
| 4 - Software e Hardware | 38 |
| 4.1 – SteamVR | 38 |
| 4.2 – Unity..... | 39 |
| 4.2.1 – WEAVR | 42 |
| 4.3 – HTC Vive Pro | 50 |
| 5 – Flight Deck A320 | 53 |
| 5.1 – Front Panel | 55 |
| 5.2 – Pedestal | 59 |
| 5.3 – Overhead Panel | 62 |
| 6 – De-icing Procedure | 64 |
| 6.1 – Implementazione della procedura | 66 |
| 6.2 - Descrizione degli step..... | 71 |
| 6.3 – Before Start Procedure | 75 |
| 7 – Training VR vs CBT (Test) | 77 |
| Conclusioni | 85 |
| Appendice A | 87 |
| Appendice B | 89 |
| Bibliografia..... | 90 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| Sitografia | 92 |
|-------------------------|-----------|

Abstract

Questo lavoro di tesi, sviluppato in coppia con il collega Giuseppe Brizzi, è stato svolto in collaborazione con *TxT-eSolutions*, fornitore internazionale e specializzato in soluzioni software ingegneristiche che supporta i clienti nel mercato high-tech nella loro missione e durante il ciclo di vita dei loro prodotti. Nello specifico, l'azienda ha messo a disposizione la sua piattaforma software di realtà estesa *Pacelab WEAVR*, utilizzata per lo sviluppo del progetto.

La tesi è composta da due fasi. La prima consiste nella digitalizzazione in ambiente virtuale di due procedure aeronautiche del velivolo Airbus A320, quali *Before Start* e *De-icing procedure*, che si vanno ad aggiungere ad altre procedure (After Start, After Landing, Parking, Securing the aircraft) implementate in precedenti lavori di tesi. La seconda, invece, prevede la verifica dell'effettiva efficacia del training VR mediante l'esecuzione di un test, in cui due gruppi di volontari studiano la stessa procedura (*Before Start*) utilizzando, però, due metodi diversi: un gruppo il metodo classico, basato sul *Computer Based Training*, mentre l'altro gruppo il training VR (supporto hardware utilizzato - *HTC Vive Pro*). Ad entrambi i gruppi, si concedono 30 minuti per studiare e memorizzare la procedura. Successivamente, i gruppi testeranno la procedura su un simulatore dell'A320, situato all'interno del laboratorio di Simulazione del Volo del DIMEAS (Dipartimento di Meccanica e Aerospaziale), durante il quale sarà registrato il punteggio e il tempo di esecuzione della procedura di ciascun volontario. Infine, la ripetizione del test una settimana dopo consentirà di verificare che la capacità di memorizzazione del gruppo VR sia migliore rispetto a quella dell'altro gruppo.

1 - Introduzione

Nel corso degli ultimi anni, la *Virtual Reality* (VR), oltre al campo videoludico, ha iniziato ad espandersi anche nel mercato industriale, soprattutto nel campo aerospaziale, automobilistico e medico. Gli enormi progressi nello sviluppo tecnologico degli ultimi dieci anni hanno permesso a questa tecnologia di mostrare a pieno le proprie potenzialità, tanto da attirare l'attenzione di numerosi investitori pronti a sfruttarle nelle loro aziende.

La formazione del personale costituisce un certo peso per l'azienda sia a livello economico che in termini di tempo. Infatti, nel 2009 l'attività formativa delle imprese italiane ha registrato un costo complessivo di circa 3.537 milioni di euro, nei quali sono compresi i costi per gli istruttori, i costi del lavoro e i costi relativi al tempo impiegato per l'attività formativa [1.1]. Inoltre, dai dati dell'Istat, riportati nell'articolo "La formazione nelle imprese in Italia" (2017), si registra un aumento del 5% dell'adozione di corsi formativi nel 2015 rispetto al 2010 [1.2], ma ciò è dovuto per lo più all'obbligo di tenere corsi di sicurezza e ambientali. Tuttavia, molte aziende magari preferiscono non investire nella formazione del personale. Adottando, però, la realtà virtuale come strumento di *training*, i vantaggi che essa porta, come la notevole riduzione del costo, l'aumento di sicurezza durante la formazione e la riduzione del tempo di addestramento, hanno rivoluzionato il modo di formare personale, ottenendo maggiori benefici e riducendo le spese.

In questo lavoro di tesi, fatto in collaborazione con *TxT-eSolutions*, si vuole implementare tale tecnologia nel campo aeronautico, in particolare per l'addestramento dei piloti sulle procedure operative da eseguire a bordo di un velivolo *Airbus A320*.

L'elaborato, inizialmente, introduce il concetto di realtà virtuale, le diverse definizioni che le sono state attribuite, le quali mostrano delle caratteristiche in comune come la percezione, immersione ed interazione, e come si sia evoluta nel corso degli anni, dalla sua prima apparizione con il prototipo di Morton

Heiling denominato *Sensorama* fino ai moderni dispositivi immersivi come *HTC Vive* e *Oculus Rift*.

Il secondo capitolo definisce lo stato dell'arte dei metodi di training precedentemente adottati nelle aziende, come l'E-learning, il *Computer Based Training* (CBT) o il *Blended Learning*, i quali prevedono l'utilizzo di dispositivi multimediali ed Internet per la formazione del personale, e del nuovo training VR, caratterizzato dalla possibilità di immergere la persona all'interno di un'ambiente virtuale con il quale interagire mediante l'utilizzo di *headset* e *controller* (hardware necessario per poterlo utilizzare). Inoltre, vengono esaltati i vantaggi che esso porta dimostrati attraverso degli studi.

Nel terzo capitolo, invece, vengono descritti i software (*Unity*, *Steam VR*) e gli hardware (*HTC Vive Pro*) che sono stati utilizzati nel corso di questa tesi, in particolare la piattaforma software messa a disposizione da TxT-eSolutions, *Pacelab WEAVR*.

Il capitolo successivo descrive in breve come è composto il *flight deck* di un *Airbus A320*, in modo che il lettore non si trovi disorientato quando si andranno a spiegare le procedure operative aeronautiche implementate.

Infatti, nel quinto capitolo viene descritta la procedura di *De-icing* ed accennata quella di *Before Start*, e come esse siano state implementate con il VR. Mentre nel sesto, ed ultimo, capitolo, viene descritto il test di confronto tra il training VR ed il CBT, utilizzando la procedura di *Before Start*, per verificare se l'adozione della realtà virtuale risulti effettivamente più efficace rispetto ai metodi formativi attualmente in uso.

2 – Realtà Virtuale

2.1 – Definizione

Quando si parla di realtà virtuale la prima cosa a cui si pensa è un ambiente tridimensionale, creato al computer, dove una persona può immergersi attraverso l'uso di strumenti immersivi, quali *headsets* e *controllers*, che isolano dal mondo reale e permettono di interagire con il mondo virtuale. Nel corso degli anni, sono state formulate varie definizioni di realtà virtuale [1]:

“Real-time interactive graphics with 3D models, combines with a display technology that gives the user the immersion in the model world and direct manipulation”, (Fuchs e Bishop, 1992)

Traduzione: *“Grafica interattiva in tempo reale con modelli 3D, combinata con una tecnologia di visualizzazione che offre all'utente l'immersione nel modello del mondo e la sua diretta manipolazione ”*

“The illusion of participation in a synthetic environment rather than external observation of such an environment. VR relies on a 3D, stereoscopic head-tracker display, hand/body tracking and binaural sound. VR is an immersive, multi-sensory experience”, (Gigante, 1993)

Traduzione: *“L'illusione della partecipazione in un ambiente sintetico piuttosto che l'osservazione esterna di tale ambiente. Il VR si basa su un display 3D stereoscopico con tracciatore della testa, tracciamento mano/corpo e suono binaurale. La realtà virtuale è un'esperienza coinvolgente e multisensoriale”*

“Virtual reality refers to immersive, interactive, multi-sensory, viewer-centered, 3D computer generated environments and the combination of technologies required building environments”, (Cruz-Neira, 1993)

Traduzione: “*La realtà virtuale si riferisce ad ambienti 3D generati dal computer, immersivi, interattivi, multisensoriali, centrati sullo spettatore e alla combinazione di tecnologie necessarie per la costruzioni di ambienti*”

Seppur le definizioni sopra citate siano diverse tra loro, ciascuna esalta tre principali caratteristiche della realtà virtuale: *immersione, percezione e interazione*.

Secondo Witmer e Singer (1998), l’immersione è uno stato psicologico caratterizzato dalla percezione di sé all’interno di un ambiente virtuale, che fornisce un flusso continuo di stimoli ed esperienze, e dall’interazione con esso [2]. Inoltre, un ambiente virtuale che produce un grande senso di immersione produrrà anche un livello maggiore di presenza. Per quanto riguarda i livelli di immersione, sono state individuate tre tipologie [3]:

- **Non immersivo (Desktop VR)** – a volte chiamato *Window on World systems*, è il sistema più semplice, in quanto fa uso solo di un monitor convenzionale per mostrare l’immagine del mondo virtuale. Non ci sono altri dispositivi di output.
- **Immersivo** – ultima versione dei sistemi VR. Permette la completa immersione nel mondo virtuale grazie all’utilizzo di un *HMD (Head Mounted Display)* che supporta una visione stereoscopica della scena in base alla posizione e all’orientamento dell’utente. Per isolare maggiormente l’utente dal mondo esterno vengono impiegati anche dispositivi audio, tattili e sensoriali, dei quali si parlerà in seguito.
- **Semi-Immersivo** – categoria che si posiziona tra le prime due. Tali sistemi proiettano le immagini stereoscopiche su pareti di diversa forma e convessità per dar un effetto tridimensionale dell’immagine. Un esempio pratico, mostrato in Figura 2, sono i simulatori di volo utilizzati dalle compagnie aeree per l’addestramento dei piloti.

Per quanto riguarda la presenza, essa è stata definita come un’esperienza soggettiva che consiste nel trovarsi virtualmente in un ambiente mentre si è

fisicamente in un altro. Dallo studio di Witmer e Singer emerge che il livello di presenza percepito è soggettivo, in quanto dipende dal livello di attenzione che l'utente ripone sugli stimoli prodotti dall'ambiente in cui è immerso ed anche dal livello, o meglio, dalla qualità dell'immersione. Quest'ultima è dovuta dalla capacità dell'HMD di isolare completamente l'utente dal mondo esterno, in quanto, se questa dovesse mancare, il senso di immersione verrebbe meno.



Figura 1: Livelli d'immersione¹

¹ Fonte <https://www.e-education.psu.edu/geogvr/node/875>



Figura 2: Simulatore di volo di un Airbus A320²

2.2 – Storia del VR

Negli ultimi dieci anni, lo sviluppo e la diffusione della realtà virtuale non ha fatto che aumentare, grazie all'interesse di investitori quali HTC, Sony, Samsung e tanti altri, i quali hanno creduto nelle potenzialità di tale strumento. La capacità di “trasportare” una persona all'interno di un ambiente virtuale, e di farlo interagire con esso, ha permesso la diffusione della realtà virtuale in molti settori, tra i quali si trovano quello aerospaziale, automobilistico, psicologico, medico e soprattutto nell'ambito dei videogiochi. Ciò è dovuto principalmente all'efficacia del VR nella formazione del personale nonché dal suo modesto costo.

Siamo abituati a sentir parlare di *Oculus Rift* e *HTC Vive*, i più recenti dispositivi di realtà virtuale, o di *Hololens*, per la realtà aumentata, ma questi non sono i primi dispositivi immersivi ad essere stati concepiti. Esistono prototipi molto più datati e rudimentali che proponevano un livello di

² Fonte: <https://www.blogmotori.com/all'aeroporto-di-hannover-un-simulatore-di-vo-lo-dotato-di-due-proiettori-laser-3lcd-sony/>

immersione molto più basso rispetto agli standard a cui siamo abituati oggi, ma che comunque hanno dato il via allo sviluppo dei moderni sistemi di immersione.

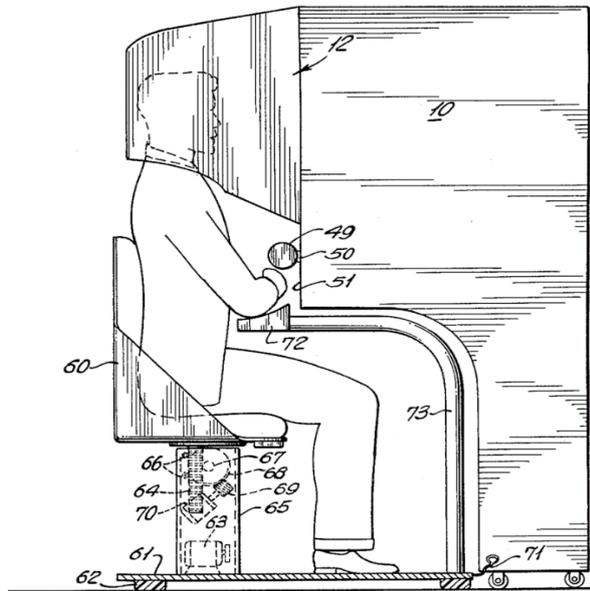


Figura 3: Sensorama³

Non si conosce l'origine esatta che ha portato al concepimento di tale tecnologia, ma nel 1962 si ebbe una sua prima applicazione grazie a Morton Heiling, il quale portò alla luce un prototipo meccanico, denominato "Sensorama" [1.3], che avrebbe permesso allo spettatore di essere "sensorialmente" coinvolto nei cortometraggi (Figura 3). L'utente doveva inserire la testa all'interno della macchina per poter godere dell'esperienza visiva e uditiva mentre riceveva feedback meccanici. Ovviamente l'esperienza offerta in quegli anni non si può paragonare a quella offerta al giorno d'oggi, dove è possibile essere isolati dal mondo reale ed immersi completamente in quello virtuale, interagendo con esso.

³ Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>

Nel corso degli anni, grazie allo sviluppo tecnologico, si è passati a prototipi sempre più efficienti ed ergonomici, in grado di garantire un alto livello di immersione all'interno dell'ambiente virtuale. Di seguito vengono presentati alcuni dei principali prototipi che hanno poi portato allo sviluppo degli attuali dispositivi di immersione:

- **“Spada di Damocle”, 1968** – dispositivo nato dall'ingegno di Ivan Sutherland, considerato il primo a adottare un visore per l'immersione nella realtà virtuale. Venne denominato così a causa della sua forma, in quanto, essendo molto pesante, era appeso al soffitto. Era costituito da due piccoli tubi catodici che proiettavano davanti agli occhi immagini 3D elaborati da modelli al computer (Figura 4) [1.4].

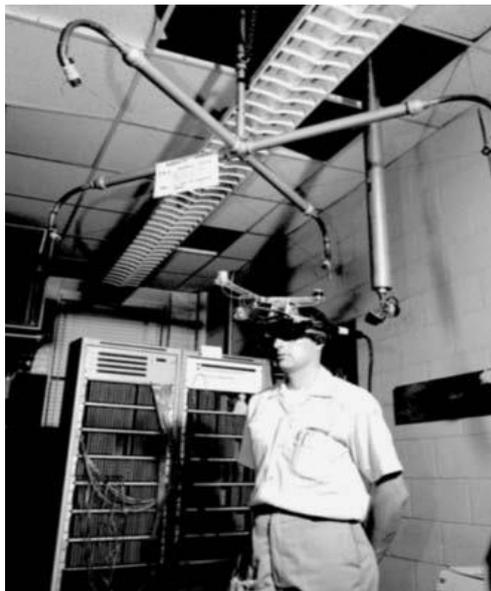


Figura 4: Spada di Damocle⁴

- **GROPE, 1971** – fu il primo dispositivo ad utilizzare il “*force feedback system*” nell'ambito della ricerca chimica condotta dall'Università del North Carolina (UNC) sullo sviluppo di un display tattile per le forze molecolari [4]. Sistema mostrato in Figura 5.

⁴ Fonte: <https://darkwhite666.blogspot.com/2016/05/il-visore-di-realta-virtuale-di.html>

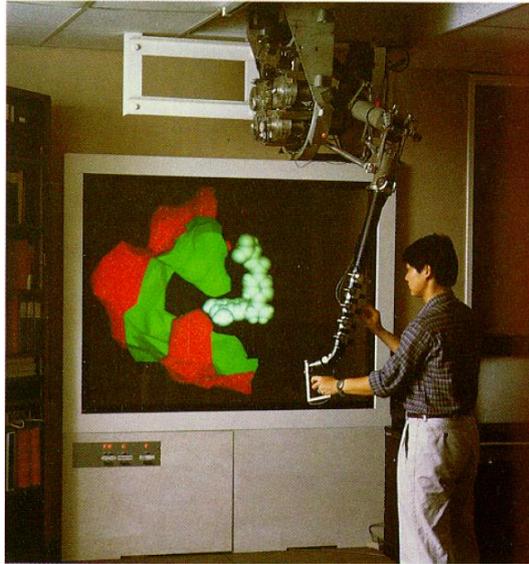


Figura 5: GROPE haptic display systems

- **Videoplace, 1975** – laboratorio di realtà artificiale istituito da Myron Krueger. Lo scopo era quello di creare una realtà artificiale che circondasse gli utenti e rispondesse ai loro movimenti, senza la necessità di dispositivi di immersione come visori o guanti [1.5]. Gli utenti erano posti in stanze diverse ma potevano comunque interagire tra loro attraverso questo ambiente interattivo tramite uso di sagome grossolane (senso di presenza per gli utenti anche in assenza di feedback tattile) [5].

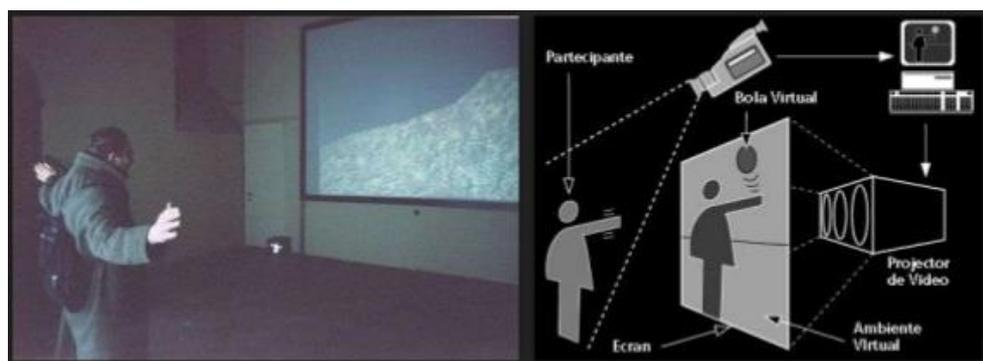


Figura 6: Laboratorio Videoplace⁵

⁵ Fonte: <https://pt.slideshare.net/jppaulo1/myron-krueger-d>



Figura 7: HMD "Darth Vader"⁶



Figura 8: Data Suite

- **VCASS, 1982** – modello funzionante di un simulatore di volo virtuale (*Visually Coupled Airbourne Systems Simulator*) presentato presso la Armstrong Medical Research Laboratories della US Air Force da Thomas Furness [6]. Il pilota utilizzava un HMD, soprannominato “Darth Vader”, con cui visualizzava le informazioni sulle traiettorie e sugli obiettivi mentre era all’interno del cockpit. La seconda parte del progetto venne chiamata “Super Cockpit” nel 1986.
- **VPL, 1984** – venne fondata da Jaron Lainer, il quale sviluppò tre dispositivi per l’immersione VR: *Data Glove* (1985), *EyePhone HDM* (1988) e la *Data Suit*. Nella Figura 8 viene mostrato l’ultimo dei tre dispositivi.
- **BOOM, 1989** – (*Binocular Omni-Orientation Monitor*) è un dispositivo di visualizzazione stereoscopica in cui l’utente guarda il mondo virtuale attraverso una scatola, dotata di due schermi CRT (*Cathode Ray Tube*), e può

⁶ Fonte: <http://voicesofvr.com/245-50-years-of-vr-with-tom-furness-the-super-cockpit-virtual-retinal-display-hit-lab-virtual-world-society/>

collocare tale scatola in qualsiasi posizione all'interno del volume operativo del dispositivo. Venne commercializzato da Fakespace Lab.

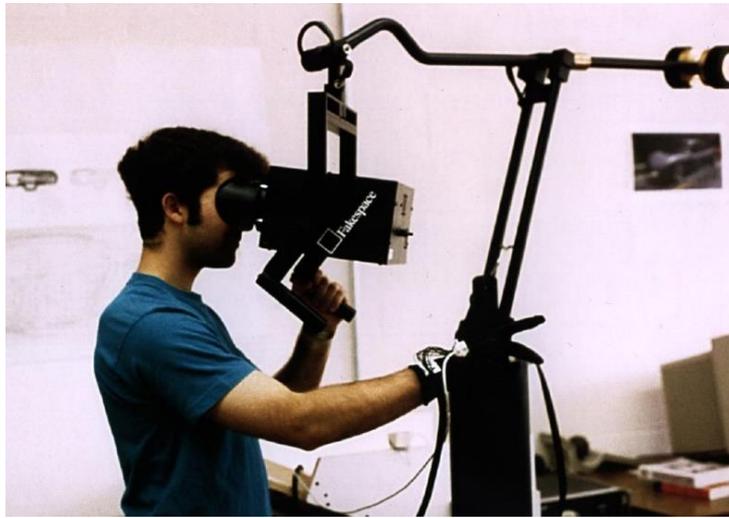


Figura 9: BOOM⁷

- **CAVE, 1992** – ambiente per la realtà virtuale immersiva costituito da una stanza sulle cui pareti vengono proiettate delle immagini 3D tramite dei proiettori appositi, e da audio surround in modo da avvolgere l'utente nel mondo virtuale con un notevole grado di immersione [1.6]. Tale sistema venne sviluppato dal Professor Daniel J. Sandin e dagli informatici Thomas DeFanti e Carolina Cruz-Neira presso l'Università dell'Illinois, Chicago.

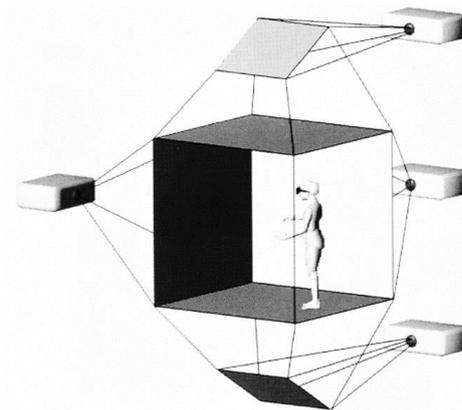


Figura 10: CAVE System⁸

⁷ Fonte: <http://www.umich.edu/~vrl/intro/>

⁸ Fonte: <https://www.evl.uic.edu/entry.php?id=1299>

- **Realtà aumentata, 1992** – sistema che permette di arricchire il mondo reale con informazioni percettive prodotte da un computer, a differenza della realtà virtuale, la quale proietta l'utente in un mondo virtuale isolandolo dalla realtà. Una prima applicazione venne sviluppata dalla US Air Force presso l'Armstrong Laboratory per l'addestramento dei piloti, i quali vedevano attraverso il visore parametri di volo. Tale dispositivo è mostrato in Figura 11.



Figura 11: Primo AR System⁹

- **Sega VR headset, 1993** – visore di gioco sviluppato per la console Sega Genesis. Era un prototipo che avvolgeva la testa dell'utente, permettendone anche il rilevamento, dotato anche di audio stereo e di schermi LCD nel visore. A causa però di difficoltà di sviluppo, il visore è sempre rimasto un prototipo e non venne commercializzato.
- **Google Street View, 2007** – è una caratteristica aggiuntiva di *Google Maps* che consente all'utente una visione a 360 gradi in orizzontale e 160 gradi in verticale delle strade mediante l'utilizzo di una Google Car dotata di telecamera che utilizza sensori CMOS e un otturatore elettronico (sviluppate da *Immersive*

⁹ Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality#/media/File:Virtual-Fixtures-USAF-AR.jpg

Media). Nel software vennero implementate le prime cinque città, il cui numero non ha fatto che aumentare nel corso degli anni.

- **Oculus Rift, 2012** – visore per realtà virtuale sviluppato da *Oculus VR*. La campagna è stata avviata nel 2012, mentre la pubblicazione ufficiale del prodotto è avvenuta nel 2016. Il dispositivo è costituito da un display per occhio con risoluzione 1080 x 1200 a 90 Hz, tracciamento posizionale a 360 gradi e audio integrato con grande attenzione sull’ergonomia ed estetica. Nella Figura 12, è mostrata la prima versione rilasciata.
- **HTC VIVE, 2016** – è uno dei più moderni dispositivi di realtà virtuale sviluppati da *HTC*, il quale non solo permette di immergersi nel mondo virtuale ma trasforma l’ambiente che circonda l’utente in uno spazio 3D, in cui egli può muoversi quasi liberamente. Tale capacità è dovuta ad una nuova tecnologia chiamata “*room scale*”. Aggiungendo al pacchetto un tracking preciso della testa e all’alta efficienza dei controller, l’utente può interagire in maniera quasi totale con il mondo virtuale.



*Figura 12: Oculus Rift*¹⁰



*Figura 13: HTC VIVE SteamVR*¹¹

¹⁰ Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift#/media/File:Oculus-Rift-CV1-Headset-Back.jpg

¹¹ Fonte: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>

3 - Stato dell'arte

In questo capitolo verrà illustrato lo stato dell'arte delle procedure di *training*, come queste si siano sviluppate fino ad arrivare all'adozione di sistemi di addestramento in VR, e dell'hardware VR.

3.1 – Evoluzione delle procedure di training

Nel corso degli anni, con l'avanzamento tecnologico, molti settori dell'industria, tra cui anche quello aeronautico, sono passati dal metodo tradizionale di addestramento, la classica lezione in aula tenuta da un istruttore, a metodi più efficaci che fanno utilizzo di computer ed altri dispositivi multimediali. Tale passo avanti ha portato ad un miglioramento significativo dell'apprendimento rispetto i metodi tradizionali, i quali riscontravano una scarsa attenzione e coinvolgimento da parte dello studente. L'ultimo passo avanti è stato fatto negli ultimi anni con l'introduzione del VR il quale ha migliorato ulteriormente l'esperienza, l'attenzione e la curiosità dello studente alla lezione. Di seguito vengono analizzate le tecniche di addestramento adottate nel corso degli anni:

- Lezione in aula
- E-Learning
- Blended learning
- VR training

Per quanto riguarda il primo punto non è necessario soffermarsi a lungo, in quanto si tratta della classica lezione tenuta in aula da un istruttore. La lezione in aula comprende diversi metodi di insegnamento che enfatizzano l'istruttore come ruolo centrale (lettura, dimostrazioni, esercitazioni, ecc....) o gli studenti stessi (interazioni, discussioni, lavori di gruppo, per esempio). Tale metodo presenta molti svantaggi in termini di stimolazione, attenzione e coinvolgimento da parte dello studente. Egli partecipa in modo passivo, ascolta l'istruttore e studia da un libro, perciò l'attività non risulta molto stimolante e

ciò che ne deriva è la perdita dell'attenzione (nel campo aeronautico si traduce in un approccio indiretto con il velivolo o con i sistemi su cui si dovrebbe svolgere l'operazione). Grazie all'avvento dei computer ed ai dispositivi multimediali, è stato possibile migliorare questo aspetto ed aumentare di conseguenza l'efficacia delle lezioni.

3.1.1 – E-Learning

L'*E-learning* è l'insieme di modi in cui le tecnologie multimediali e Internet sono utilizzati per migliorare la qualità dell'apprendimento facilitando l'accesso alle risorse e ai servizi, così come anche agli scambi in remoto e alla collaborazione a distanza¹².

L'integrazione di suoni e immagini nelle presentazioni ha reso più facile ed efficace lo studio e l'apprendimento della materia, mentre l'utilizzo di software simulativi (Microsoft Flight's Simulator, ATC Simulator o Airway Sim), eseguibili anche nei comuni PC, ha permesso lo sviluppo delle skills dello studente. La prima generazione a far uso di tale metodo risale agli anni '80 con l'utilizzo dei CD, la seconda agli anni '90 con l'avvento di Internet, il quale permise l'evoluzione del processo di interazione e comunicazione tra studenti ed insegnanti [7]. Vi sono molti vantaggi nell'adozione di tale metodo:

- Ampliamento delle relazioni tra studenti attraverso un forum;
- Riduzione delle barriere con conseguente aumento della partecipazione;
- Incremento della motivazione gli studenti ad interagire con gli altri scambiando punti di vista.

Un ulteriore studio venne fatto da Scholz D. e Thorbeck J. evidenziando i pro e contro del *Computer Based Training* (CBT) applicato ad un corso di progettazione del velivolo. Vengono evidenziati molti vantaggi, tra cui il miglioramento dell'apprendimento, il quale diventa interattivo, multimediale,

¹² Definizione dal documento COM (2001)172 della Commissione delle Comunità Europee del 28 marzo 2001

auto-formativo, personalizzato e fruibile a distanza [8]. Ad ogni studente viene assegnato un computer all'interno del quale sono presenti i programmi contenenti attività formative, come la descrizione di un sistema oppure una serie di azioni che si dovranno effettuare davanti al velivolo reale. Un esempio è illustrato in Figura 14.

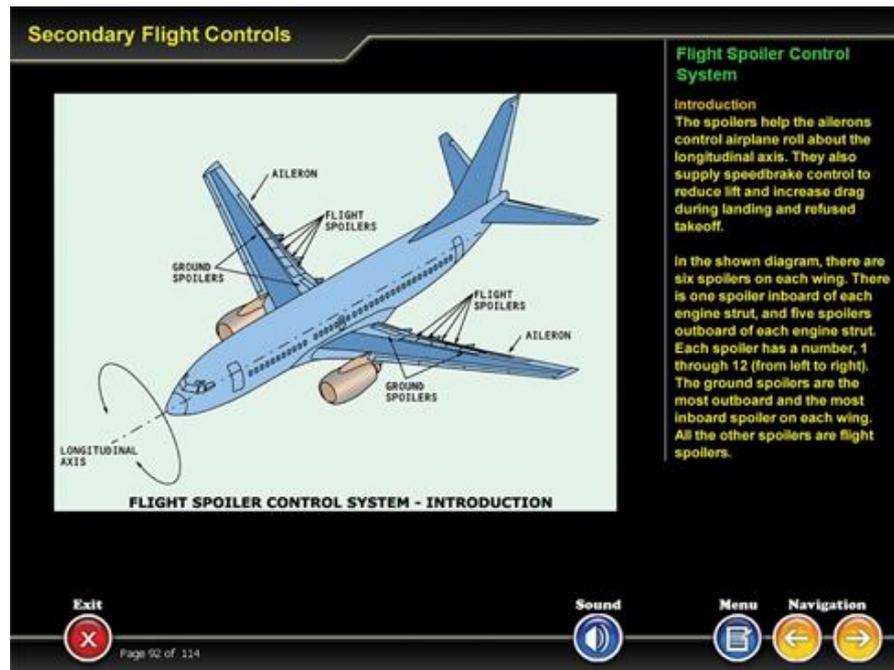


Figura 14: Esempio di file multimediale usato nel CBT che illustra le superfici di controllo secondarie con, a destra, la relativa spiegazione¹³

Esistono due tipologie di CBT [1.7]:

- *Student-paced CBT*, ovvero il classico CBT, dove lo studente studia autonomamente il materiale multimediale fornitogli;
- *Instructor-lead CBT*, ovvero il classico CBT ma con la guida di un istruttore.

¹³ Fonte: <http://aerotraining.aero/page-ata27-flight-controls>

Quest'ultima è più completa rispetto la prima, in quanto si avvale della presenza di un istruttore che può guidare ed aiutare gli studenti nell'apprendimento della materia di studio. Essendo una combinazione tra CBT e lezione con istruttore, può già essere considerato come metodo Blended Learning, il quale verrà trattato nel seguente paragrafo.

Nonostante abbia molti vantaggi, il CBT risulta, però costoso per le aziende, sia in termini di tempi di sviluppo che di costo vero e proprio (tra 25000 \$ e 50000 \$). Tali spese sarebbero anche giustificabili se il numero di allievi fosse elevato, ma la realtà è ben diversa; infatti, nel settore aeronautico il numero è abbastanza limitato.

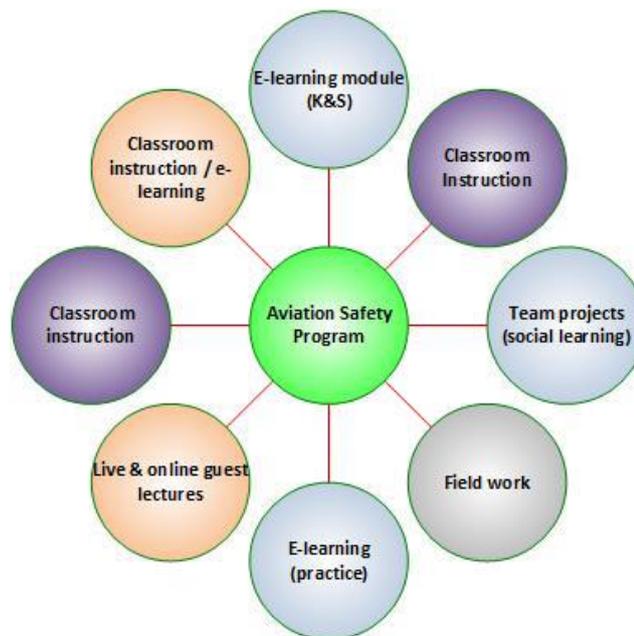


Figura 15: Blended learning per un programma di Sicurezza Aeronautica. Nei cerchi sono rappresentati i corsi e le attività del programma.¹⁴

¹⁴ Fonte: ICAO, “Taxonomy to Assist in the Identification of Instructional Methods (E-learning, Classroom and Blended Training)”, GLOBAL AVIATION TRAINING, 2016

3.1.2 – Blended Learning

Il *Blended Learning* non è un metodo formativo vero e proprio, ma può essere visto come un'integrazione di vari metodi, strumenti e tecniche usati per creare le migliori condizioni possibili per l'apprendimento. Infatti, lo scopo è sfruttare i vantaggi di entrambi i metodi, lezioni in aula ed E-Learning, per raggiungere efficacemente i risultati di apprendimento previsti [9]. In Figura 15 è mostrato lo schema di tale metodo applicato all'*Aviations Safety Program*.

Nel 2018 è stato testato uno strumento multimediale su studenti aeronautici dell'University of Brighton in School of Computing Engineering and Mathematics per verificare la sua efficacia nel migliorare e sviluppare la creatività, il pensiero critico e il problem solving degli studenti [10]. Lo strumento in considerazione è il *Nearpod*¹⁵ di cui un esempio in Figura 16. È stato dimostrato che la media degli studenti che partecipavano alla lezione con il *Nearpod* era del 18% più alta rispetto a quelli che partecipavano alla lezione classica; inoltre, è risultato che la maggior parte degli studenti preferisca questo tipo di strumento rispetto al Power Point.

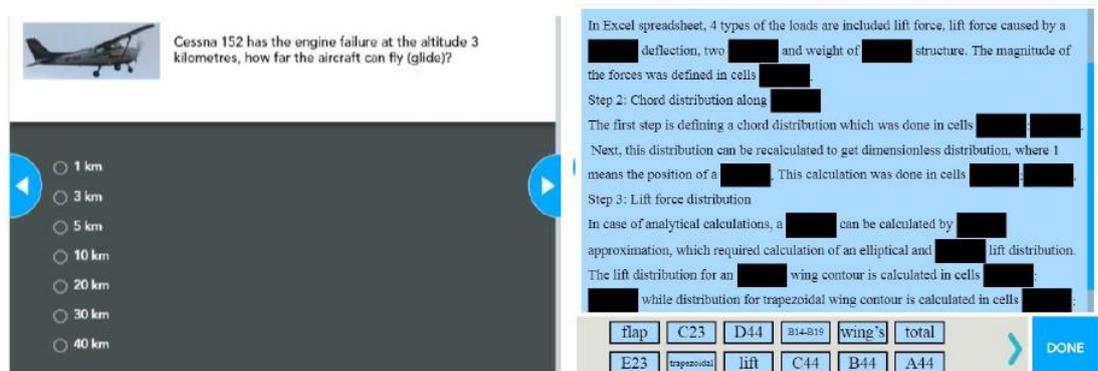


Figura 16: Esempio di sondaggio (a sinistra) e di riempimento spazi vuoti (a sinistra) del Nearpod¹⁶

¹⁵ “Strumento di apprendimento avanzato che consente di creare una presentazione interattiva con quiz, sondaggi, attività di disegno, valutazioni e test di memoria.”

¹⁶ Fonte: Agnieszka Kwiew, “Teaching Aircraft Design through a Blended Learning method in higher education”, Brighton in School of Computing Engineering and Mathematics, 2018

3.1.3 – VR training

La tecnologia VR si sta rapidamente evolvendo e molte industrie la stanno già sperimentando, testando le loro capacità nel campo aeronautico, medico, manifatturiero e in molti altri campi. Nel campo aerospaziale, *Business Wire* ha riportato, in un suo articolo, che l'investimento sulla tecnologia VR e AR (*Augmented Reality*) aumenterà da 78 milioni di dollari (2019) a 1372 milioni di dollari (2025) [1.8]. Tale aumento è sicuramente dettato dall'efficacia del VR nel rendere le operazioni più fluide, dovute alla stimolazione della memoria visiva e motoria delle procedure svolte dall'utente, e nel portare risparmi sui costi di addestramento del personale (piloti, manutentori, attendenti in cabina e personale di terra). Come detto in precedenza, il VR fa uso di un *headset* (visore + cuffie), che permette all'utente di immergersi nell'ambiente virtuale in cui andrà ad operare, dei *controllers* o *data gloves* per poter interagire con l'ambiente ed infine, usato maggiormente dai piloti, del sistema tattile o *force feedback* che permette di trasmettere all'utente vibrazioni ed altre sensazioni per aumentare il livello di realismo. Un esempio di quest'ultimo sistema è rappresentato da guanti prodotti dalla BeBop per la US Air Force MOTAR (*Maintenance Operations and Training Augmented Reality*), mostrati in Figura 17.



Figura 17: Data gloves prodotti da BeBop dotati di sistema tattile¹⁷

¹⁷ Fonte: <https://www.printedelectronicsworld.com/articles/18233/bebop-sensors-wins-us-air-force-contract-sibr-award>

Come i piloti, anche le hostess e gli stuart sono soggetti ad addestramento in VR, così da poter far pratica in determinate situazioni di emergenza o pericolo (emergenza medica, fuoco a bordo o evacuazioni di emergenza) senza che vi sia nessun rischio effettivo [1.9]. In Figura 18 viene mostrata una classe di “cabin crew” in cui fanno pratica contemporaneamente più studenti, con la possibilità di selezionare diverse tipologie di scenario e tutti nello stesso luogo in modo da riscontrare un risparmio sulle camere speciali e sui simulatori; ciò si traduce in un minor costo ed in una maggiore efficacia nell’addestramento.



Figura 18: A sinistra, addestramento per cabin crew. A destra, procedura per ground crew¹⁸

Molto importante è anche la sicurezza offerta dal VR, il quale permette di affrontare, più volte, situazioni o procedure rischiose in modo sicuro, portando ad un miglioramento delle skills del personale e di conseguenza ad una risposta più rapida ed efficace durante reali situazioni di pericolo. Infatti, uno studio fatto su un simulatore di guida per la riduzione del rischio per il personale di terra (facendo uso di Oculus Rift), portato avanti da Circuit Stream e Vintage Airport Group, riporta un risparmio di circa 200 mila dollari annui sui costi

¹⁸ Fonte: <https://jasoren.com/aviation/>

d'addestramento, una riduzione dei tempi di formazione (prima occorre 10000 ore per il trasporto degli istruttori nelle sedi di addestramento) e un ulteriore risparmio di 10 milioni di dollari sui potenziali rischi di incidenti [2.0]. Una dichiarazione a riguardo è stata rilasciata dal manager di Vantage Airport Group, Pascal Poudenx:

“Firstly, we are able to save on training time and costs and find ways for employees to safely practice what they learn. Secondly, we reduce risk when we are able to experience things in training difficult to recreate in reality, like being exposed to the jet blast of an aircraft engine.” (Pascal Poudenx, manager of process design and sustainability)

Traduzione: *“In primo luogo, siamo in grado di risparmiare su tempo e costi di formazione e di trovare modi che permettano agli impiegati di praticare in sicurezza ciò che apprendono. In secondo luogo, riduciamo il rischio quando siamo in grado di sperimentare cose in addestramento difficili da ricreare nella realtà, come l'essere esposti al getto di un motore di un aereo.”*

Non solo per formare gli operatori a terra, ma soprattutto per l'addestramento dei piloti, l'aumento della sicurezza è un “*must*”. L'AOPA (*Aircraft Owners and Pilots Association*), in collaborazione con Liberty University, ha riportato gli incidenti avvenuti durante l'addestramento in volo nell'arco di 16 anni (2000-2015), riscontrando 240 casi di cui la maggior parte dovuti ad una perdita di controllo del velivolo (129 casi) [11]. Ovviamente, tale causa non perviene solo durante l'addestramento ma anche durante veri e propri voli di aviazione generale e militare, e ciò porta alla necessità di una revisione del metodo di addestramento dei piloti. Nel 2019, infatti, l'US Air Force ha lanciato un nuovo programma di addestramento chiamato “*Pilot Training Next*” in cui 30 studenti hanno fatto uso di visori VR e dell'AI biometrico avanzato invece dei simulatori di volo [12]. L'USAF è passata dall'impiegare circa 1 anno di addestramento al simulatore (spesa di 4,5 milioni di dollari) all'impiegare 4 mesi di addestramento in VR (per 13 piloti) affrontando una

spesa “trascurabile” di 1000 \$/cad. Non meno importante è la possibilità di passare da un cockpit ad un altro (semplicemente con alcune modifiche al codice di programmazione), come ha spiegato Claire Ellis: “*taking just 10 seconds for a student to go from flying a T-6 trainer to an F-22*”. Non solo dal punto di vista formativo, ma anche nel trattamento dei disturbi post-traumatici da stress, la tecnologia VR ha mostrato risultati positivi.

Questi studi hanno portato alla luce tutte le potenzialità dell’uso della realtà virtuale nel campo formativo, e di come essa possa risultare benefica sia a livello economico per le aziende che a livello formativo per gli allievi. Di seguito sono elencati i vantaggi dell’uso di tale tecnologia:

- risparmio sul costo
- tempi di addestramento ridotti
- maggior sicurezza nell’addestramento
- maggior efficacia nell’apprendimento

Visti i risultati positivi riscontrati dalle varie aziende, aeronautiche e non, la realtà virtuale è sicuramente la miglior soluzione da adottare rispetto a quelle precedentemente citate. Nonostante ciò, il Blended Learning e il CBT rimangono ancora ottimi metodi formativi, che affiancheranno il VR fino a quando quest’ultimo non sarà completamente impiegato nei sistemi formativi aziendali.

3.2 – Hardware VR

Si è visto nel precedente capitolo come, nel corso degli anni, i dispositivi immersivi, quali *headsets* e *controllers*, si siano evoluti fino ad arrivare ai visori all’avanguardia in commercio oggi. Se prima vi era una differenza notevole nell’aspetto e nel funzionamento, adesso questa differenza si è molto attenuata, tanto che i diversi visori prodotti dalle aziende (HTC, Sony, Samsung, ecc....) sono molto simili nell’aspetto, come si può vedere in Figura 19, ma con caratteristiche tecniche e funzionamento diversi. Per quanto riguarda il nostro studio, abbiamo fatto affidamento ad HTC Vive Pro.

Un sistema completo VR comprende, oltre agli headsets e controllers, anche le *base stations*, senza le quali non sarebbe possibile il tracciamento nello spazio del visore e dei controllers. Ovviamente esistono anche sistemi che non prevedono l'uso di quest'ultime, ma questi risultano essere meno prestanti come si vedrà in seguito.



Figura 19: HTC Vive Pro (in alto a sx), Oculus Rift (in alto a dx), Playstation VR (in basso a sx), Valve Index (in basso a dx)¹⁹

¹⁹Fonte:<https://www.amazon.it/HTC-Vive-Pro-Starter-Kit/dp/B07MDM6PNY>,
<https://4news.it/guida-per-principianti-alla-vr-parte-ii-il-miglior-visore-vr/>,
<https://www.playstation.com/it-it/get-help/help-library/system---hardware/general-information/playstation-vr/>,
<https://www.everyeye.it/notizie/valve-index-annunciati-prezzo-data-uscita-specifiche-visore-vr-375536.html>

3.2.1 - Headsets

Il visore per la realtà virtuale, comunemente chiamato *headset*, è costituito da display stereoscopico (tecnica usata per aumentare l'illusione della profondità), da cuffie regolabili poste al lato del visore per la riproduzione del suono e da una scheda elettronica in cui sono alloggiati i vari sensori per il *motion tracking* del visore, quali giroscopi, accelerometri ecc...

Lenti

Una delle parti più importanti del visore è proprio la lente, la quale deve garantire un'ottima visione dell'immagine e un ampio *field of view* (FOV). Il campo visivo dell'occhio umano si estende su 180°, ma posizionando delle lenti ad una distanza molto ravvicinata all'occhio (scelta dettata da una questione di dimensioni e costo), la visuale risulterà ristretta. Per ampliare tale campo visivo, nella maggior parte degli HMD sono state montate delle *lenti Fresnel*, molto sottili e caratterizzate da anelli concentrici intagliati che permettono di ottenere un'alta qualità dell'immagine e di ampliare il campo visivo senza la necessità di utilizzare una serie di lenti [2.1]. Questi, però, non risolvono il problema delle distorsioni a barilotto o a cuscinetto, perciò si interviene tramite software, il quale pre-deforma l'immagine in modo opposto rispetto la distorsione della lente così da ottenere un'immagine abbastanza corretta, come mostrato in Figura 20.

Inoltre, l'effetto d'ingrandimento delle lenti (necessario a causa dell'estendere l'ampio campo visivo su di un singolo display) può dar luce ad un effetto chiamato *screen door*, conseguenza di una bassa risoluzione del display in quanto permette la distinzione dei pixel (come se ci fosse davanti una zanzariera). Una possibile soluzione potrebbe essere aumentare la risoluzione del display oppure migliorare la gestione dei *subpixel* [2.2]. Normalmente, all'interno di un pixel sono presenti tre subpixel (rosso, verde e blu), i quali vengono illuminati con diverse intensità e combinati tra di loro per la produzione di uno specifico colore. La combinazione non avviene solo

all'interno del pixel ma anche tra i pixel adiacenti. Infatti, come mostrato in uno studio fatto da Lu Fang ed Oscar C. Au, si dimostra il miglioramento

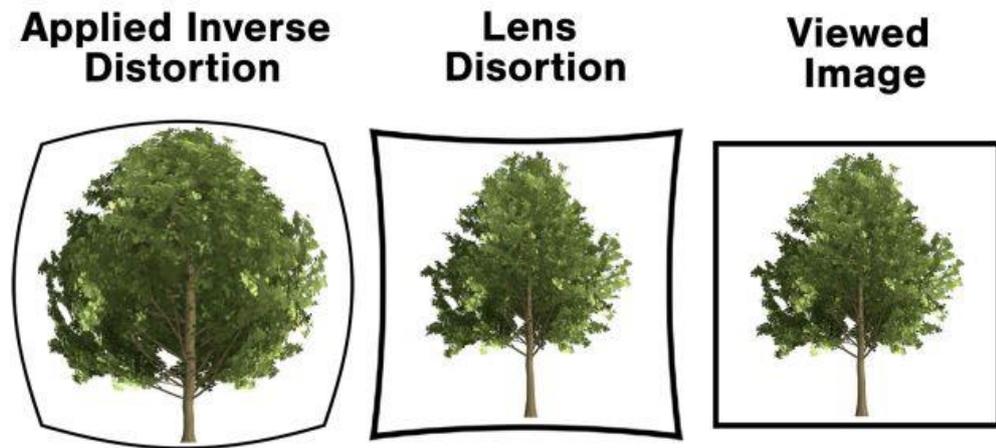


Figura 20: Correzione del software applicata alla distorsione prodotta dalla lente²⁰

della risoluzione di uno schermo LCD utilizzando il *Subpixel-based down-sampling method*, in cui vengono controllati i subpixel invece che i pixel [13]. Grazie a tale metodo è possibile risolvere il problema dello screen door.

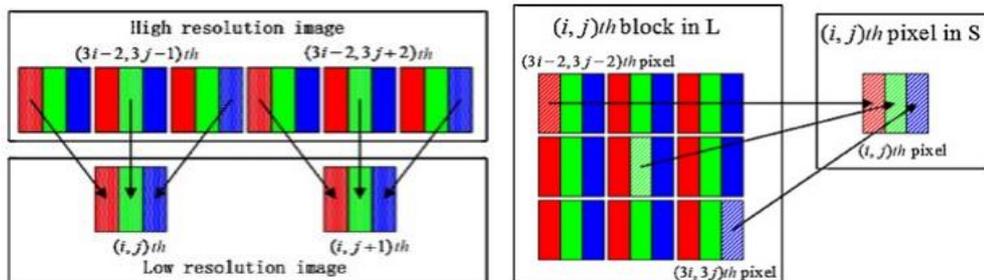


Figura 21: A sinistra, DSD Pattern (Direct Subpixel-based Downsampling). A destra, DDSD Pattern (Diagonal Direct Subpixel-based Downsampling)

²⁰ Fonte: <https://www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html>

Inoltre, la conta dei subpixel è un metodo che permette di predire più accuratamente la nitidezza e la chiarezza di un'immagine piuttosto che la risoluzione. Infatti, una conta maggiore di subpixel, a parità di risoluzione, si traduce in una migliore qualità grafica del visore. Ad esempio, Oculus Quest e Valve Index hanno la stessa risoluzione (1440 x 1600), ma l'Index ha più subpixel (6.9M vs 4.6M) e ciò si traduce in una maggiore nitidezza dell'immagine [2.3].

Motion Tracking

Il *motion tracking* è un metodo di individuazione della posizione e movimento dell'HMD, controllers ed altri dispositivi VR all'interno di uno spazio Euclideo, i quali vengono riprodotti nell'ambiente virtuale. Per poter garantire un maggiore livello di immersione, occorre implementare un sistema a 6 gradi di libertà (6 DoF), il quale implica la possibilità di movimento (tracking posizionale) e di rotazione (tracking rotazionale) di un corpo rigido all'interno di uno spazio 3D. I sistemi a 3 gradi di libertà (3 DoF) permettono solo la rotazione attorno ai tre assi senza la possibilità di muoversi lungo essi.

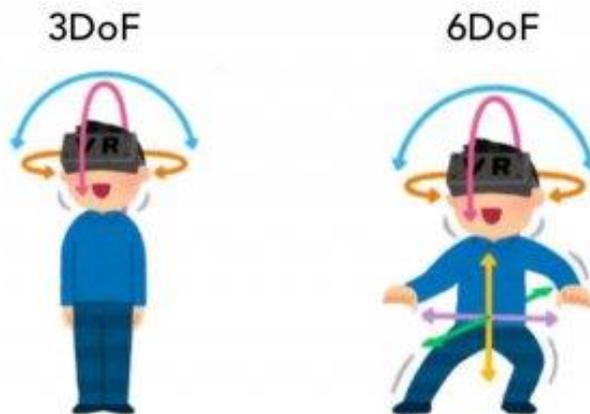


Figura 22: Differenza tra 3 DoF e 6 DoF²¹

²¹ Fonte: <https://steantycip.com/blogs/vr-motion-tracking/>

Un esempio di visori a 3 DoF sono Google Daydream, Samsung GearVR e Oculus GO, mentre quelli a 6 DoF sono quelli che garantiscono maggiore immersione come HTC Vive, Oculus Rift ed altri già citati.



Figura 23: Configurazione dell'area di movimento con SteamVR²²

Il sistema di tracciamento può essere esterno (*outside-in*) o interno (*inside-out*) [2.4]:

- **Outside-in tracking, o tracciamento esterno**, è un sistema che fa affidamento a dei sensori esterni per il tracciamento del visore e dei controllers rispetto all'ambiente esterno, i quali vengono fissati sulle pareti per individuare l'area di movimento. Tali sensori sono chiamati *base stations*, mostrati in Figura 23, e possono esserne installati un numero che va da uno fino a quattro nelle configurazioni più comuni. Lo standard è definito da *SteamVR*, di cui si parlerà nel prossimo capitolo. L'outside in tracking è il sistema usato dalla maggior parte dei visori, come HTC Vive, Oculus Rift e Valve Index, in quanto più accurato (aumentando il numero di base stations si aumenta l'accuratezza) e con meno latenza; quest'ultima particolarmente importante se non si vuole avere la sensazione di nausea mentre si usa l'HMD (*motion sickness*). Ovviamente tale sistema presenta

²² Fonte: <https://www.wareable.com/vr/inside-out-vs-outside-in-vr-tracking-343>

due problemi principali: il primo dovuto alla presenza del cavo che collega l'headset al PC, in quanto esso può intralciare il movimento dell'utente, il secondo determinato dalla presenza di oggetti all'interno dell'area di movimento, i quali possono oscurare l'HMD rendendone difficile il tracciamento (i sensori devono essere in grado di tracciare l'utente a 360 gradi, perciò può essere problematico se lo spazio a disposizione è limitato).

- **Inside-out tracking, o tracciamento interno**, è un sistema che prevede una camera posizionata nel visore, la quale rii-coordina la posizione nella stanza, dando l'impressione di movimento all'interno dell'ambiente virtuale in tempo reale. In questo modo, la mobilità durante l'uso aumenta notevolmente, tanto che si può avvertire la sensazione di libertà (molto usato per sistemi di realtà aumentata). Inoltre, questo indica anche un aumento della sensazione di realtà nel mondo virtuale. Nonostante ciò, non è un sistema molto usato in quanto si ha una perdita di accuratezza ed un aumento della latenza, in quanto tutto il lavoro computazionale viene effettuato da un processore installato nel visore, ovviamente meno potente rispetto a quello di un PC.

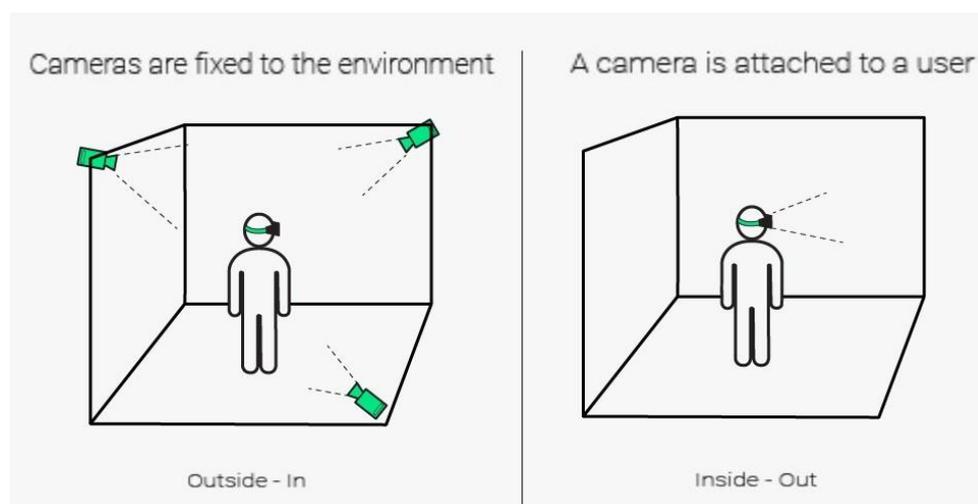


Figura 24: Outside-in (a sinistra) vs Inside-out (a destra) tracking²³

²³ Fonte: <https://thewild.com/blog/architect-getting-started-with-vr>

3.2.2 - *Controllers*

I *controllers*, come gli *headsets*, sono anch'essi dotati di vari sensori all'interno come giroscopi, accelerometri, infrarossi ecc., per permettere il loro tracciamento ed il loro orientamento rispetto al visore. Per poter interagire nell'ambiente virtuale, tali dispositivi sono dotati di grilletti o *triggers* (usati per prendere oggetti nel mondo virtuale o per premere pulsanti), comunemente posti sulla parte posteriore, pulsanti posti ai lati e/o sul dorso e trackpad (usato soprattutto per tele-trasportarsi all'interno dell'ambiente virtuale) posto sul dorso del controller.



Figura 25: *Controllers HTC Vive (a sinistra) e Oculus Touch (a destra)*²⁴

A differenza dei visori, i quali risultano simili tra loro per aspetto e funzione, molti *controllers*, come si può osservare in Figura 25, possono avere una diversa ergonomia, dettata dalla forma con cui sono stati progettati, e anche funzioni diverse, alcuni con gradi di immersione superiori rispetto ad altri. Infatti, rispetto ai *controllers* di HTC, gli *Oculus Touch* sono dotati anche di un sistema in grado di rilevare il movimento delle dita, permettendo un'esperienza più realistica. L'azienda Valve ha infatti prodotto recentemente dei nuovi *controllers* chiamati *Knuckles*, i quali possono essere visti come una fusione

²⁴ Fonte: <https://www.vigamusmagazine.com/145486/quanto-spazio-servira-touch-vive/>

delle caratteristiche di HTC Vive ed Oculus Touch. Infatti, essi integrano sia il trackpad che il sistema di tracciamento delle dita di Oculus con l'aggiunta di una cinghia che, stringendola, aderisce il controller alla mano evitando la caduta del controller se si rilascia la presa su di esso [2.5]. Inoltre, sull'impugnatura sono presenti sensori per rilevare la posizione del dito medio, anulare e mignolo, migliorando la capacità di presa nell'ambiente virtuale. In Figura 26 viene mostrata tale caratteristica.

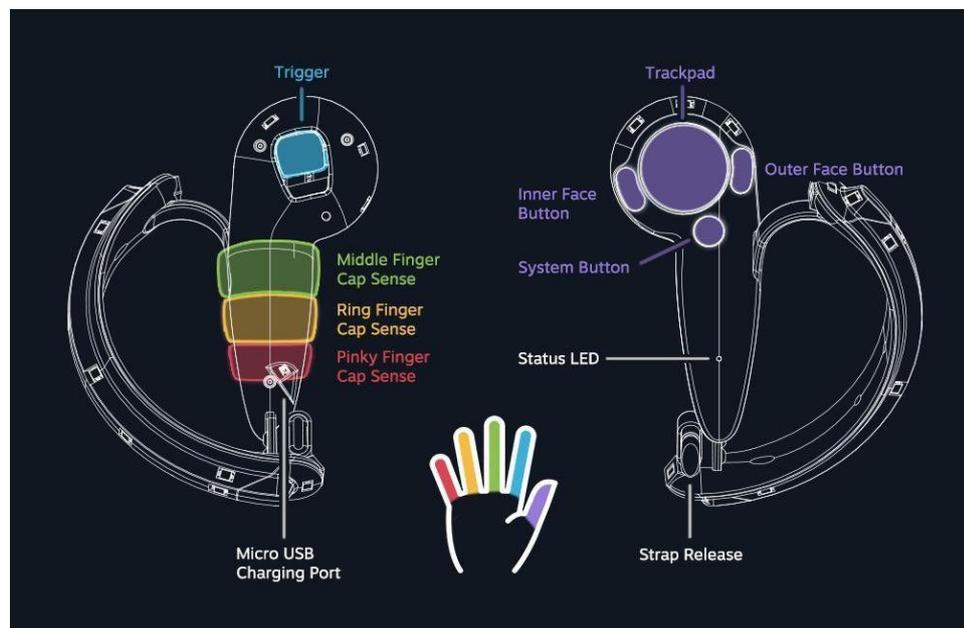


Figura 26: Diagramma dei Valve's Knuckles²⁵

VR Gloves

Il livello successivo è rappresentato da un sistema che non prevede l'uso di un controller da impugnare, ma da indossare; tali controllers sono i *VR Gloves*. Questa tecnologia è in grado di simulare l'intera mano ed il movimento delle singole dita all'interno dell'ambiente virtuale. Inoltre, alcuni guanti sono anche dotati di *feedback tattile* che consente all'utente di "sentire" l'oggetto virtuale con cui si sta interagendo. In questo modo, si offre un'esperienza di controllo

²⁵Fonte: <https://www.vr-italia.org/valve-knuckles-controllers-tutto-quello-che-occorre-sapere/>

molto più immersiva e realistica rispetto ai classici controller di plastica, e ciò si traduce, naturalmente, in un maggior costo.

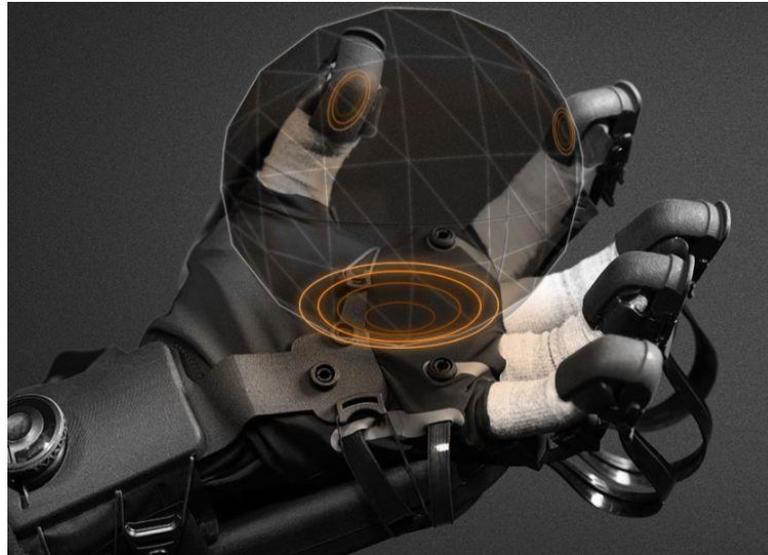


Figura 27: HaptX's Gloves²⁶

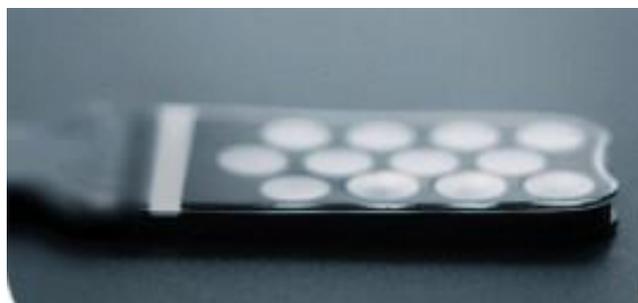


Figura 28: Pelle microfluidica integrata negli haptic gloves di HaptX²⁸

Un esempio sono i guanti sviluppati dalla *HaptX*, i quali hanno adottato la *tecnologia a microfluidica*²⁷ che consente di percepire la forma, il movimento, la consistenza ed il peso degli oggetti VR spostando la pelle dell'utente nello

^{26,28} Fonte: <https://haptx.com/technology/>

²⁷ Tessuto intelligente flessibile a base di silicone con spessore di 1.5 mm, contenente 130 attuatori pneumatici e canali d'aria microfluidici.

stesso modo in cui farebbe un oggetto reale quando viene toccato (Figura 28) [2.6]. L'esoscheletro ultraleggero è in grado di applicare fino a quattro libbre di forza su ogni dito, grazie agli attuatori microfluidici ad alta densità. Infine, ciò che rende così accurato il tracciamento della mano (precisione sub-millimetrica con sei gradi di libertà per dito) è l'utilizzo di un sistema di tracciamento magnetico.

Leap Motion Controller

Prodotto dall'azienda *ultraleap*, il leap motion controller è un modulo di tracciamento ottico che cattura il movimento delle mani e delle dita in modo molto accurato (senza l'uso di specifici guanti), in modo tale da interagire in maniera più naturale con i contenuti virtuali [2.7]. Il tracciamento è possibile grazie a delle camere poste sull'headset, come in Oculus Rift o HTC Vive Pro, le quali coprono un campo visivo di 140 x 120° ad una distanza di 60 cm e sono in grado, tramite un software, di riconoscere 27 elementi diversi della mano (incluse ossa e giunture). Inoltre, per il feedback tattile sono previsti dei piccoli *speakers* che emettono onde ad ultrasuoni (Figura 29), attivati singolarmente con uno specifico tempo, in modo che colpiscano lo stesso punto nello spazio e nello stesso istante (punto focale). Tali sistemi sfruttano i punti di pressione della mano per creare un variegato range di effetti tattili come un click, uno scan, una scossa ecc...

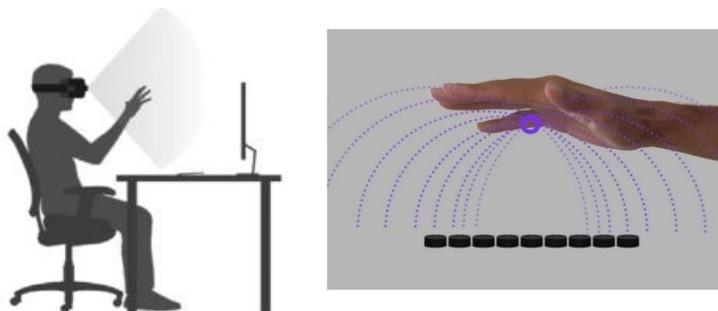


Figura 29: Leap Motion controller (a sinistra)²⁸, Speaker ad ultrasuoni (a destra)²⁹

²⁸ Fonte: https://www.ultraleap.com/datasheets/Leap_Motion_Controller_Datasheet.pdf

²⁹ Fonte: <https://www.ultraleap.com/haptics/>

4 - Software e Hardware

In questo capitolo verranno descritti tutti i software e l'hardware utilizzati per realizzare il qui presente lavoro di tesi. Sono stati utilizzati per la creazione dell'ambiente virtuale, nel nostro caso il cockpit di un Airbus A320, in cui l'utente può immergersi ed interagire per apprendere le *SOP (Standard Operative Procedures)*. I software utilizzati sono *SteamVR*, *Unity* e *Pacelab WEAVR* (sviluppata da *TxT e-solutions Spa*), mentre, per quanto riguarda l'hardware, abbiamo utilizzato *HTC Vive Pro* ed il *simulatore dell'A320* (discusso nell'ultimo capitolo), situato nel laboratorio di simulazione del volo del Politecnico di Torino, usato per il test finale dal gruppo che ha utilizzato il VR e quello che ha utilizzato una presentazione PowerPoint.

4.1 – *SteamVR*

SteamVR è un software di realtà virtuale, sviluppato da *Valve* in collaborazione con *HTC*, che permette di gestire l'hardware (*HTC Vive Pro* nel nostro caso) nell'ambiente virtuale. Tale software è compatibile con la maggior parte dei visori di realtà virtuale attualmente in commercio.

La prima fase consiste nel delimitare l'area di movimento all'interno della stanza, in modo da non urtare con eventuali ostacoli o pareti. Per farlo bisogna orientare le base stations in modo che si individuino l'un l'altra e che localizzino per bene anche il visore ed i controller; infatti, non ci devono essere oggetti che possano mettere in ombra l'HMD ed i controller in quanto potrebbe venir meno il loro tracciamento. Una volta liberata l'area, l'utente ne può tracciare i limiti, premendo il grilletto del controller, in modo che, se si dovesse avvicinare troppo al confine, il software mostri una griglia a 360 gradi che rappresenta i limiti virtuali dell'area di gioco [2.8]. In realtà, è presente anche un'altra opzione in aggiunta alla configurazione della stanza, la quale prevede uno spazio molto ristretto in cui l'utente rimane seduto. Ultimata la

calibrazione dei dispositivi e dell'area di gioco, SteamVR mostra una finestra al cui interno sono presenti i contenuti *Valve* (demo, giochi e altro), selezionabili grazie ad un raggio laser in uscita dai controller (Figura 30), e un'icona per l'accesso al desktop del PC, con cui si potrà interagire direttamente dal mondo virtuale.

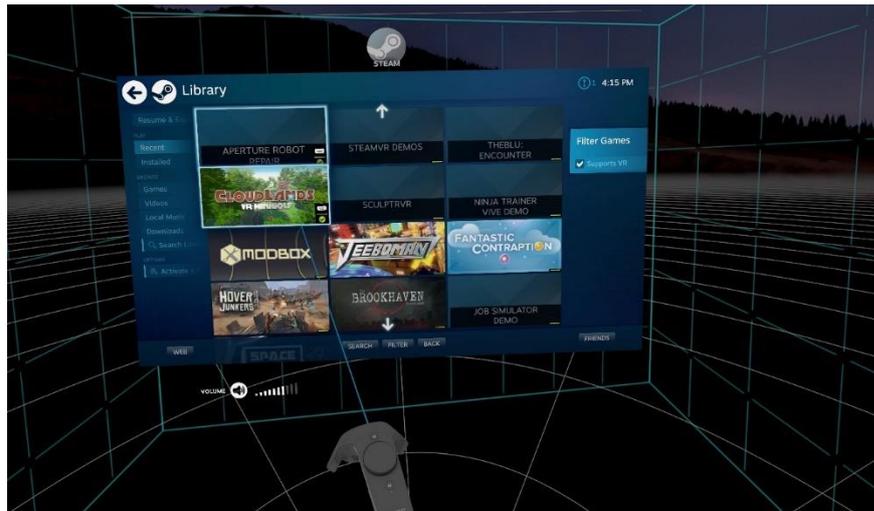


Figura 30: Libreria dei contenuti Valve all'interno dell'interfaccia iniziale di SteamVR³⁰

4.2 – Unity

Unity è un motore grafico sviluppato da *Unity Technologies*, molto utilizzato nel campo videoludico e per la creazione di ambienti virtuali 3D. Inoltre, permette di importare ciò che si realizza su altre piattaforme, come app per cellulare, siti web ed anche film. Di seguito verrà spiegato il funzionamento di tale piattaforma, a partire dall'interfaccia principale che compare all'avvio (Figura 31).

L'interfaccia principale è occupata in gran parte dalla *Scene*, ovvero una finestra che permette di osservare l'ambiente in cui si andrà ad operare, creando

³⁰ Fonte: <https://it.ign.com/htc-vive/110827/feature/htc-vive-le-nostre-prime-impressioni?p=2>

ed andando a modificare oggetti di diversa forma (cubi, sfere, cilindri, testi, ecc..) chiamati *GameObject*. All'interno della scena, sono presenti di default una camera, per la visuale di gioco, e la luce che illumina la scena. Una volta creati, oltre a comparire nella scena, essi compaiono anche in una finestra chiamata *Hierarchy* (Figura 32), nella quale vengono gestiti e classificati in base alle relazioni con altri oggetti. Infatti, l'oggetto con la gerarchia più alta viene indicato come "padre", mentre quelli che dipendono da esso sono chiamati "figli" e sono di una gerarchia più bassa.

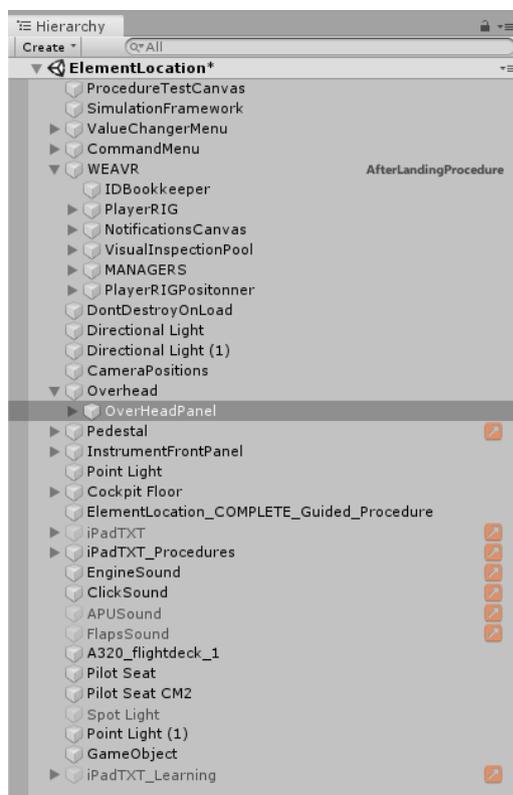


Figura 32: Hierarchy³¹

Selezionando su un game object, si apre una finestra denominata *Inspector* (Figura 33), all'interno della quale è possibile osservare e modificare le

³¹ Immagine tratta dal nostro progetto su Unity

caratteristiche dello stesso come la posizione, la grandezza, l'aspetto ecc... Di seguito sono indicate le componenti più comuni presenti nell'Inspector:

- **Transform:** consente la gestione di posizione, rotazione e grandezza rispetto ai tre assi X, Y, Z;
- **Mesh Renderer:** consente di gestire l'aspetto del game object, con la possibilità di associare un *Material*, ovvero un semplice colore o una texture importata, e di cambiare le proprietà di interazione con la luce in Unity e quindi anche i riflessi;
- **Rigid Body:** un sistema che permette all'utente di associare una massa ad un oggetto e consente a quest'ultimo di simulare la fisica, come la forza di gravità, le accelerazioni a seguito di collisioni con altri oggetti (componente *Collider*). Perciò l'oggetto agirà sotto il controllo delle leggi fisiche come lo sarebbe nella realtà;
- **Scripts:** ad ogni oggetto è possibile associare uno script scritto in C# (o in C++) il quale permette di personalizzare il comportamento dello stesso all'interno della scena, associargli degli input esterni (come mouse o tastiera) per muoverlo all'interno della scena o di far avvenire determinati eventi sotto certe condizioni.

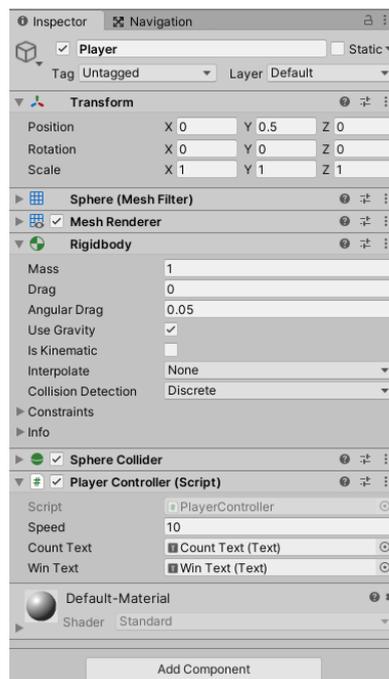


Figura 33: Inspector

Per la compilazione degli scripts viene usato *Visual Studio*³², ed il file creato viene salvato all'interno della cartella del progetto di Unity. Tale cartella è facilmente accessibile dall'interfaccia principale, sotto il nome di *Project*, in cui è presente una cartella di default "Scene", che contiene la scena appena creata. Nella finestra è possibile creare nuove cartelle per organizzare e gestire meglio i file all'interno del progetto, e quindi creare cartelle per gli Scripts, Material, Prefab, Texture, ecc... Per quanto riguarda i *Prefabs*, essi non sono altro che la standardizzazione di un game object completo di tutti i suoi componenti, proprietà e "figli", in modo da renderlo una risorsa riutilizzabile nella scena. Ciò significa che invece di fare una semplice copia, il sistema Prefab consente di mantenere automaticamente sincronizzate tutte le copie [2.9].

Accanto alla finestra Project è presente la finestra *Console*, nella quale vengono mostrati i vari messaggi di errore, warning, e altri messaggi di Unity. Le funzioni appena citate sono le più basilari. Nel nostro progetto abbiamo utilizzato ulteriori funzioni e componenti derivanti dal plugin WEAVR, le quali ci hanno permesso di integrare la tecnologia VR all'interno di Unity per la creazione delle procedure aeronautiche.

4.2.1 – WEAVR

*Pacelab WEAVR*³³ è una piattaforma software di realtà estesa che consente alle aziende, di qualsiasi settore, di gestire e sviluppare la formazione virtuale. Tale piattaforma è stata sviluppata dall'azienda *TxT e-solutions*, ed il relativo modulo, *WEAVR Editor*, è stato implementato come plugin in Unity per la realizzazione del lavoro di tesi. Questo tool permette la realizzazione delle procedure di training tramite l'utilizzo di un editor visuale, il quale lo rende

³² Ambiente di sviluppo integrato, sviluppato da Microsoft, che supporta la creazione di progetti per varie piattaforme, come Mobile e Console. È una piattaforma multi-linguaggio in quanto consente la scrittura di codici in diversi tipi di linguaggi di programmazione.

³³ <https://www.txtgroup.com/markets/solutions/pacelab-weavr/>

molto più intuitivo e semplice da utilizzare rispetto alla classica programmazione in codice. Le figure mostrate in questo paragrafo sono prese direttamente dal tutorial di Pacelab WEAVR [14].

Configurazione

Si inizia con l'importare il pacchetto WEAVR all'interno della cartella "Assets" di Unity. Nell'interfaccia principale comparirà la scritta "WEAVR" sul Toolbar menù, dal quale è possibile configurare il modulo a seconda del tipo di progetto che si vuole creare, sia che includa il VR o che includa l'utilizzo degli Hololens (Figura 34). Successivamente apparirà una finestra di WEAVR Setup, nella quale bisogna abilitare le opzioni "Essential" e "Maintenance" rispettivamente per settare la maggior parte degli oggetti ed abilitare gli script relativi all'interazione con gli oggetti della scena (Figura 34). Una volta fatto ciò, si configurano le impostazioni di SteamVR tramite l'asset del progetto cliccando su "Auto Enable VR". Infine, si configura il progetto per l'"Immersive VR", tramite il tool WEAVR nel Toolbar menù, impostando l'opzione "Virtual Reality" su ON all'interno del "Manage Extensions".

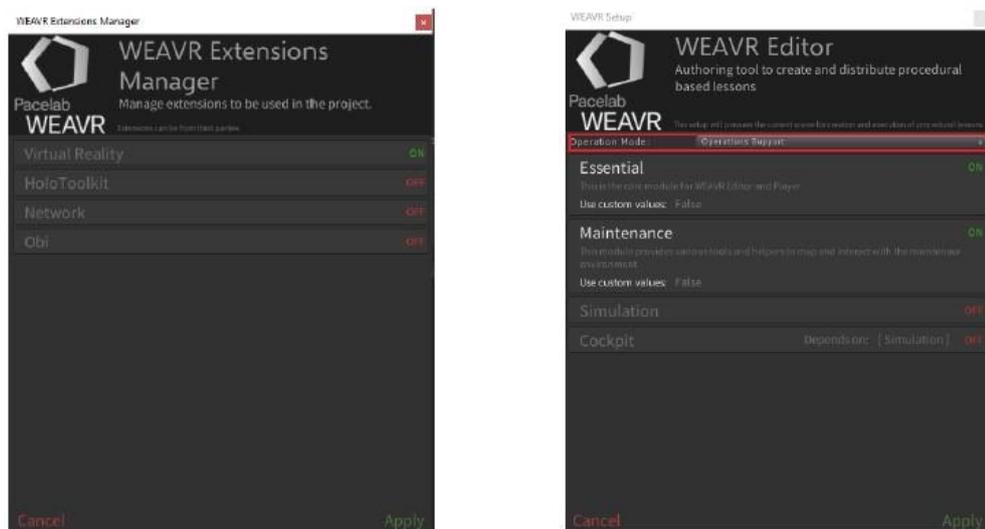


Figura 34: Finestra "Extensions Manager" di WEAVR (a sinistra), Finestra di WEAVR Setup (a destra)³⁴

³⁴ Fonte: [Pacelab WEAVR Creator – User Guide 2.0.0a22.pdf](#)

Terminate le operazioni di configurazione, nella finestra Hierarchy appaiono le componenti necessarie per gestire e settare le procedure secondo l'opzione scelta in fase di configurazione, nel nostro caso l'*ImmersiveVT (Virtual Training)* (Figura 35).

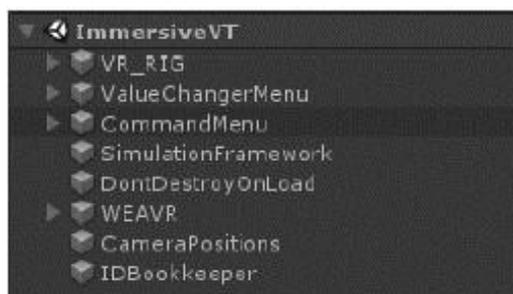


Figura 35: Esempio della Hierarchy nel caso di settaggio in ImmersiveVT

Prefab di SteamVR

L'impostazione selezionata permette di utilizzare le componenti di SteamVR, le quali vengono usate nella scena per permettere l'immersione. Sono presenti anche dei *prefab* che permettono il controllo delle interazioni e dei movimenti dell'utente all'interno della scena, come l'abilità di tele-trasportarsi da un punto ad un altro all'interno della scena, attraverso un oggetto chiamato *Teleport*, oppure modificare le *gesture* della mano quando si interagisce con un determinato oggetto (*Hand Poses*). Risulta particolarmente importante il *Teleport*, in quanto l'ambiente in una scena può essere di diversi metri quadri, superiori a quelli effettivi a disposizione dell'utente all'interno della stanza; perciò, tramite tale funzione, l'utente può coprire l'intera area della scena semplicemente premendo il trackpad del controller e puntandolo verso il punto in cui si vuole trasferire per poi rilasciare il trackpad. Di seguito viene presentata una breve descrizione dei suddetti oggetti:

- **Teleport Point** deve essere assegnato sopra un'area valida, la quale permette di teletrasportare l'utente. In Figura 36 viene mostrato lo script che appare nell'Inspector;

- **Teleport Area**, come il Teleport Point, deve essere posto sopra un'area valida che lo permetta. La dimensione di tale area può essere controllata attraverso la proprietà Transform dell'Inspector così come il nome dell'area. Nel nostro caso, premendo il trackpad, le aree su cui ci si può spostare sono evidenziate da un cerchio azzurro e puntando il laser del controller (linea tratteggiata azzurra) su di esse, il colore diventa verde, segno che il teleport è possibile (Figura 37);
- **Hand Poses** permette, invece, di mostrare la posa della mano quando interagisce con un determinato oggetto nella scena. Di solito quando non si interagisce con un oggetto, la *render* della mano afferra il controller, mentre se interagisce con un oggetto, la posa cambia e il controller scompare.

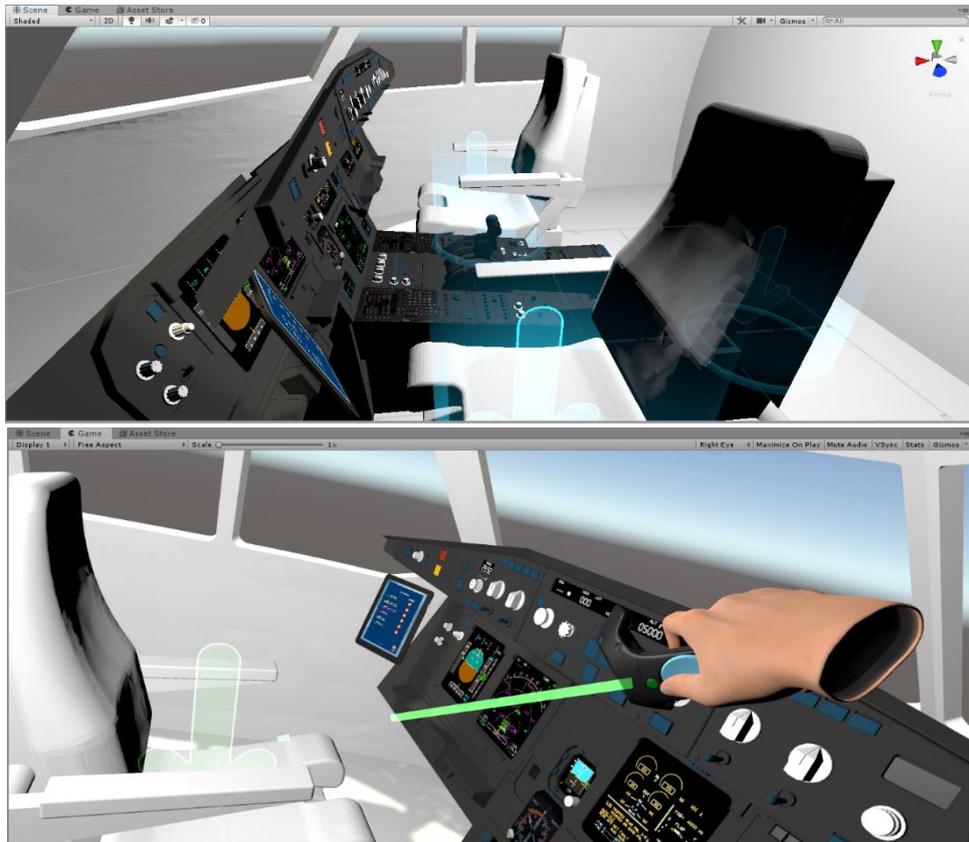


Figura 37: Teleport area presenti all'interno del cockpit virtuale. In basso è mostrata la gesture per l'azionamento della funzione di teleport.



Figura 38: Gesture della mano per cliccare sul pulsante play del tablet

Interazioni

Le interazioni sono componenti che possono essere associate ai game objects per aggiungere un determinato comportamento. Ogni volta che si aggiunge un componente di questo tipo (attraverso l'Inspector cliccando su "Add Component"), automaticamente si crea un altro componente chiamato "VR Object", il quale include tutte le impostazioni relative all'interazione del controller con l'oggetto in questione. Inoltre, l'aggiunta di questi componenti si visualizzerà nell'Inspector sottoforma di *scripts*.

I comportamenti che si possono associare all'oggetto sono numerosi, perciò di seguito verranno elencati i comportamenti più utilizzati nel corso di questo progetto:

- **Grabbable:** utilizzato per permettere all'oggetto di essere afferrato dall'utente, quando questo preme il grilletto o *trigger*, e di seguire il movimento del controller fino a quando l'utente non rilascia il grilletto;
- **Skeleton Poser:** permette la visualizzazione della mano e della posa che assume quando interagisce con l'oggetto. Se tale componente non è inserita si vedrà solo il controller che interagisce;

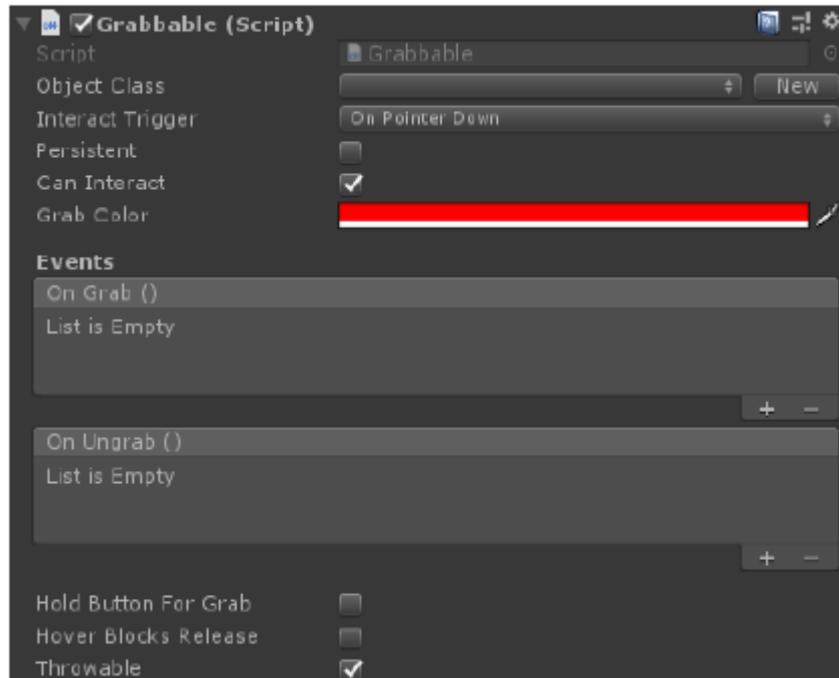


Figura 39: Grabbable component

- **Executable:** associandolo all'oggetto, permette di eseguire determinate azioni quando si interagisce con l'oggetto (Figura 40);

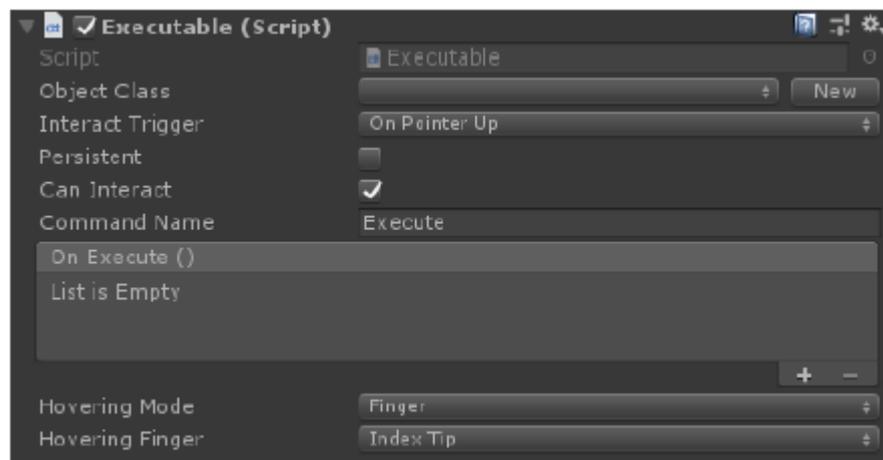


Figura 40: Executable component

- **Hinge Door:** permette all'oggetto di comportarsi come una porta ruotando attorno ad una cerniera (Figura 41). L'utente potrà muovere l'oggetto dalla sua posizione aperta (*Opened*) a quella chiusa (*Closed*) e viceversa.

- **Three Way Switch:** permette al game object di comportarsi come un interruttore a tre vie.

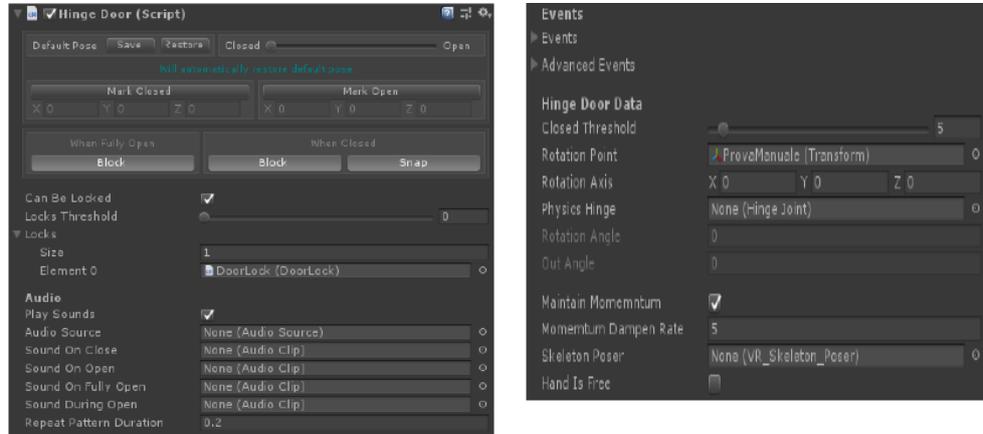


Figura 41: Hinge Door component

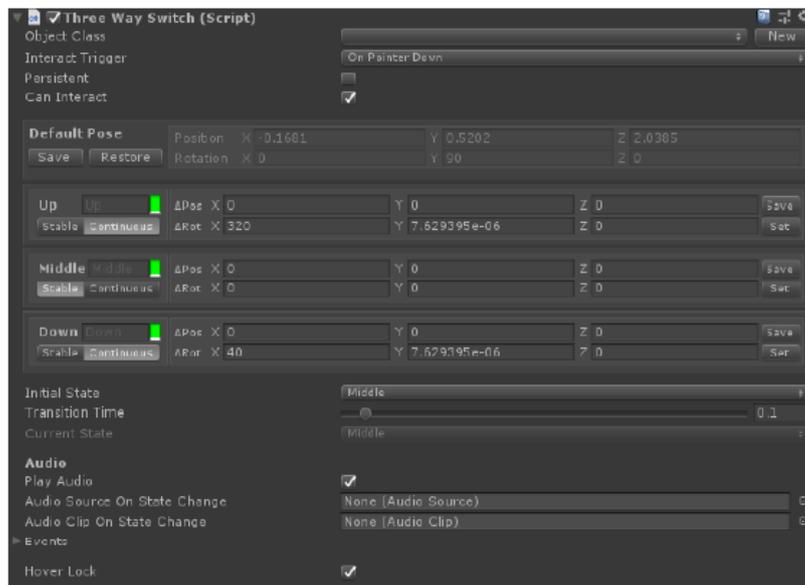


Figura 42: Three Way Switch component

Questi sono solo alcuni dei componenti offerti da WEAVR, il cui utilizzo verrà spiegato nel capitolo relativo alle procedure implementate.

Procedure Editor

WEAVR consente la creazione grafica delle procedure attraverso il *Procedure Editor*. La procedura viene suddivisa in step collegati tra loro, all'interno dei quali vengono compiute determinate azioni per poi passare automaticamente, o attraverso il soddisfacimento di condizioni, allo step successivo. Per le procedure sono previste delle modalità di default descritte di seguito:

- **Automatic:** la procedura viene eseguita automaticamente senza che l'utente intervenga;
- **Guided:** l'utente viene guidato per il completamento della procedura mediante l'uso di messaggi (o *Billboard*) e assistenza vocale (modalità utilizzato in questo lavoro);
- **Feedback:** quando l'operato dell'utente termina con successo il singolo step, che sia giusto o sbagliato, viene dato un feedback.

Il Procedure Editor è una finestra che mostra il flusso degli step mentre questi vengono completati. Infatti, durante l'esecuzione della procedura è possibile vedere gli step, eseguiti in tempo reale, colorarsi di verde, il che indica il completamento dello step. In Figura 43 viene mostrata la finestra del Procedure Editor con alcuni componenti al suo interno:

- **Toolbar:** situata nella parte alta del procedure editor, contiene comandi che permettono di creare, caricare ed importare una procedura;
- **Nodo:** contiene al suo interno una serie di *Enter Actions*, *Exit Condition* ed *Exit Actions*, le quali possono essere gestite attraverso il *Procedure Inspector* (simile all'Inspector dei game object), mostrato in Figura 43. Le enter actions sono azioni che vengono eseguite subito dopo essere entrati nel nodo; le exit conditions sono delle condizioni che devono essere soddisfatte dalle azioni dell'utente (come premere un pulsante e controllare un certo valore) per poter passare allo step successivo; le exit actions, invece, sono azioni che vengono eseguite subito dopo il soddisfacimento delle condizioni di uscita;
- **Transition:** permette di collegare due nodi tra loro e di implementare alcune azioni durante il passaggio da un nodo ad un altro;

- **Hub Node:** consente di convogliare più transizioni come input e creare più flussi paralleli come output.

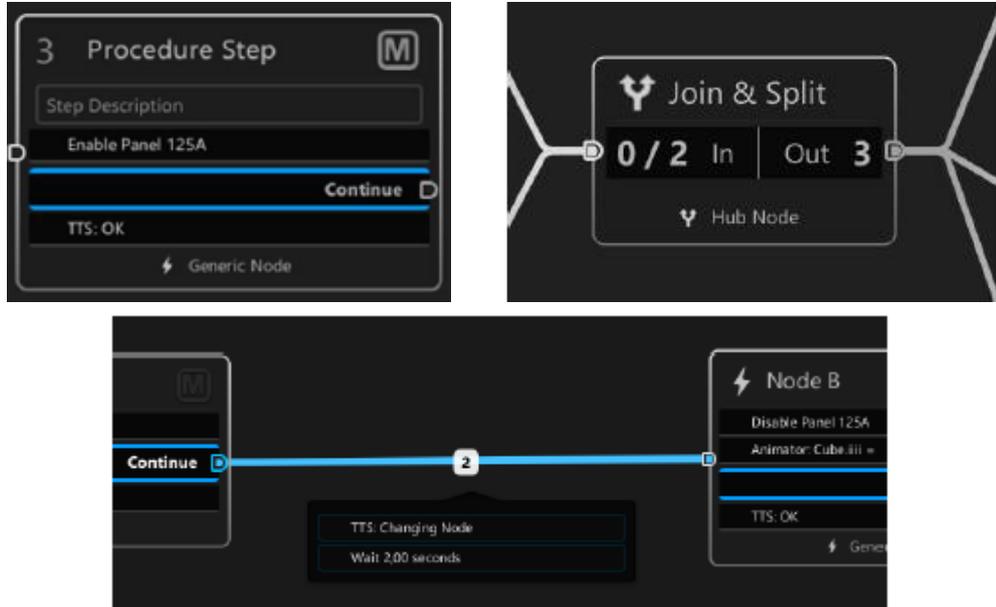


Figura 43: Nodo (in alto a sinistra), Hub Node (in alto a destra), Transiction (in basso)

4.3 – HTC Vive Pro

Come già accennato nei capitoli precedenti, il sistema immersivo utilizzato per questo lavoro di tesi è l'HTC Vive Pro. I dispositivi contenuti nel kit sono un *headset*, due *controllers* e due *base stations*.

Headset

Il visore vanta di due *display AMOLED*, da 3.5" in diagonale ad alta risoluzione, da 2880 x 1600 pixel con densità di pixel pari a 615 PPI (aumento del 37% di PPI e del 78% di pixel rispetto al modello precedente), 90 Hz di frequenza di aggiornamento e 110 gradi di campo visivo [3.0]. Sono presenti anche:

- due *fotocamere frontali*, che permettono all'utente di vedere l'ambiente reale in cui si sta muovendo;
- *doppi microfoni*, che consentono la cancellazione attiva del rumore e abilitano la mobilità di avviso e di conversazione;
- *cuffie*, certificate *Hi-Res Audio*³⁵ ed integrate con il visore, le quali offrono un maggior coinvolgimento audio grazie al potente amplificatore che consente la riproduzione del suono spaziale 3D



*Figura 44: Visore HTC Vive Pro*³⁶

Dal punto di vista dell'ergonomia, il design permette di distribuire meglio il peso che grava sulla testa per bilanciare il centro di gravità. Inoltre, tramite un pulsante posto sulla parte laterale, è possibile calibrare la distanza dalle pupille (*IPD*) per un maggiore comfort.

Per quanto riguarda la componentistica interna, il visore è dotato di sensori quali *SteamVR Tracking*, *G-sensor*, *giroscopi* e *sensori di prossimità*.

³⁵ Certificazione audio per alta risoluzione

³⁶ Fonte: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro-full-kit/>

Controllers

I controllers sono dotati di un *trackpad multifunzione*, usato principalmente per la funzione di teleport di SteamVR, un *dual-stage trigger* (o grilletto) nella posteriore, usato per effettuare determinate azioni (premere un pulsante, raccogliere un oggetto, ecc..), due *grip buttons* posti lateralmente, un *menu button*, per accedere al menu Valve ed infine da un *system button* (posto sotto il trackpad).



Figura 45: HTC Vive Pro controllers³⁷

Base Stations

Per il motion tracking sono state utilizzate due base stations della SteamVR, le quali ricoprono un'area di 5m x 5m. Nella configurazione con quattro base stations, l'area ricoperta è di 10m x 10m.



Figura 46: SteamVR Base Stations 2.0³⁸

³⁷ Fonte: <https://shop.beyondgeek.sg/products/vive-pro-eye>

³⁸ Fonte: https://eu.pimax.com/products/steamvr-base-station-2-0-2?utm_source=NA_Site&utm_medium=autoredirect&utm_campaign=Geo_Country_Redirect

5 – Flight Deck A320

Prima di trattare la procedura implementata su Unity, è bene fare una breve introduzione sull'interfaccia uomo-macchina (o *Human Machine Interface*), chiamato anche *Flight Deck*, presente all'interno della cabina di pilotaggio (o *cockpit*) dell'Airbus A320, al cui interno sono presenti diverse apparecchiature elettroniche che permettono la gestione dei sistemi di bordo dell'A320. Tali sistemi permettono all'aereo di compiere la missione nel modo più efficiente e sicuro possibile, grazie anche al controllo su di essi da parte dei piloti. Di seguito sono indicati alcuni dei sistemi presenti all'interno del velivolo:

- sistema elettrico
- sistema idraulico
- sistema pneumatico
- sistema avionico
- sistema propulsivo
- sistema antincendio

All'interno della cabina di pilotaggio, i piloti sono consapevoli della situazione del velivolo, sia all'esterno (condizioni atmosferiche, direzione del vento e velocità del velivolo) che all'interno (pressurizzazione, prestazione dei motori e status dei vari sistemi). Ciò è possibile grazie alla presenza dei display posti davanti a loro, i quali mostrano i dati inviati dai vari sensori installati all'interno del velivolo. Il controllo dei vari sistemi coinvolge un elevato numero di interruttori, pulsanti e manopole posti su pannelli installati intorno alla postazione dei piloti, in modo che siano facilmente raggiungibili. La posizione dei controlli principali è il risultato di una valutazione, in cui si è tenuto conto della frequenza delle operazioni svolte dal pilota, della facilità con cui si possono raggiungere i controlli, la loro forma e, nel caso sia necessaria, della duplicazione dei comandi [3.1]. Tali controlli sono organizzati e suddivisi in pannelli, i quali ne permettono una più facile distinzione e quindi individuazione. Questi sono il *Front Panel (Instrument Panel e Glareshield)*,

il *Pedestal* e l'*Overhead Panel* mostrati in Figura 47, mentre in Figura 48 è rappresentato lo stesso cockpit ma in ambiente virtuale.



Figura 47: Distinzione dei pannelli nel cockpit dell'A320³⁹



Figura 48: Cockpit A320 in ambiente virtuale

³⁹Fonte:https://www.icao.int/ESAF/Documents/meetings/2017/AFI%20FOSAS%202017/Day%201%20Docs/Day_1_2_Airbuspihlo.pdf

5.1 – Front Panel

Il front panel comprende tutta la strumentazione che il pilota trova davanti a sé, ed è costituito dall'Instrument Panel, provvisto dei display che mostrano i parametri del velivolo in tempo reale, e dal Glareshield, in cui sono disposti tutti i comandi relativi alla navigazione.

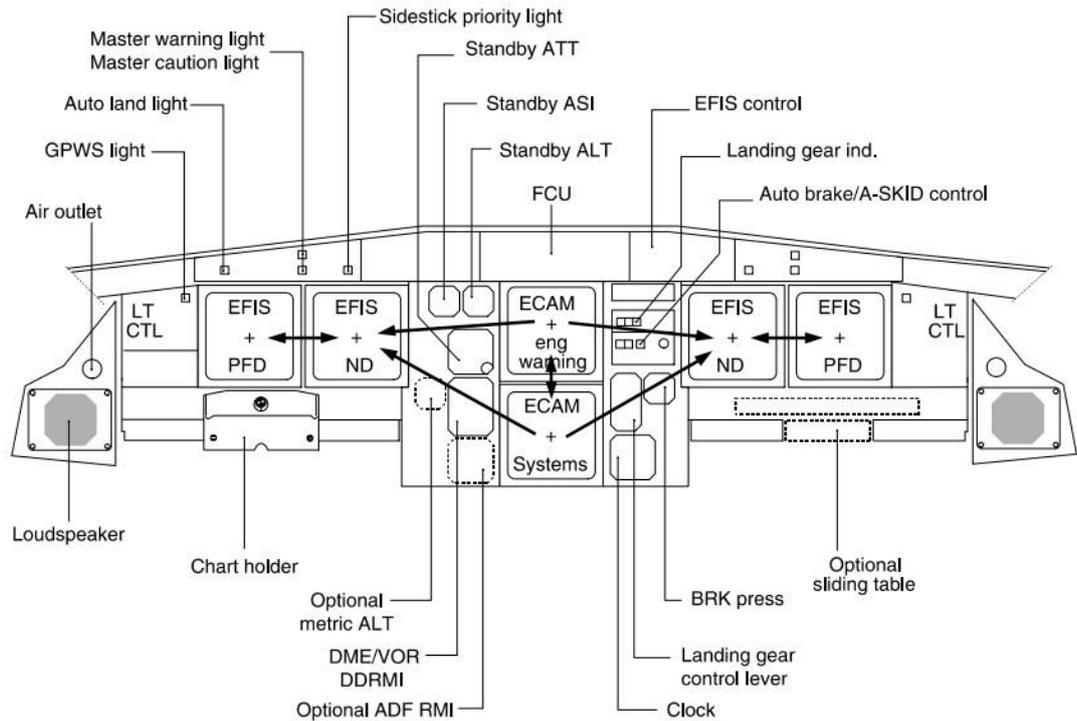


Figura 49: Front Panel⁴⁰

Instrument Panel

I pannelli davanti al comandante ed al primo ufficiale sono a specchio, ovvero contengono gli stessi comandi e display. I Display Unit (DU) sono il:

- **Primary Flight Display (PFD)**, il quale mostra le informazioni di base del volo, come l'assetto, la velocità, l'altitudine, il rateo di salita e la direzione

⁴⁰Fonte:http://www.smartcockpit.com/docs/A320_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_For_Pilots.pdf

(Figura 50). Inoltre, vengono fornite le informazioni sullo stato dell'autopilota.

- **Navigation Display (ND)**, il quale consente di visualizzare la posizione del velivolo, la rotta impostata, il traffico aereo e le condizioni meteorologiche (Figura 51). Le modalità di visualizzazione sono [3.2]: *ROSE mode (ILS, VOR o NAV)*, che mostra la direzione, il simbolo dell'aereo ed il radar; *ARC mode* (direzione, orizzonte limitato ad un settore in avanti di 90° e radar); *PLAN mode* (nord e display centrato sul *waypoint*⁴¹ selezionato).



Figura 50: Primary Flight Display⁴²



Figura 51: Navigation Display⁴³

Nella parte centrale dell'instrument panel sono presenti due display dell'*ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitor)*: quello in alto è l'*Engine Display*, che mostra i parametri dei motori, la quantità di carburante, la posizione dei flaps/slats, memo e notifiche di warning; mentre, quello in basso è il *System Display*, che mostra lo stato dei vari sistemi del velivolo, selezionabili

⁴¹ Punto di riferimento nello spazio fisico utilizzato per la navigazione aerea, in quanto facilitano il pilota nell'individuazione della rotta.

^{42,43} Fonte: http://a320dp.com/A320_DP/panels.html

attraverso l'ECAM control panel posto sul Pedestal. Olte ai display, in Figura 52, sono mostrati anche:

1. Standby Speed Indicator
2. Standby Altimeter
3. Standby Attitude Indicator
4. DDRMI (Digital Distance Radio Magnetic Indicator)
5. Landing Gear Panel
6. Landing Gear Lever
7. Brakes and Accumulator Indicator
8. Digital Cronometer

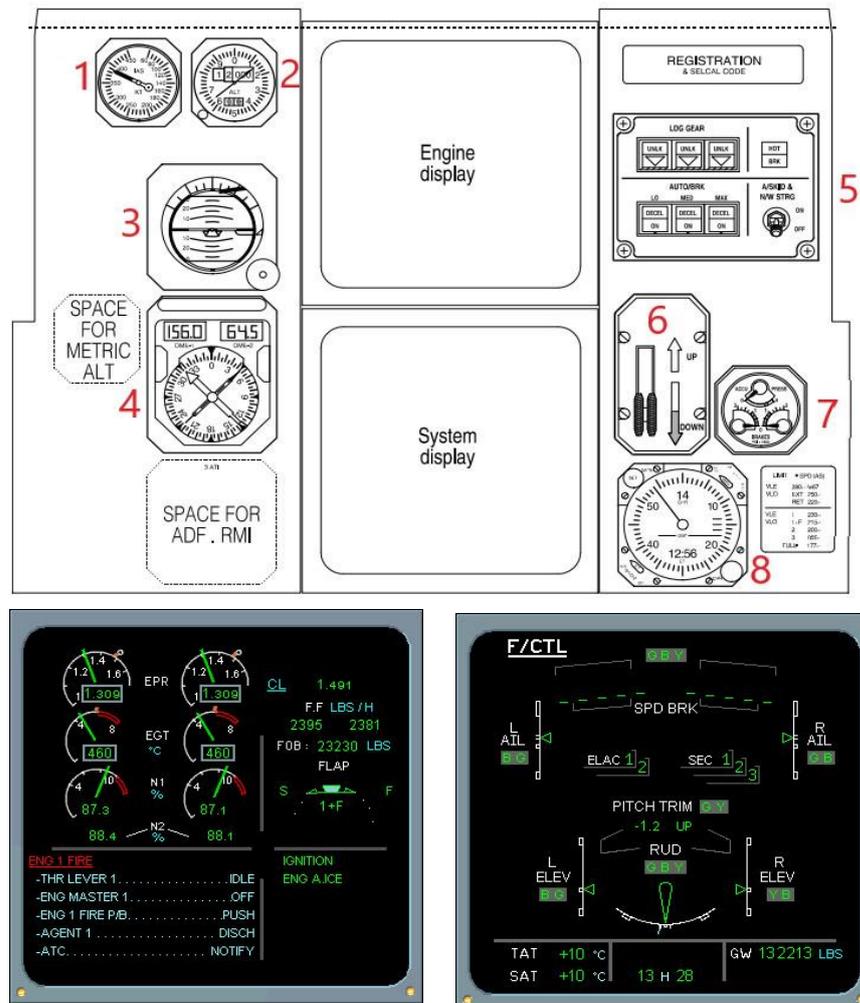


Figura 52: Pannello centrale dell'instrument panel (in alto), Engine Display (a sinistra), System Display (a destra)

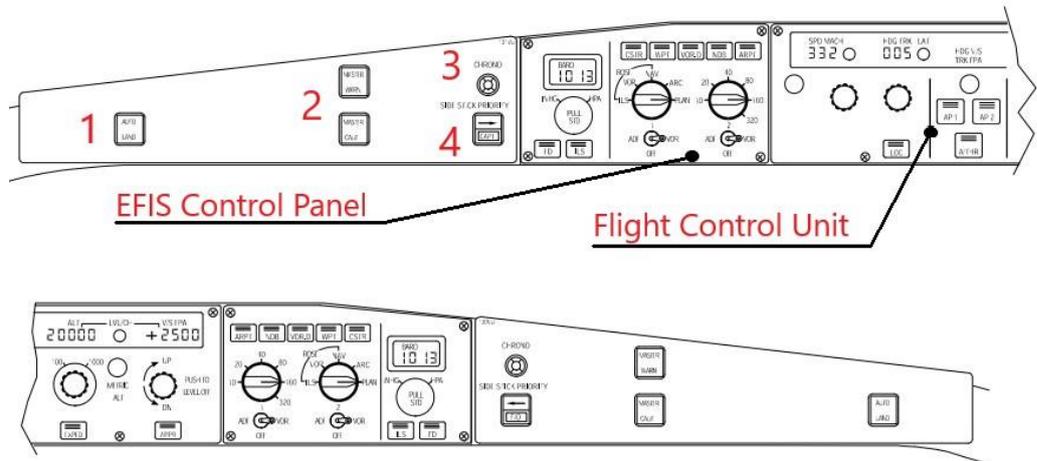


Figura 53: Glareshield dell'A320⁴⁴

Glareshield

Il Glareshield, situato sopra l'Instrument panel, contiene in totale cinque pannelli, di cui i due più estremi (a sinistra e a destra) sono in realtà a specchio per permettere il controllo sia al pilota che al co-pilota (Figura 53). Il pannello più estremo contiene:

1. *Autoland Warning Light*
2. *Master Warning/Caution Light*
3. *Chronometer ND Switch*
4. *Side Stick Priority Light*

Il secondo pannello è l'*EFIS Control Panel*, o *Electronic Flight Instrument System*, il quale permette la formattazione degli EHSI (*Electronic Horizontal Situation Indicator*) e EADI (*Electronic Attitude Direction Indicator*) e di selezionare la modalità di visualizzazione della navigazione, assetto e direzione.

Il pannello centrale, invece, è il *Flight Control Unit (FCU)*, dal quale è possibile la gestione della velocità, del rateo di salita, dell'altitudine e della direzione (o

⁴⁴Fonte:http://www.smartcockpit.com/docs/A320_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_For_Pilots.pdf

della partenza, il pilota provvede ad inserire tutti i dati del volo (rotta, massa al decollo, quantità combustibile, payload ecc..) in modo che l’FMS ottimizzi il piano di volo;

- **Switching Panel:** provvisto di quattro selettori che permettono al pilota di cambiare il display in uso nel caso uno di essi non funzioni;
- **ECAM Control Panel:** permette di cambiare il sistema monitorato sull’ECAM System mediante tasti recanti il nome del sistema;
- **Radio Management Panel:** costituito da due display, sui quali viene letta la frequenza settata per le comunicazioni, e dai relativi pulsanti che permettono di cambiare il tipo di frequenza, come il VHF (*Very High Frequency*) ed HF (*High Frequency*), e la tipologia di navigazione (NAV, VOR, ILS, MLS, ADF);
- **Audio Control Panel:** usato per trasmettere in VHF o HF, interagisce con l’*Audio Management Unit* (AMU);
- **Lighting Panel:** sono presenti due selettori dai quali è possibile regolare la luminosità delle “scritte” presenti sul font panel e sul pedestal;
- **Radar Panel:** permette al pilota di osservare le condizioni meteorologiche direttamente sull’ND, notificando anche la presenza di turbolenza sfruttando il rilevamento Doppler. Inoltre, è possibile anche regolare l’inclinazione del ricevitore, nonché del guadagno o *gain*;
- **Engine Panel:** provvisto di due selettori per l’accensione dei motori, due spie per incendio o guasto ai motori e un selettore di avviamento che consente di avviare i motori in diverse modalità;
- **ATC/TCAS Transponder Control Panel:** consente il controllo del transponder del TCAS (*Traffic Alert and Collision Avoidance System*), il cui compito è quello di avvertire il pilota sull’eventuale presenza di altri velivoli nelle vicinanze (dotati di trasponder) e di consigliare le manovre da eseguire nel caso ci fosse pericolo di collisione;
- **Thrust Control Levers:** rappresentano la manetta, che permette di aumentare o ridurre la spinta prodotta dai motori, trasmettendo un segnale al FADEC (Full Authority Digital Engine). Ci sono cinque posizioni

imponibili: *Takeoff/Go-Around (TO/GA)*, *Flex/Max Continuous Thrust (FLX/MCT)*, *Climb (CL)*, *Forward Idle*, *Max Reverse*;

- **Pitch Trim Wheel:** provvede al controllo meccanico dell'assetto dello stabilizzatore orizzontale;
- **Speedbrake Panel:** è presente una leva di azionamento degli speedbrakes con le relative posizioni angolari di apertura;
- **Rudder Trim Panel:** il selettore presente controlla l'attuatore del *trim* del timone;
- **Flaps Panel:** vi è una leva di azionamento dei flaps con le relative posizioni. Di solito vengono attivati durante il decollo e l'atterraggio per garantire una maggiore portanza dell'ala in condizioni di bassa velocità;
- **Parking Brake Panel:** permette l'azionamento dei freni del carrello mediante la rotazione di una leva;
- **Landing Gear Gravity Extension Handle:** nel caso di guasto elettrico, idraulico e meccanico, la leva presente permette di far scendere il carrello, soggetto a gravità, sfruttando il suo stesso peso.

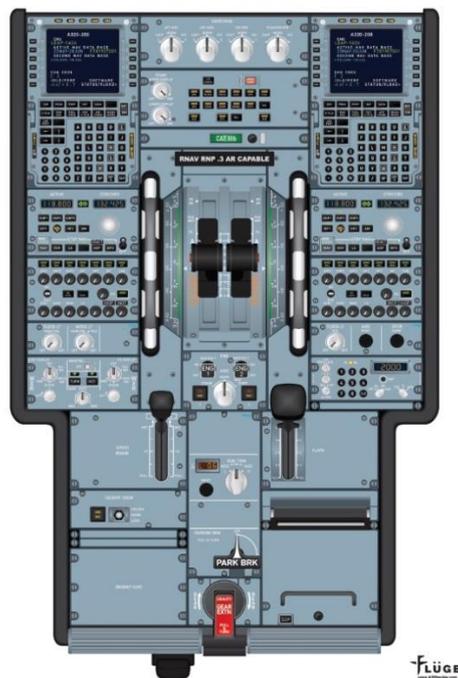


Figura 55: Pedestal A320⁴⁶

⁴⁶ Fonte: <http://www.a320guide.com/new-page>

5.3 – Overhead Panel

L'ultima sezione del flight deck è l'overhead panel, posizionato sulla parte superiore del cockpit. In Figura 56, come per il pedestal, sono mostrate le posizioni dei vari pannelli.

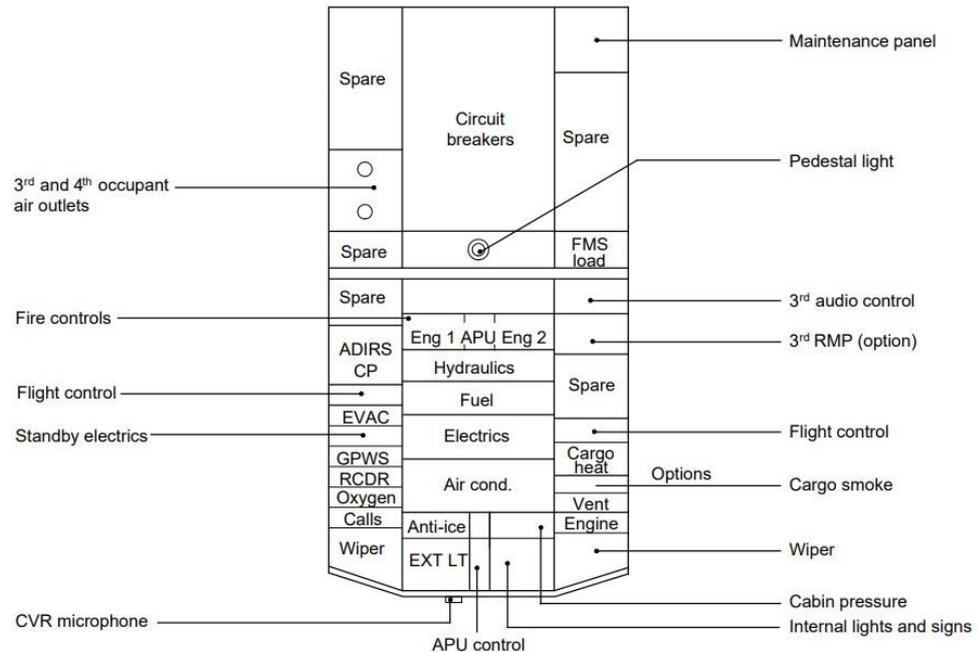


Figura 56: Schema dell'Overhead Panel⁴⁷

I comandi più importanti, nonché quelli più utilizzati dai piloti, sono posizionati nella parte inferiore dell'overhead panel, in modo che siano facilmente raggiungibili. Nello schema, oltre alla posizione dei vari pannelli, è anche indicata la tipologia del pannello, ovvero a quale sistema di bordo fa riferimento. Infatti, i comandi all'interno ne permettono la gestione ed il controllo e vengono mostrati in Figura 57.

⁴⁷Fonte:http://www.smartcockpit.com/docs/A320_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_For_Pilots.pdf



Figura 57: Overhead Panel⁴⁸

La descrizione del flight deck ha mostrato il numero spropositato di comandi all'interno della cabina di pilotaggio, e come essi siano distribuiti intorno alla postazione del pilota. Durante l'addestramento, l'acquisizione delle procedure standard, le cosiddette SOPs (*Standard Operation Procedures*), può risultare molto faticoso date le numerose procedure da memorizzare, nonché gli altrettanto numerosi comandi da eseguire. Perciò, per facilitare e velocizzare il processo di formazione, l'uso di un ambiente virtuale può essere una soluzione.

⁴⁸Fonte:<https://cockpitbuilderswebstore.com/product/airbus-a320-crt-cfm-eis-cockpit-training-posters-100-accurate-3d-artwork-free-shipping/>

6 – De-icing Procedure

Prima di proseguire con la descrizione delle procedure implementate nel lavoro di tesi, è bene conoscere per quale motivo viene data molta importanza a tali procedure (SOPs) nel mondo dell'aviazione. Le SOP sono procedure che descrivono le attività eseguite dal personale aeronautico in ogni singola fase del loro lavoro. Come spiegato in un documento della Airbus [3.4], l'adozione delle standard operating procedures permette di:

- Prevenire o mitigare gli errori da parte del personale aeronautico;
- Gestire eventuali minacce operative;
- Aumentare il grado di sicurezza durante le operazioni di terra e durante le operazioni in volo.

Prima di un volo, i piloti devono preparare l'aereo impostando la rotta, il carico a bordo, il peso a vuoto ecc..., e preparando i vari sistemi. Tali compiti devono essere eseguiti facendo un controllo incrociato con una *normal checklist* (Figura 58), nella quale vengono indicate le varie azioni da eseguire in ogni fase del volo. Per le situazioni particolari o di emergenza sono previste anche le *abnormal and emergency operations*, le quali guidano i piloti step-by-step nella risoluzione del problema o nell'adozione di misure di emergenza.

Al momento, le procedure implementabili sono solo quelle statiche, ovvero quelle eseguite quando il velivolo è a terra (texture dei display fisse). Ciò è dovuto al mancato collegamento tra il PC (Unity) ed un simulatore, il quale permetterebbe una visuale dinamica dei display i cui parametri variano e l'aggiornamento delle condizioni di volo, il tutto in tempo reale.

Per questo lavoro sono state, quindi, implementate due procedure: la *De-icing Procedure* (procedura supplementare) e la *Before Start Procedure*. Esse sono state aggiunte a procedure precedentemente implementate (*After Start, After Landing, Parking e Securing the Aircraft procedure*) in altri lavori di tesi svolti precedentemente. In Figura 59 viene mostrato il procedure editor in cui sono stati implementati gli step della procedura di De-icing.

|  NORMAL CHECKLIST | | A319 A320 |
|---|------------------------------|----------------------|
| | | November 2017 |
| BEFORE START | | |
| COCKPIT PREP..... | COMPLETE (BOTH) | |
| GEAR PINS and COVERS..... | REMOVED | |
| SIGNS..... | ON / AUTO | |
| ADIRS..... | NAV | |
| FUEL QUANTITY..... | KG. / BALANCED | |
| TO DATA..... | SET | |
| BARO REF..... | SET | |
| WINDOWS / DOORS..... | CLOSED / ARMED (BOTH) | |
| BEACON..... | ON | |
| MOBILE PHONE..... | OFF (BOTH) | |
| THRUST LEVERS..... | IDLE | |
| PARKING BRAKE..... | SET | |
| AFTER START | | |
| ANTI ICE..... | AS RQRD | |
| ECAM STATUS..... | CHECKED | |
| PITCH TRIM..... | SET | |
| RUDDER TRIM..... | ZERO | |
| BEFORE TAKEOFF | | |
| FLT CTL..... | CHECKED (BOTH) | |
| FLT INSTRUMENTS..... | CHECKED (BOTH) | |
| BRIEFING..... | CONFIRMED | |
| FLAPS SETTING..... | CONF (BOTH) | |
| FMA & TAKEOFF DATA..... | READ (PF) / CHECKED (PNF) | |
| TRANSPONDER..... | SET | |
| ECAM MEMO..... | TAKEOFF NO BLUE | |
| CABIN..... | SECURED FOR TAKEOFF | |
| ENG MODE SEL..... | AS RQRD | |
| TCAS..... | TA / RA | |
| PACKS..... | AS RQRD | |
| AFTER TAKEOFF | | |
| LANDING GEAR..... | UP | |
| FLAPS..... | RETRACTED | |
| PACKS..... | ON | |
| BARO REF..... | STANDARD SET | |
| APPROACH | | |
| BRIEFING..... | CONFIRMED | |
| ECAM STATUS..... | CHECKED | |
| SEAT BELTS..... | ON | |
| BARO REF..... | SET | |
| MDA / DH..... | SET (BOTH) | |
| ENG MODE SEL..... | AS RQRD | |
| LANDING | | |
| CABIN..... | SECURED FOR LANDING | |
| A / THR..... | SPEED / OFF | |
| GO-AROUND ALT..... | FT SET | |
| ECAM MEMO..... | LDG NO BLUE | |
| . L/G DOWN | | |
| . SIGNS ON | | |
| . SPLRS ARM | | |
| . FLAPS SET | | |
| PARKING | | |
| APU BLEED..... | AS RQRD | |
| Y ELEC PUMP..... | OFF | |
| ENGINES..... | OFF | |
| SEAT BELTS..... | OFF | |
| EXT LT..... | AS RQRD | |
| FUEL PUMPS..... | OFF | |
| PARK BRK and CHOCKS..... | AS RQRD | |
| MOBILE PHONE..... | ON | |
| TRANSPONDER..... | STBY 2000 | |
| RADAR / PWS..... | OFF | |
| Consider HEAVY RAIN | | |
| EXTRACT..... | OVRD | |
| SECURING THE AIRCRAFT | | |
| ADIRS..... | OFF | |
| OXYGEN..... | OFF | |
| APU BLEED..... | OFF | |
| EMER EXIT LT..... | OFF | |
| NO SMOKING..... | OFF | |
| APU AND BAT..... | OFF | |
| Consider COLD WEATHER | | |

FOR EVALUATION USE ONLY

Figura 58: Normal Checklist A320⁴⁹

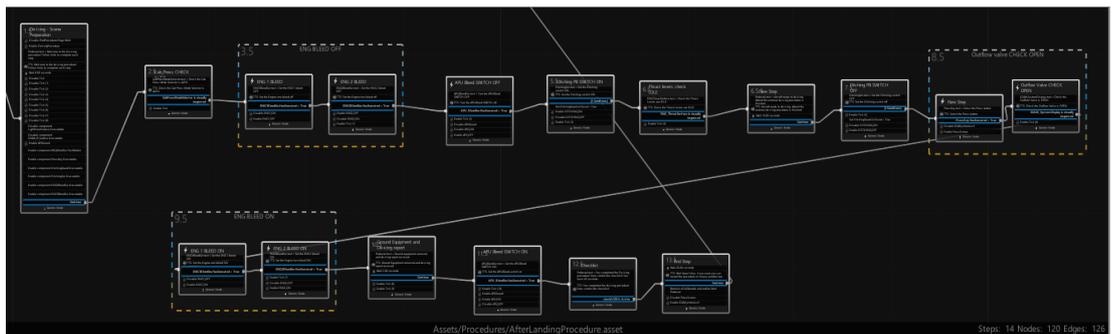


Figura 59: Procedure editor con tutti gli step della procedura di De-icing

⁴⁹ Fonte: <https://studylib.net/doc/25341147/airbus-checkliste-2017>

6.1 – Implementazione della procedura

Tutte le procedure partono dallo stesso nodo, il quale permette di accedere ad una procedura a seconda di quale condizione di uscita sia attiva. Il soddisfacimento della condizione di uscita è legato alla scelta dell'utente, immerso nel cockpit virtuale, della procedura che vuole effettuare; infatti, all'avvio della simulazione, oltre alla comparsa di un messaggio di benvenuto tramite *billboard* (Figura 60) e speaker (Text to Speech), l'utente è posizionato sul posto del comandante, ed alla sua sinistra è presente un tablet (Figura 61), dal quale è possibile:

- accedere alle procedure mediante il pulsante “Procedure”;
- visualizzare le checklist dell'A320 mediante il pulsante “Checklist”;
- avere un aiuto sulla gestione del tablet premendo il pulsante “Help”.

Una volta premuto il pulsante “Play” relativo ad una specifica procedura, l'utente potrà iniziare il training della stessa. Una volta terminata, l'utente può selezionarne un'altra, o ripetere quella appena terminata, semplicemente prendendo il tablet e tornando sulla pagina delle procedure.



Figura 60: Messaggio di benvenuto

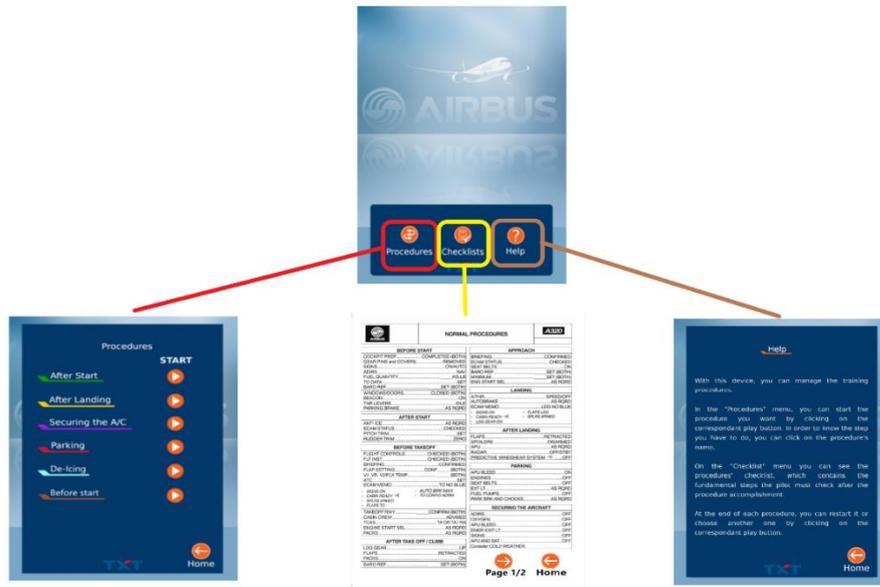


Figura 61: Screen del tablet: Pagina iniziale (in alto), elenco procedure (a sinistra), checklist (al centro), pagina di aiuto (a destra)

Nel primo step, oltre alla billboard di benvenuto, si rendono eseguibili tutti i game objects con cui l'utente dovrà interagire. L'azione aggiunta nel Procedure Inspector è la *Toggle Component*, la quale permette di gestire gli script associati (Executable, Grabbable, Three Way to Switch ecc...) all'oggetto che si vuole inizializzare. Nei successivi step, l'utente sarà guidato passo dopo passo nella loro esecuzione mediante l'uso di una billboard, in cui viene mostrato il testo, che spiega l'istruzione da eseguire, e riprodotta una voce in parallelo (si attiva in contemporanea con la comparsa della billboard attivando l'opzione *Async*), implementata tramite l'azione di *Text to Speech* nel Procedure Inspector (Figura 62).

Ogni billboard è stata posizionata all'interno del cockpit in modo opportuno ed è stata collegata, tramite una linea grigiastrea, al comando con cui l'utente deve interagire in modo da velocizzare l'individuazione del suddetto sui pannelli del flight deck. Resta attiva per un tempo pari a dieci secondi per dare all'utente il tempo di leggere ed individuare il comando. Un esempio è riportato in Figura 63. Inoltre, è stata abilitata la funzione di navigazione, la quale permette all'utente di trovare facilmente la billboard, nel caso questa non fosse nel suo

campo visivo, mediante una freccia azzurra che apparirà di fronte al campo visivo.

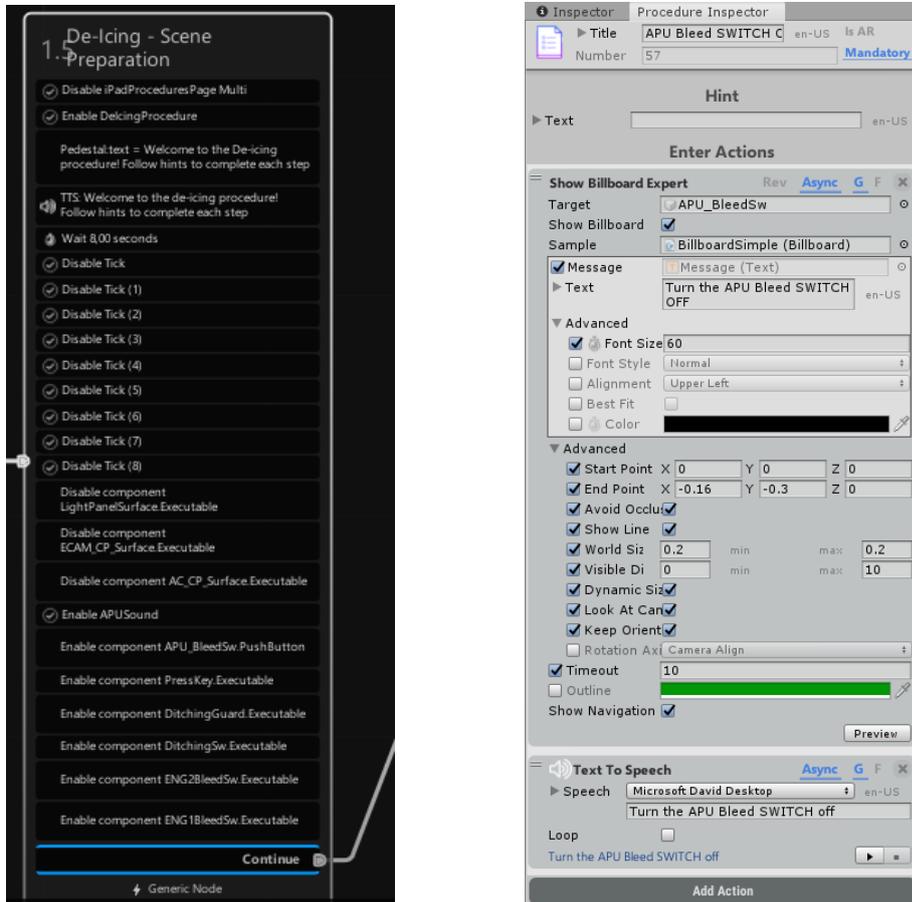


Figura 62: Primo nodo della procedura (A sinistra), Billboard e Text to Speech action (A destra)



Figura 63: Esempio di una billboard durante la procedura di De-icing

Ogni azione di entrata (Enter Actions), condizione di uscita (Exit Conditions) ed azione di uscita (Exit Actions), aggiunta nel Procedure Inspector, apparirà automaticamente all'interno del nodo che si sta creando nel Procedure Editor. Infatti, all'interno del nodo troviamo, oltre al nome dello stesso, dei riquadri che contengono le azioni in entrata seguite da riquadri evidenziati di blu con le condizioni di uscita del nodo (dal quale escono le transizioni) e riquadri contenenti le azioni di uscita. In Figura 64, viene mostrato lo step riguardante l'azionamento del *Ditching Button*.

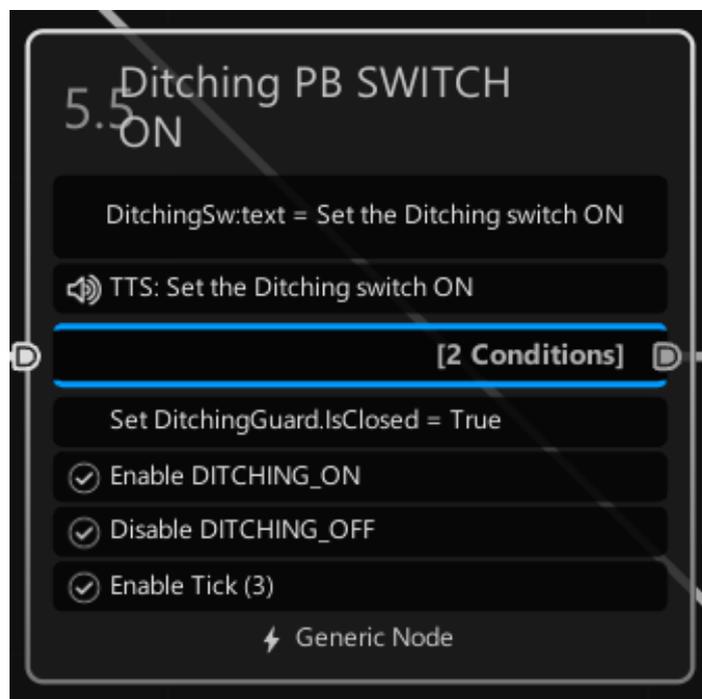


Figura 64: Ditching node

Durante lo svolgimento della procedura, gli step nel procedure editor si evidenzieranno di verde permettendoci di visualizzare l'avanzamento della procedura, mentre sul tablet sarà presente la checklist della stessa con tutti i vari step. Accanto ad essi apparirà un *Tick* verde, azione di uscita impostata ad ogni step, nel caso in cui l'utente esegua correttamente l'azione (Figura 65). Ciò permette di capire a quale step della procedura si è arrivati; così, nel caso

in cui non si riesca a leggere o sentire l'istruzione, ci si può orientare guardando sul tablet e osservando qual è stato l'ultimo step eseguito.



Figura 65: Esempio checklist della De-icing Procedure durante la sua esecuzione



Figura 66: Esempio di check dell'ECAM System Display

Gli step presenti, oltre al premere pulsanti, girare manopole o selezionare switch, prevedono anche azioni di controllo (*Check*) che richiedono all'utente di avvicinarsi al comando o display da controllare. Nel momento in cui l'utente

si avvicina sufficientemente al comando/display in questione vedrà apparire un cubo azzurro semi-trasparente (Figura 66) con una lente d'ingrandimento al centro, che si riduce di dimensioni fino a scomparire dopo circa tre secondi. Questo tipo di azione sarà eseguita durante questa procedura, in particolare durante gli step per il *check* del Cabin Press Mode e dell'ECAM (spiegate nel prossimo paragrafo).

A fine procedura, infine, viene chiesto all'utente di andare sulla checklist, tornando quindi alla pagina principale del tablet e premendo il tasto relativo alle checklist, andare sulla seconda pagina e controllare che abbia eseguito tutti gli step. Dopo venti secondi, l'utente udirà un messaggio nel quale si comunica la conclusione della procedura e la possibilità di ripeterla o di iniziarne una nuova (l'utente può rimanere immerso nell'ambiente virtuale senza dover andare al PC per riavviare la procedura). Ciò è possibile tornando al menù principale del tablet e premendo sul tasto "Procedures".

6.2 - Descrizione degli step

In caso di tempo avverso, a discrezione del pilota, può essere richiesta la procedura di de-icing. Esso contatta la *ground crew* per avvisare della necessità della procedura e decide, a seconda della situazione, che tipo di fluido applicare sul velivolo (tali passaggi sono stati omessi nell'implementazione su Unity in quanto non vi è interazione con il flight deck). Tale procedura risulta necessaria qualora ci sia presenza di ghiaccio sul dorso delle superfici alari, in quanto esso potrebbe compromettere la capacità dell'ala di generare sufficiente portanza per il volo.

Prima di applicare il fluido, lo spillamento dell'aria dei motori (ENG 1 and 2 BLEED.....OFF) e dell'APU (*Auxiliar Power Unit*) non deve essere attivo (APU BLEED.....OFF), perciò l'utente dovrà settare in OFF i pulsanti presenti sull'overhead panel. Inoltre, le *outflow valve*, *pack valve* e *avionic ventilation*

*inlet and extract valves*⁵⁰ devono essere chiuse in modo tale da impedire al fluido antighiaccio di entrare nell'aereo (DITCHING PB.....ON). In Figura 67 è mostrato il pannello dove sono presenti i comandi con cui dovrà interagire l'utente nella fase di preparazione al de-icing. Per rendere più realistica l'esperienza, i pulsanti e gli switch sono stati caratterizzati con delle texture originali dell'A320 (Figura 68) e, interagendo con essi, ci sarà anche un cambiamento immediato di texture in modo da simulare il passaggio da uno stato all'altro (ad esempio se si passa da OFF ad ON).



Figura 67: Pannelli dell'overhead panel su cui l'utente andrà ad interagire



Figura 68: Texture pulsanti dell'APU BLEED (A sinistra), Texture pulsanti dell'ENG BLEED (A destra)

⁵⁰ Sono valvole per la ventilazione e la pressurizzazione all'interno del velivolo

L'ultimo step, che precede l'applicazione del fluido, consiste nel controllare che la manetta sia in posizione "IDLE" (THRUST LEVERS.....CHECK IDLE), ovvero che la velocità di rotazione (rpm) dei motori sia al minimo.

Ora l'aereo è pronto per il trattamento con il fluido, perciò il pilota avvisa la ground crew di procedere con l'operazione (tale azione non è stata implementata su Unity). Una volta finito il trattamento, l'utente deve riattivare tutte le valvole di ventilazione e pressurizzazione (DITCHING PB.....OFF), controllare, attraverso l'ECAM System Display, che l'outflow valve sia effettivamente aperta (OUTFLOW VALVE.....CHECK OPEN),



Figura 69: Tasto per visualizzare sull'ECAM il sistema di pressurizzazione (A sinistra), Display del sistema di pressurizzazione visualizzato (A destra)

riattivare lo spillamento dell'aria dei motori (ENG BLEED 1 and 2.....ON) ed attendere le informazioni dal personale di terra riguardanti il trattamento, come il tipo di fluido usato, il rapporto di miscela tra fluido e acqua ecc.. (GROUND EQUIPMENT/DEICING REPORT.....REMOVED/RECEIVED).

Dopo aver atteso un paio di minuti dalla fine del trattamento (nella simulazione non abbiamo implementato un tempo d'attesa così lungo), l'utente può riattivare lo spillamento dell'aria compressa dell'APU (APU BLEED.....ON).

Il tempo di attesa serve ad evitare il rischio di aspirazione di fluido dalla presa d'aria dell'APU, con conseguenti *warnings* su odori e fumo.

Finita la procedura di de-icing, si possono riprendere le procedure normali del velivolo che precedono il decollo (NORMAL PROCEDURES.....RESUME).

L'intera checklist della procedura di De-icing è mostrata in Tabella 1.

| De-icing checklist | |
|--|------------|
| CAB PRESS MODE SEL..... | CHECK AUTO |
| ENGINE BLEED 1 and 2..... | OFF |
| APU BLEED..... | OFF |
| DITCHING PB..... | ON |
| THRUST LEVERS..... | CHECK IDLE |
| Aircraft ready for deicing/anti-icing | |
| After completion of De-icing procedure | |
| DITCHING PB..... | OFF |
| OUTFLOW VALVE..... | CHECK OPEN |
| ENGINE BLEED 1 and 2..... | ON |
| GROUND EQUIPMENT..... | REMOVED |
| DEICING REPORT..... | RECEIVED |
| After a couple of minutes | |
| APU BLEED..... | ON |
| NORMAL PROCEDURES..... | RESUME |

Tabella 1: De-icing checklist

Per quanto riguarda la procedura di *Before Start*, implementata dall'altro collega tesista, se ne darà una breve descrizione di seguito, in quanto essa è stata usata come procedura test nel confronto tra il training VR ed il CBT (Computer Based Training), spiegato nel prossimo capitolo.

6.3 – Before Start Procedure

La procedura di Before Start viene eseguita per assicurare che il velivolo sia in condizioni ottimali di sicurezza per procedere con l'avviamento dei motori. In Tabella 2 è riportata la checklist della procedura con i relativi step da completare, i quali saranno di seguito descritti [14]:

- **Cockpit preparation.....COMPLETED:** l'obiettivo è quello di assicurare che tutti i requisiti di sicurezza siano garantiti prima di fornire energia elettrica, controllare il livello dei fluidi (olio, pressione idraulica) e controllare la posizione delle superfici di controllo (flaps/slats, alettoni, equilibratore, timone, spoiler);
- **Gear pins and covers....REMOVED:** viene controllato che tutte le coperture e i gear pins (perni del carrello) siano stati rimossi;
- **SIGNS.....ON/AUTO:** consiste nell'attivare le luci dei segnali delle cinture di sicurezza, del divieto di fumare e delle luci di emergenza all'interno della cabina dei passeggeri;
- **ADIRS.....NAV:** i selettori vengono settati su NAV per iniziare l'allineamento, ovvero i giroscopi e gli altimetri vengono tarati per la navigazione (la posizione dell'IRS viene settata sulla posizione delle coordinate dell'aeroporto);
- **FUEL QUANTITY.....KG:** prevede un semplice controllo sull'ECAM display della quantità di carburante presente;
- **TO DATA.....SET:** consiste nel controllare che l'MCDU sia settato sulla pagina del Flight Plan;
- **BARO REF.....SET:** viene settato il barometro;
- **WINDOWS/DOORS....CLOSED:** tramite l'ECAM System display viene controllata la chiusura delle finestre e delle porte;
- **BEACON.....ON:** vengono attivate le luci di beacon del velivolo (luci esterne), necessarie per la sua individuazione in volo e durante il decollo ed atterraggio per vedere la pista;
- **THRUST LEVERS.....IDLE:** bisogna controllare che la manetta sia in posizione IDLE;

- **PARKING BRAKE....ON:** viene controllato che la posizione della leva del freno sia su ON.

Come per ogni altra procedura, una volta che essa viene completata, bisogna controllare la checklist in modo da verificare che tutti gli step siano stati eseguiti correttamente.

| Before Start checklist | |
|-------------------------------|-----------------|
| COCKPIT PREP..... | COMPLETED(BOTH) |
| GEAR PINS and COVERS..... | REMOVED |
| SIGNS..... | ON/AUTO |
| ADIRS..... | NAV |
| FUEL QUANTITY..... | KG |
| TO DATA..... | SET |
| BARO REF..... | SET |
| WINDOWS/DOORS..... | CLOSED |
| BEACON..... | ON |
| THRUST LEVERS..... | IDLE |
| PARKING BRAKE..... | SET |

Tabella 2: Before Start checklist

7 – Training VR vs CBT (Test)

In quest'ultimo capitolo viene, infine, descritto il test che è stato effettuato presso il laboratorio di Simulazione del Volo (DIMEAS) del Politecnico di Torino. Consiste nell'addestramento di due gruppi di volontari, uno con il *training VR* (utilizzo del visore e dei controller HTC Vive Pro) e l'altro con il *CBT* (studio su un file PowerPoint al cui interno era anche presente un video completo della procedura), su una procedura implementata nel corso di questo lavoro di tesi, e successivamente testarli sul simulatore dell'A320 presente all'interno del laboratorio (Figura 70). Come software di simulazione è stato utilizzato *X-Plane*⁵¹.

La procedura scelta per il test è la *Before Start Procedure*, in quanto più lunga e composta da un maggior numero di step rispetto a quella del De-icing. Una settimana dopo lo svolgimento del test, per valutare la capacità di memorizzazione dei due gruppi, si è riproposto lo stesso test ma senza rivedere la procedura. In questo modo si è voluto dimostrare che l'uso della realtà virtuale per l'addestramento del personale sia effettivamente migliore rispetto al *Computer Based Training*.

A fine test, ai candidati del gruppo CBT è stato fatto provare anche il training in VR in modo che anche loro avrebbero potuto rispondere ad un questionario (Appendice A) sull'esperienza in VR.

A causa della situazione di emergenza epidemiologica COVID-19 in corso, il numero di partecipanti al test è molto inferiore rispetto a quello previsto. Si prevedeva un numero minimo di 10 partecipanti (5 nel gruppo VR e 5 nel gruppo CBT), ma sfortunatamente solo 5 volontari sono riusciti a presentarsi (3 nel gruppo VR e 2 nel gruppo CBT). Inoltre, data la mancanza fisica dell'overhead panel del simulatore, esso è stato sostituito da un'immagine 2D

⁵¹ Videogioco di genere simulativo aeronautico sviluppato da Austin Meyer e prodotto dalla Laminar Research per Windows

incollata su di un pannello di compensato (Figura 71), mantenuto da uno di noi testisti durante lo svolgimento del test al simulatore.



Figura 70: Simulatore A320 (Laboratorio di Simulazione del Volo)



Figura 71: Pannello di compensato con sopra l'immagine dell'overhead panel

Impostazione del test

Per la fase di *training* sono stati concessi 30 minuti, con una piccola pausa nell'intermezzo, in modo che avessero abbastanza tempo per memorizzare la procedura. I candidati, tuttavia, non hanno usufruito di tutto il tempo loro concesso, in quanto sentivano di essere preparati per il test al simulatore. Infatti, è stato registrato il tempo impiegato da ognuno di loro in modo da verificare se effettivamente quelli del gruppo VR abbiano imparato più velocemente rispetto all'altro gruppo. Inoltre, è stato tenuto conto, per il gruppo VR, del tempo impiegato ad ambientarsi all'interno del cockpit virtuale (circa 5 minuti) prima che iniziassero il *training* vero e proprio.

Il test svolto prevedeva che il candidato si sedesse al posto del pilota e uno dei tesisti al posto del copilota, con il compito di leggere la checklist della procedura e segnare il punteggio mentre il candidato eseguiva le istruzioni. Il punteggio è stato suddiviso nel seguente modo:

- **0 punti** se il comando selezionato si trova su un'altra sezione del flight deck rispetto a quella dove si trova il comando giusto (per esempio se deve controllare la manetta ma guarda l'overhead panel);
- **0.25 punti** se il comando selezionato è sbagliato ma si trova nella stessa sezione del flight deck in cui si trova quello giusto (ad esempio si trovano entrambi sul *pedestal*);
- **0.5 punti** se il comando selezionato è sbagliato ma si trova comunque nello stesso pannello (ad esempio entrambi i comandi si trovano sull'ADIRS panel);
- **0.75 punti** se il comando selezionato è adiacente a quello giusto;
- **1 punto** se il comando selezionato è quello giusto.

In Appendice B è mostrata la tabella utilizzata per la valutazione dei due gruppi. In essa è stato tenuto conto anche del tempo di esecuzione della procedura, in quanto è stato considerato un parametro rilevante per il confronto tra i due metodi di training.

Risultati

Considerato che il numero di volontari è molto inferiore al numero previsto per lo svolgimento del test, e quindi un quantitativo di dati insufficiente per la verifica dell'efficienza del metodo che fa uso del VR, i risultati ottenuti e mostrati di seguito non risultano attendibili ai fini dello studio.

| Gruppo VR | | | |
|------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| Candidato | Tempo studio [min] | Punteggio | Tempo esecuzione test [min] |
| 1 | 13 (7) | 15 | 1,13 |
| 2 | 20 (15) | 14 | 1,37 |
| 3 | 16 (11) | 14,75 | 1,2 |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

| Gruppo CBT | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| Candidato | Tempo studio [min] | Punteggio | Tempo esecuzione test [min] |
| 1 | 8 | 14,75 | 1,18 |
| 2 | 14 | 15 | 0,54 |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

Tabella 3: Risultati del primo test

In Tabella 3 sono riportati i risultati relativi al primo test. Come già anticipato, nel tempo di training del gruppo VR è stato tenuto conto del tempo per ambientarsi all'interno del cockpit virtuale e per imparare come utilizzare i controller (circa 5 minuti). Perciò, entrambi i gruppi hanno usufruito in media degli stessi minuti per studiare la procedura. In Figura 72, invece, sono mostrati i due istogrammi che rappresentano il punteggio ed il tempo di esecuzione dei due gruppi.

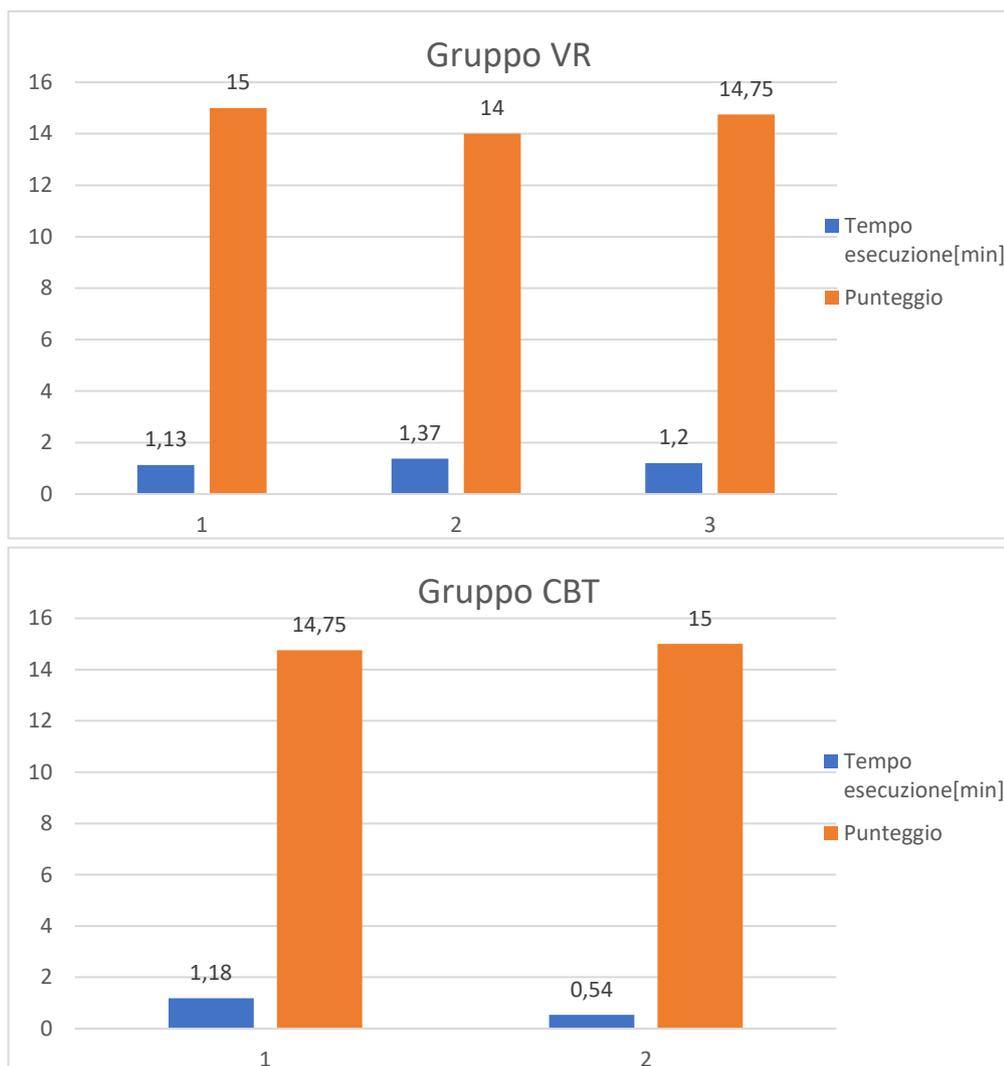


Figura 72: Andamento del punteggio e del tempo impiegato nello svolgere il test

Dall’osservazione di tali grafici è chiaro che i risultati che avrebbero dimostrato il vantaggio del VR sul CBT non sono quelli attesi. Infatti, il punteggio dei due gruppi è pressoché lo stesso e non denota alcuna differenza sostanziale dell’efficacia dei due metodi. Anche il tempo di esecuzione è quasi lo stesso, con addirittura un leggero vantaggio per il gruppo CBT, in quanto uno di essi è riuscito ad eseguire la procedura in soli 54 secondi.

Ciò, ovviamente, non può essere considerato come un risultato attendibile vista la misera quantità di dati raccolti, ma comunque permette di far luce su eventuali migliorie da apportare sulle procedure implementate.

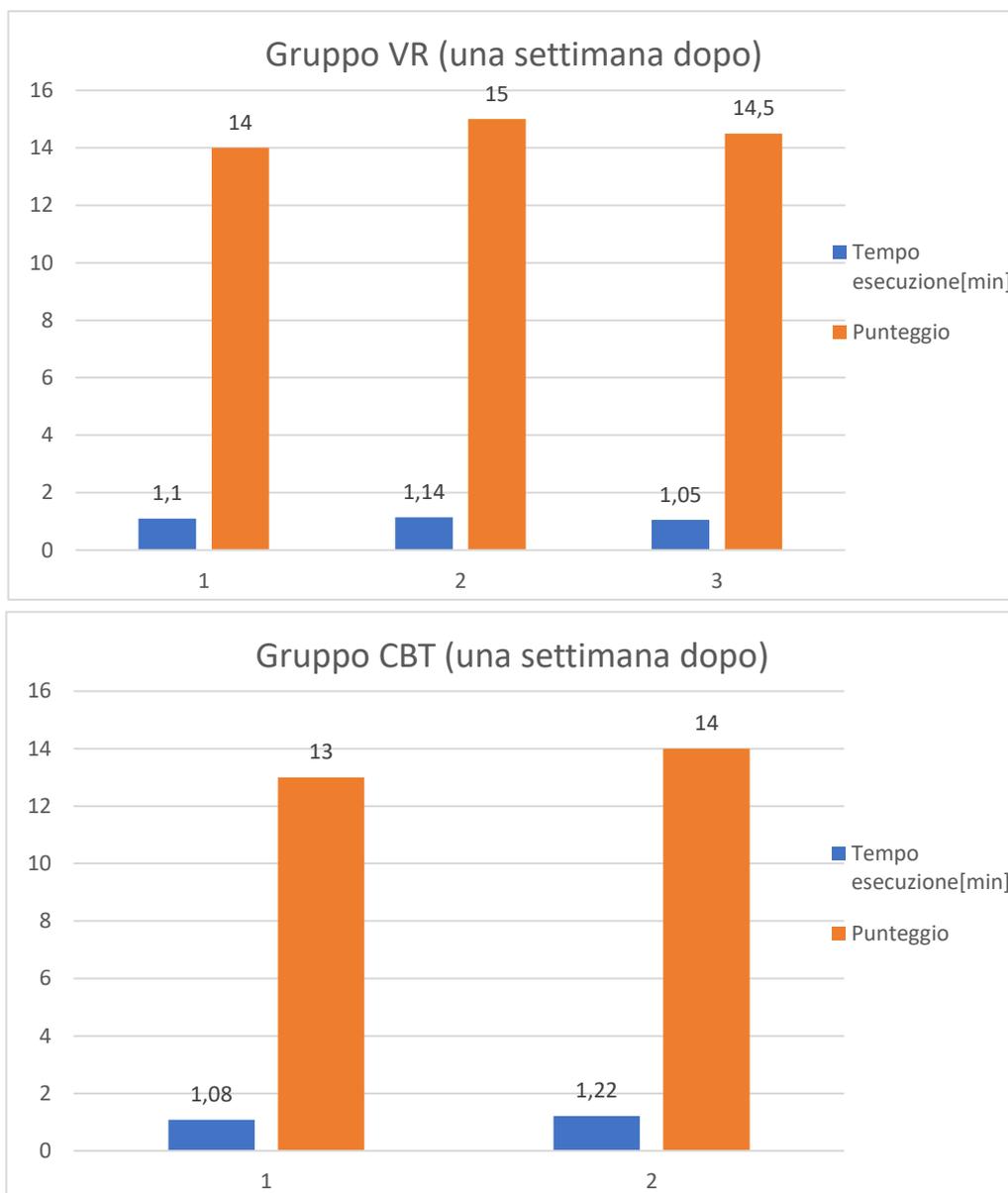


Figura 73: Risultati del test una settimana dopo il training

Questi risultati sono stati registrati subito dopo che i volontari hanno eseguito il training, perciò il fatto che entrambi i gruppi abbiano ottenuto punteggi alti e simili non sorprende molto. Ecco perché la necessità di una seconda fase, in cui si effettua una ripetizione del test a distanza di una settimana dal training. In questo modo, si vuole verificare se effettivamente il metodo VR migliori la capacità di memorizzazione a lungo termine dei volontari, data la stimolazione motoria e visiva che hanno sperimentato durante il training. Infatti, in Figura

73, si nota, anche se impercettibilmente, che la capacità di memorizzazione dei volontari del gruppo VR è migliore rispetto a quelli dell'altro gruppo. Ciò lo si deduce osservando il peggioramento percentuale del punteggio del gruppo VR, a seguito della settimana trascorsa, rispetto quello del gruppo CBT. Infatti, il primo passa da una media di 14.58 a 14.5 (-0.54 %), mentre il secondo passa da una media di 14.87 a 13.5 (-9.2 %). Il peggioramento percentuale meno marcato del VR mostra il miglioramento, e quindi il vantaggio, che esso porta rispetto al CBT, ma il basso numero di volontari non fornisce la certezza di affermare quanto appena osservato.

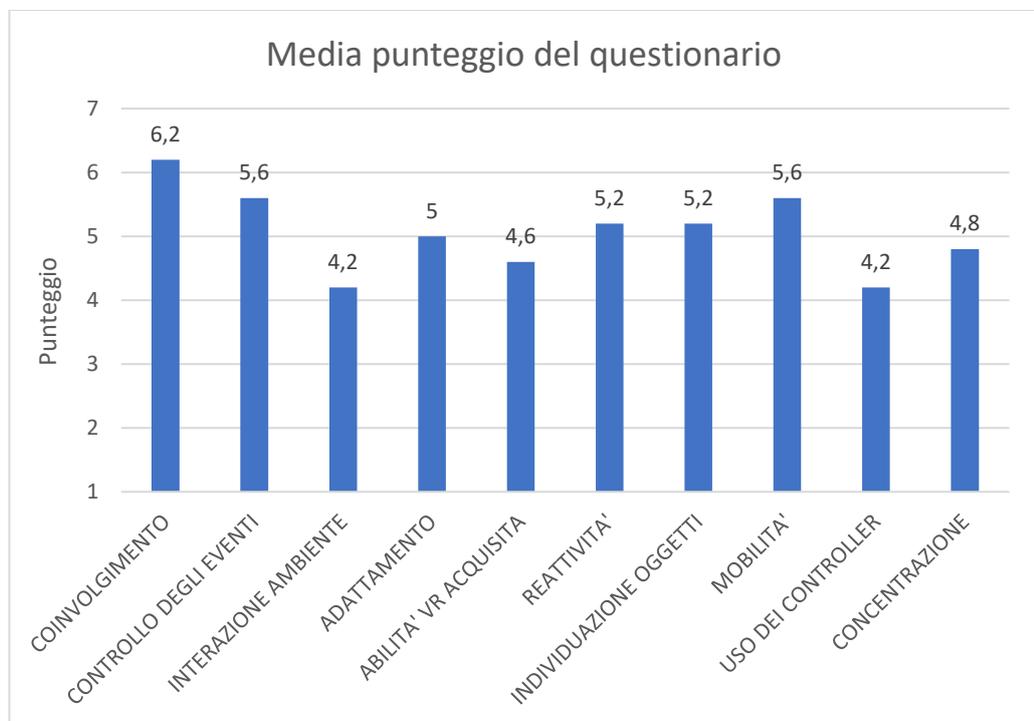


Figura 74: Media punteggio per ogni domanda del questionario VR

Per avere un feedback sull'esperienza virtuale vissuta, tutti i volontari, compresi quelli del gruppo CBT, hanno provato la procedura in realtà virtuale e successivamente compilato un questionario (Appendice A) su di essa. E' stata utilizzata la *Scala Likert*, una scala di valutazione a più livelli, in questo caso sette, per indicare quanto si è d'accordo con la domanda sottoposta. Ad esempio, il livello uno della prima domanda corrisponde a "Per nulla

coinvolto”, il livello quattro a “Mediamente coinvolto” e il livello sette corrisponde a “Completamente coinvolto”. In fondo al questionario, inoltre, è stato lasciato spazio per eventuali commenti, così da avere un’idea più chiara su dove intervenire per apportare migliorie. In Figura 74 viene mostrata la media delle risposte date a ciascuna domanda del questionario (10 domande).

Inoltre, un paio di volontari hanno inserito dei commenti in cui indicano le problematiche riscontrate durante l’esperienza come, ad esempio, l’inserimento delle texture complete del flight deck dell’A320, per una migliore riproduzione della realtà; il miglioramento della precisione di puntamento dei controller, in quanto hanno mostrato poca precisione nel puntare pulsanti e leve ed infine la possibilità di rivedere l’istruzione da eseguire dato che dopo 10 secondi scompare la billboard. Tali commenti, infatti, dimostrano il basso punteggio mostrato in Figura 74, relativo all’interazione con l’ambiente e all’uso dei controller. Per quanto riguarda, invece, il basso punteggio per l’abilità acquisita, questo può essere dovuto al fatto che i volontari si concentravano maggiormente su dove fosse ubicato il comando da selezionare piuttosto che leggere la billboard che indica quale comando si sta azionando.

Conclusioni

Durante la digitalizzazione delle procedure all'interno dell'ambiente virtuale, si è osservato come nonostante la mancanza di una buona padronanza del linguaggio di programmazione, in questo caso di C#, necessario per la creazione di script all'interno di Unity, sia stato comunque possibile realizzarle facilmente tramite l'interfaccia grafica (*Procedure Editor*) presente nel tool WEAVR, sviluppato da *TxT-eSolutions*. Di quest'ultimo si riscontrano in particolar modo le potenzialità in campo aeronautico, in quanto consente all'ingegnere aerospaziale, consapevole dei vari sistemi all'interno dei velivoli e del loro funzionamento, di operare con maggiore autonomia senza dover necessariamente rivolgersi ad un altro esperto, il quale, invece, potrebbe non essere completamente a conoscenza del funzionamento dei sistemi di bordo.

L'obiettivo del presente lavoro, oltre alla digitalizzazione delle procedure, consiste nell'effettuare un test preliminare di confronto tra training VR e CBT, coinvolgendo un piccolo numero di volontari (circa 20), in modo tale da avere un sufficiente quantitativo di dati da analizzare e valutare per approfondire lo studio con dei test futuri, aggiungendo altre procedure o apportando qualche miglioria delle stesse e dell'hardware, somministrati ad un numero elevato di volontari (circa un centinaio). Purtroppo, a causa dell'emergenza epidemiologica, i dati ricavati dal test sono insufficienti per una prima analisi sull'efficacia del VR, ma ciò non significa che non sia stato utile. Infatti, è presente un piccolo miglioramento nel test riproposto una settimana dopo, in cui il peggioramento percentuale del punteggio del CBT è maggiore rispetto a quello del VR. Inoltre, mediante la compilazione del questionario, da parte dei volontari, è stato possibile individuare alcuni problemi riscontrati durante l'esperienza, come la difficoltà nel puntare un oggetto attraverso i controller o l'impossibilità di rileggere e riascoltare l'istruzione da compiere, dopo i 10 secondi impostati come default.

Fortunatamente sono problemi facilmente risolvibili in quanto, per il primo, basterebbe spostare la postazione di training in un luogo molto più spazioso del

laboratorio del DIMEAS, in quanto i *controllers* potrebbero essere stati oscurati dagli oggetti all'interno della stanza, o di aumentare il numero di base stations installate (in questo caso ne sono state utilizzate due), migliorando il tracciamento; per il secondo, invece, si dovrebbe semplicemente apportare qualche modifica nel Procedure Editor, come la ripetizione dell'istruzione nel caso siano passati alcuni secondi da quando la *billboard* sia scomparsa.

Detto ciò, sarebbe opportuno migliorare dove necessario le procedure e successivamente ripetere il test con un numero adeguato di candidati in modo da ottenere un quantitativo di dati sufficiente per un'analisi più accurata sull'efficacia della realtà virtuale.

Appendice A

Questionario training VR

Descriva la sua esperienza nell'ambiente di realtà virtuale segnando con una "X" la casella appropriata nella scala a sette punti.

1. Quanto era coinvolto nell'esperienza nell'ambiente di realtà virtuale?

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Per nulla coinvolto | | | Mediamente coinvolto | | | Completamente coinvolto |

2. Quanto era in grado di controllare gli eventi?

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Per nulla | | | Mediamente | | | Completamente |

3. Quanto naturale le è sembrata la sua interazione con l'ambiente virtuale?

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Estremamente artificiale | | | Mediamente naturale | | | Completamente naturale |

4. Quanto rapidamente si è adattato all'esperienza nell'ambiente virtuale?

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Per nulla adattato | | | Lentamente | | | Meno di un minuto |

5. Quanto abile si è sentito, alla fine della sua esperienza in realtà virtuale, nel muoversi ed interagire nell'ambiente VR?

| | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Per nulla abile | | | Mediamente abile | | | Completamente abile |

Bibliografia

- [1] Cipresso P., Giglioli A., Raya A. M. and Riva G., “*The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature*”, 2018
- [2] Witmer G. B., Singer J. M., “*Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*”, U.S. Army Research Institute, 1998
- [3] Mazuryk T, Gervautz M., “*Virtual Reality: History, Applications, Technology and Future*”, Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, Austria (1999)
- [4] Frederic P. Brooks, Jr, Ming Ouh-Young, James J. Batter and P. Jerome Kilpatrick, “*Project GROPE – Haptic Displays for Scientific Visualization*”, UNC, 1990
- [5] Kalawsky, RS, “*La scienza della realtà virtuale e degli ambienti virtuali: un riferimento tecnico, scientifico e ingegneristico sugli ambienti virtuali*”, Addison-Wesley, Wokingham, Inghilterra, 1993
- [6] Watkins C., Marenka S., “*Virtual Reality Excursion with Programs in C*”, AP Professional, 1994
- [7] Stephan, Ahmed, Omran, “*Blended learning Using Virtual Reality Environments*”, University of Information Technology and Communications, 2017
- [8] Scholz D., Thorbeck J. (2000), “*Computer Based Training in Aircraft Design Education*”, Proceeding of 22nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, Paper ICAS 2000-1.7.3
- [9] ICAO, “*Taxonomy to Assist in the Identification of Instructional Methods (E-learning, Classroom and Blended Training)*”, GLOBAL AVIATION TRAINING, 2016

- [10] Agnieszka Kwiew, “*Teaching Aircraft Design through a Blended Learning method in higher education*”, Brighton in School of Computing Engineering and Mathematics, 2018
- [11] Walton A., Baumann C., Geske C. R., “*Fatal Flight Training: ACCIDENT REPORT 2000-2015*”, AOPA Air Safety Institute & Liberty University
- [12] Ellis Claire, “*ARE VR FLIGHT SIMULATORS THE FUTURE OF PILOT TRAINING?*”, Air Charter Service, 2019
- [13] Fang Lu, Oscar C. Au, Ketan Tang, Xing Wen, Hanli Wang, “*Novel 2-D MMSE Subpixel-Based Image Down-Sampling*”, Prof. of IEEE Int. Conf. Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010
- [14] TxT – eSolutions, “*Pacelab WEAVR Creator – User Manual*”, Version 2.0.0a22
- [15] Airbus, “*A320 321 FCTM Flight Crew Training Manual*”, 2008

Sitografia

- [1.1] <https://www.isfol.it/highlights/evoluzione-formazione-aziendale/i-numeri-della-formazione-aziendale>
- [1.2] Patti F., “La formazione? Per le aziende è solo costo e burocrazia”, <https://www.linkiesta.it/2017/11/la-formazione-per-le-aziende-e-solo-costo-e-burocrazia/>, 2017
- [1.3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>
- [1.4] <https://www.virtualrealtà.it/storia-realtà-virtuale-30/>
- [1.5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Videoplacement>
- [1.6] https://it.wikipedia.org/wiki/Cave_Automatic_Virtual_Environment
- [1.7] <https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/paper/ICA0173Presentation.pdf>
- [1.8] <https://www.businesswire.com/news/home/20191101005408/en/Augmented-Virtual-Reality-AR-VR-Markets-Aviation>
- [1.9] <https://jasoren.com/aviation/>
- [2.0] <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/3885542/Circuit%20Stream%20Vantage%20Case%20Study-web.pdf>
- [2.1] Thompson Sara, “*VR Lens Basics: Present and Future*”, tom’s HARDWARE, <https://www.tomshardware.com/news/virtual-reality-lens-basics-vr,36182.html>, 2018
- [2.2] D’Apuzzo Arturo, “Guida per principianti alla VR-Parte I-Il glossario della VR”, <https://4news.it/guida-per-principianti-alla-vr-parte-i-il-glossario-della-vr/>, 2020
- [2.3] <https://smartglasseshub.com/vr-headset-display-comparison/>
- [2.4] Langley Huge, “*Inside-out v Outside-in: How VR tracking works, and how it’s going to change*”, <https://www.wearable.com/vr/inside-out-vs-outside-in-vr-tracking-343>, 2017

- [2.5] Lapiere James, “The Future of VR Controllers”,
<https://www.filamentgames.com/blog/future-vr-controllers/>, 2017
- [2.6] <https://haptx.com/technology/>
- [2.7] https://www.ultraleap.com/datasheets/Leap_Motion_Controller_Datasheet.pdf
- [2.8] Destri Francesco, “*HTC Vive: le prime impressioni di IGN Italia*”,
<https://it.ign.com/htc-vive/110827/feature/htc-vive-le-nostre-prime-impressioni?p=2>, 2016
- [2.9] <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>
- [3.0] <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro-full-kit/>
- [3.1] Nairobi, “The Airbus Cockpit Philosophy”,
https://www.icao.int/ESAF/Documents/meetings/2017/AFI%20FOSAS%202017/Day%201%20Docs/Day_1_2_Airbuspihlo.pdf, 2017
- [3.2] http://www.smartcockpit.com/docs/A320_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_For_Pilots.pdf
- [3.3] http://www.a320dp.com/A320_DP/panels.html
- [3.4] http://www.smartcockpit.com/docs/Standard_Operating_Procedures.pdf