



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE FACOLTÀ
DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in

Ingegneria Meccanica

**Realizzazione di un'applicazione di realtà aumentata per il controllo
assemblaggio in CNH Industrial**

**Creation of an augmented reality application for assembly control in
CNH Industrial**

Relatore:

Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di

Szymon Piotr Szwarc

Anno Accademico 2020/2021

Sommario

Introduzione	4
Capitolo 1: Stato dell'arte	10
Capitolo 2: La realtà aumentata e il suo potenziale	16
2.1 Dispositivi AR	23
2.2 HoloLens 2	24
Capitolo 3: Caso studio	29
3.1 Assieme usato nell'applicazione	31
3.2 Introduzione a Unity	35
3.2.1 Interfaccia utente	35
3.2.2 Assets	36
3.2.3 GameObjects e i loro componenti.....	36
3.3 Costruzione della scena	38
3.3.1 Creazione di GameObject, modelli 3D e prefabbricati	38
3.3.2 Ereditarietà	39
3.3.3 Telecamera virtuale	39
3.3.4 Scripting	40
3.3.5 Animazioni	40
3.3.6 Aggiunta di Mixed Reality Toolkit	40
Capitolo 4: Applicazioni progettate	42
4.1 Versione 1	42
4.2 Versione 2	45
4.3 Versione 3	49
5.4 Versione 4	51
Capitolo 5: Test usabilità	53
5.1 Valutazione	53
5.2 Risultati dei questionari	55

5.3 Analisi dei risultati	57
Conclusione	61
Bibliografia	62

Introduzione

La realtà virtuale è una realtà simulata, un ambiente tridimensionale costruito al computer che può essere esplorato e con cui è possibile interagire che proiettano chi li indossa in uno scenario così realistico da sembrare vero.

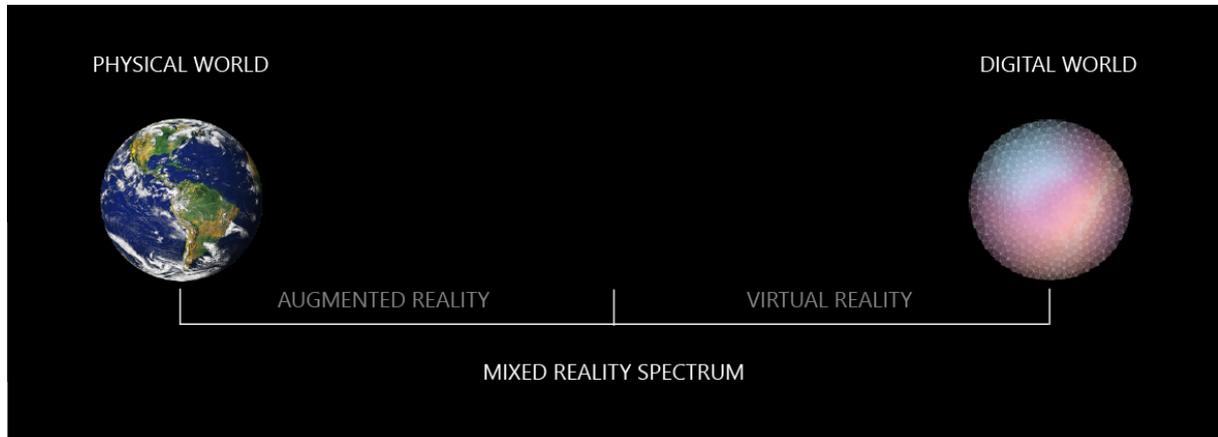


Figura 1. Spettro della realtà aumentata

Tra i due mondi si possono definire diversi ambienti che possono essere più o meno influenzati dalle informazioni virtuali. Le esperienze possibili tra la realtà aumentata e la realtà virtuale costituiscono la realtà mista, le cui definizioni variano in base al rapporto tra ciò che è reale e ciò che è virtuale. Tutto ciò che è compreso tra i due estremi viene definito realtà mista (Mixed Reality), ovvero uno scenario in cui coesistono il reale e il virtuale. Nel contesto della realtà mista, possiamo racchiudere principalmente due tipologie di applicazioni:

- **Realtà aumentata:** si basa sull'ampliamento o sull'integrazione della realtà circostante con immagini generate al computer, che modificano l'ambiente intorno all'utente.
- **Virtualità aumentata:** in questo scenario, persone od oggetti reali sono integrati in ambienti virtuali ed interagiscono con esso.

A ottobre 2020, Microsoft e Hypothesis hanno avviato un'indagine con l'obiettivo comprendere come la realtà mista viene utilizzata nell'industria. Inoltre, questa indagine mira anche a scoprire i modi in cui la realtà mista potrebbe evolversi in futuro.

Man mano che le aziende di tutto il mondo iniziano a utilizzare tecnologie immersive per migliorare l'efficienza, la realtà mista è pronta a cambiare il modo in cui operano le aziende in quanto fonde il mondo digitale e fisico sovrapponendo oggetti digitali 3D al mondo fisico dell'utente, offrendo un modo per interagire intuitivamente utilizzando dispositivi montati sulla testa. Microsoft ha incaricato Hypothesis Group, un'agenzia di approfondimenti, design e

strategia, di eseguire la ricerca Mixed Reality Intelligence. La ricerca si è svolta sotto forma di un sondaggio online di 15 minuti con oltre 700 utenti di realtà mista presso aziende di medie dimensioni e operanti nel settore manifatturiero, sanitario e al dettaglio negli Stati Uniti, Germania e Giappone. Inoltre, la ricerca approfondisce le storie dei clienti tratte da interviste tra Microsoft e decisori di realtà mista presso aziende di tutto il mondo che utilizzano HoloLens 2. Dalle indagini è emerso fuori che:

- La maggior parte delle aziende sta attualmente utilizzando soluzioni di realtà mista tramite HMD (Head Mounted Display, schermo montato sulla testa) e si prevede che l'utilizzo aumenterà nei prossimi 12-24 mesi. La realtà mista è vista come una risorsa fondamentale per le aziende (con un'approvazione del 97%) tra coloro che la stanno attualmente utilizzando o la stanno valutando per il prossimo futuro.
- I problemi di implementazione come l'integrazione e la distribuzione impediscono agli utenti attuali di aggiungere nuove soluzioni ai loro portfolio. Per i potenziali utenti che si trovano nella fase di valutazione invece i maggiori ostacoli all'adozione della realtà mista sono rappresentati da budget, tempistiche e mancanza di conoscenza.
- Le aziende stanno attualmente utilizzando la realtà mista principalmente per le istruzioni degli assemblaggi e gestione delle attività, seguite da progettazione e prototipazione. L'utilizzo della realtà mista per l'assistenza remota è l'impiego meno popolare, ma si prevede che aumenterà nel prossimo futuro.
- Oltre la metà di tutte le organizzazioni manifatturiere si aspetta un ritorno medio del 30% o più dal proprio investimento nella realtà mista per migliorare le attività svolte. Le storie di successo dei clienti delle principali aziende dimostrano come le soluzioni offerte da HoloLens 2 soddisfino e superino le aspettative.

Data la recente nascita della realtà mista, le aziende si trovano in varie fasi di implementazione. Tra gli intervistati, oltre l'80% sta attualmente utilizzando prodotti e soluzioni di realtà mista in qualche modo, con oltre la metà che ha riferito che queste tecnologie sono già state integrate nei propri modelli di business; tra gli utenti attuali, solo 1 su 4 rimane in fase di prova.

Detto questo, anche quelli del primo gruppo sono relativamente nuovi a Mixed Reality: 2 aziende su 3 utilizzano questa tecnologia da meno di due anni. Tra i paesi esaminati, l'utilizzo della realtà mista è più elevato in Germania, dove gli utenti attuali rappresentano il 91% delle organizzazioni intervistate. Questo numero è più basso in Giappone, dove solo il 72% delle

organizzazioni rientrano in questa categoria, ed è equivalente alla media complessiva (81%) negli Stati Uniti.

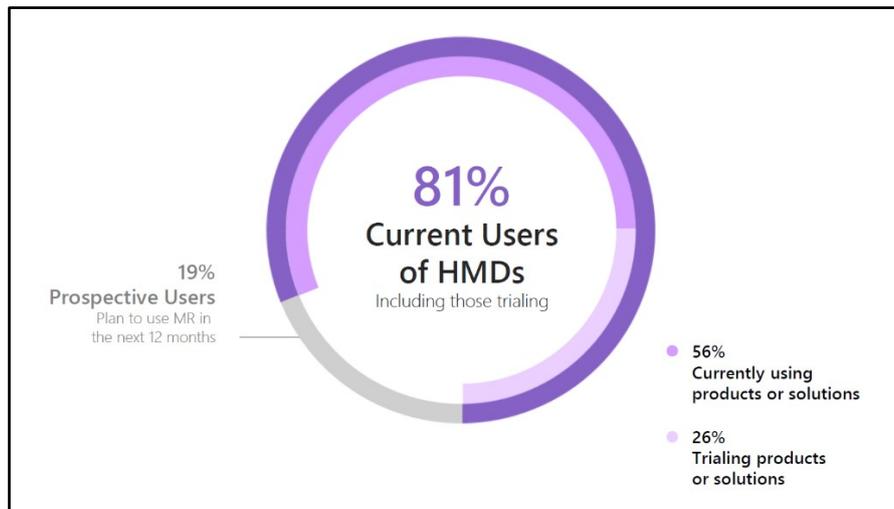


Figura 2. Attuali e futuri utenti della realtà mista

In generale, gli utenti attuali concordano sul fatto che questa nuova tecnologia sia fondamentale per il loro successo. Fondamentalmente, la realtà mista è vista come una soluzione sia per oggi che per domani: gli utenti credono che l'importanza di questa tecnologia aumenti del 9% il successo futuro dell'azienda. Di conseguenza, la maggior parte degli utenti attuali (65%) prevede di aumentare il proprio investimento in Mixed Reality in futuro, mentre il resto prevede di investire come attualmente; nessuna delle organizzazioni intervistate prevede di investire di meno.

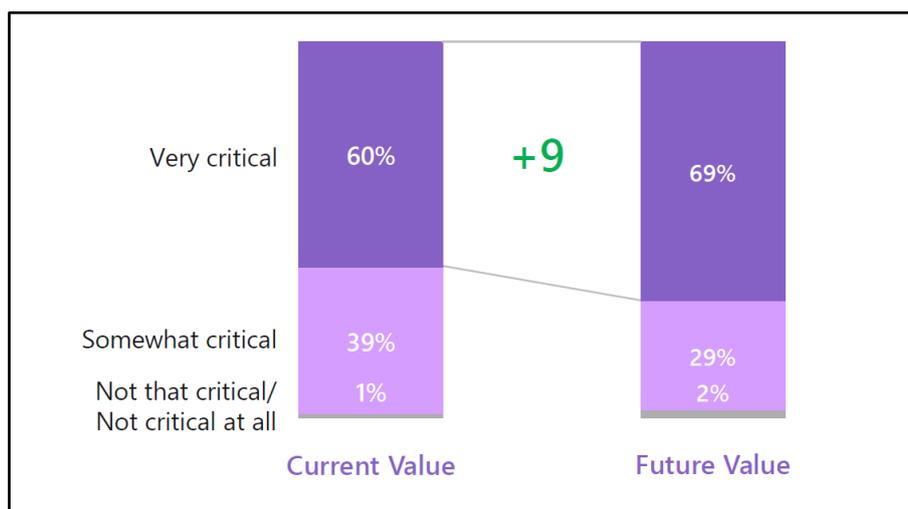


Figura 3. Valore attuale e valore futuro della realtà mista

Successivamente, gli utenti attuali e futuri della realtà mista citano le principali barriere dell'utilizzo della tecnologia o del suo aumento. Per gli utenti attuali, le sfide di implementazione sono al primo posto; la difficoltà di integrare la realtà mista con i sistemi attuali e i problemi con i tempi e l'implementazione sono le due barriere principali per questo gruppo. I futuri utenti, d'altra parte, identificano i vincoli di budget e di tempo come gli ostacoli principali da superare. Sebbene le preoccupazioni principali di questi due gruppi siano abbastanza distinte, le somiglianze tra le altre principali barriere rivelano che sia gli utenti attuali che quelli futuri trarrebbero beneficio da un'istruzione e una formazione aggiuntive sulla realtà mista. I partecipanti indicano la mancanza di conoscenza della tecnologia come una delle principali sfide e ulteriori barriere suggeriscono che anche l'incertezza sull'implementazione della realtà mista sono ostacoli salienti per entrambi i gruppi.

Top 5 Barriers For Current Users		Top 5 Barriers For Prospective Users	
Too complex to integrate with legacy systems	28%	Don't have the budget	31%
Still in the process of implementing current MR solutions	24%	Takes too long to implement	29%
Issues with timing and deployment	23%	Don't know enough	27%
Isn't a solution that meets our needs	21%	Don't have enough deployment training	27%
Don't know enough	20%	Unsure about scalability in organization	27%

Figura 4. I principali ostacoli per gli utenti attuali e quelli futuri

Le istruzioni degli assemblaggi e la gestione delle stesse rappresentano l'uso principale per la realtà mista nell'industria, poiché i visori sono in grado di visualizzare virtualmente risorse cruciali come linee guida dettagliate, informazioni sulla sicurezza e una lunga documentazione di cui un dipendente ha bisogno per completare attività di produzione complesse. Quasi la metà di tutte le organizzazioni manifatturiere utilizza attualmente la realtà mista per le guide alle attività e la gestione delle attività.

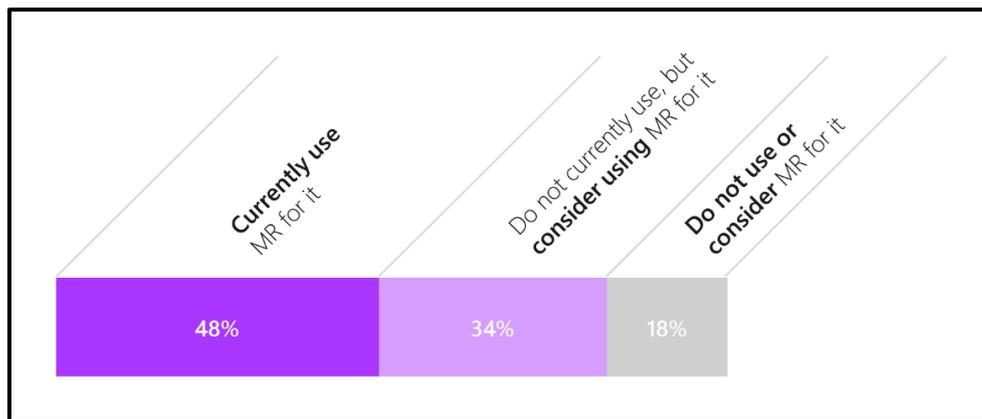


Figura 5. Uso e prospettive future dell'uso della MR per le istruzioni

L'indagine comprende anche delle interviste che descrivono l'uso della realtà mista all'interno delle aziende, tra cui Lockheed Martin.

Lockheed Martin è un'azienda all'avanguardia in questa tendenza, sta utilizzando HoloLens 2 per visualizzare le istruzioni e la gestione delle attività per costruire la navicella spaziale Orion. La NASA ha incaricato la Lockheed Martin per supervisionare la produzione e l'assemblaggio del veicolo spaziale, che ha richiesto la ricerca di soluzioni alternative alle istruzioni cartacee o ai tablet che sono ingombranti e soggetti a errori umani. Pertanto, l'azienda utilizza il visore della Microsoft per consentire ai lavoratori di collaborare in remoto e aiutare a produrre veicoli spaziali di qualità superiore a costi inferiori, in meno tempo. I comandi vocali guidano gli operatori in ogni fase, con istruzioni olografiche sovrapposte alle parti interessate durante la fase di assemblaggio.

Data la formidabile sfida di bilanciare costi, tempi di produzione e qualità quando la posta in gioco è molto alta, HoloLens 2 ha permesso a Lockheed Martin di elevare e dare priorità a tutti e tre questi fattori contemporaneamente. Mentre la maggior parte delle organizzazioni riduce l'errore umano di circa il 30% utilizzando la realtà mista per le istruzioni degli assemblaggi e la gestione delle attività, Lockheed Martin ha riscontrato un successo ancora maggiore in questa impresa: dalla prima implementazione di HoloLens 2 nel 2017, l'azienda non ha riscontrato errori umani o reclami. Questo miglioramento è estremamente raro; costruire un'astronave richiede milioni di operazioni, ognuna con zero margini di errore, e HoloLens 2 di Microsoft ha permesso a Lockheed Martin di realizzare questa aspettativa.

Oltre a questo enorme miglioramento della qualità, l'integrazione della realtà mista ha permesso all'azienda di aumentare i profitti. Per quanto riguarda i costi, Lockheed sta ora risparmiando \$ 38 per elemento di fissaggio e questo non è un risparmio da poco quando una singola navicella

spaziale Orion ne ha oltre 57.000. Rispetto ai tempi di produzione, HoloLens 2 ha ridotto la manodopera tattile del 90%; quello che prima era un turno di 8 ore ora può essere completato in 45 minuti. Mentre la maggior parte delle aziende dà la priorità all'aumento delle prestazioni dei dipendenti e alla riduzione dell'errore umano accantonando momentaneamente l'accelerazione del completamento delle attività, Lockheed dimostra che questi risultati non si escludono a vicenda e, di fatto, possono andare di pari passo. Delle aziende che attualmente non utilizzano la realtà mista per le istruzioni degli assemblaggi e la gestione delle attività, la maggioranza (65%) sta valutando di implementarla in futuro. Poiché le storie di successo come quella di Lockheed Martin continuano a proliferare, l'adozione della realtà mista è destinata a continuare a crescere.

Poiché le tecnologie immersive continuano a trasformare la realtà come la conosciamo, Mixed Reality si è dimostrato essere uno strumento di business a sé stante. Con la sua capacità unica di fondere il reale e il digitale, Mixed Reality offre soluzioni tanto diverse quanto innovative, con casi d'uso che vanno dal collegamento a distanza tra esperti con tecnici in loco a procedure di assemblaggio avanzate. Idee che sembravano fantascienza solo un decennio fa sono ora letteralmente a portata di mano e le aziende audaci devono pensare in modo creativo a come possono utilizzare la realtà mista per differenziarsi in un mercato digitale sempre più competitivo.

Tra i vari mercati e i settori, i vantaggi dell'implementazione delle tecnologie di realtà mista sono vasti ed emergono tre temi principali. Innanzitutto, integrando elementi digitali in spazi reali, la realtà mista riduce i vincoli imposti dall'adattamento degli spazi reali in funzione agli schermi da posizionare. In secondo luogo, le soluzioni della realtà mista offrono vantaggi distintivi per l'istruzione, sia essa aziendale o accademica, consentendo a studenti e tirocinanti di sviluppare un'esperienza pratica nell'esecuzione di compiti che potrebbero essere dannosi o costosi se eseguiti da principianti in un contesto reale. Infine, Mixed Reality ci permette di fare qualcosa che prima era impensabile: essere in due posti contemporaneamente. Ininfinitamente più sofisticate delle videochiamate, le tecnologie della realtà mista possono trasportare individui distanti chilometri nello stesso spazio digitale, consentendo loro di interagire con l'ambiente circostante e tra loro come se lo spazio tra di loro fosse quasi svanito. In particolare, nel contesto di una pandemia globale, questa capacità di emulare l'unione e accorciare le distanze è più indispensabile che mai. [1]

Capitolo 1: Stato dell'arte

La realtà aumentata (AR) è la sovrapposizione di informazioni digitali (di solito un'immagine virtuale) in un contesto reale per migliorare l'esperienza dell'utente. Dal suo inizio nei primi anni '90, le tecnologie associate sono progredite enormemente e ora si prevede che l'AR svolga un ruolo sempre crescente in vari campi, specialmente nell'industria. La realtà aumentata è considerata una delle tecnologie chiave per l'industria 4.0, dato il suo forte potenziale per migliorare i processi di produzione e controllo. L'attuale sfida di livello mondiale è sostenere o aumentare la capacità di produzione con una qualità superiore e con meno input al fine di ridurre tempi, costi e allo stesso modo migliorare la produttività della pianificazione. La produzione moderna richiede crescenti richieste di prodotti e servizi ad alta tecnologia per la produzione dato da un aumento dell'automazione dei processi. In risposta, continuano a sorgere nuovi metodi e tecniche altamente specifici per supportare i processi di gestione, produzione e logistica e, soprattutto, il lavoro di assemblaggio.

Secondo la pubblicazione di Sebastian Langa, Mohammed Saif Sheikh Dastagir Kota, David Weigerta e Fabian Behrendt [2], la maggior parte studi condotti sull'uso della realtà mista usando gli HoloLens si rivolge al campo della ricerca medica. In particolare, molti descrivono applicazioni per l'insegnamento o l'assistenza nelle operazioni chirurgiche. Inoltre, un gran numero di articoli tratta di applicazioni nel campo dell'ingegneria civile. Molti documenti esclusi presentano anche applicazioni relative alla produzione e alla logistica, ma non per HoloLens. In questi documenti, gli autori menzionano HoloLens solo in una revisione della letteratura o nelle prospettive come pietra miliare futura. La Figura 1 fornisce una prima impressione degli argomenti affrontati dalle applicazioni incluse. Raggruppiamo ogni applicazione HoloLens in base al suo campo di applicazione e al compito da svolgere. Le seguenti sottosezioni descrivono in dettaglio i campi di applicazione individuati.

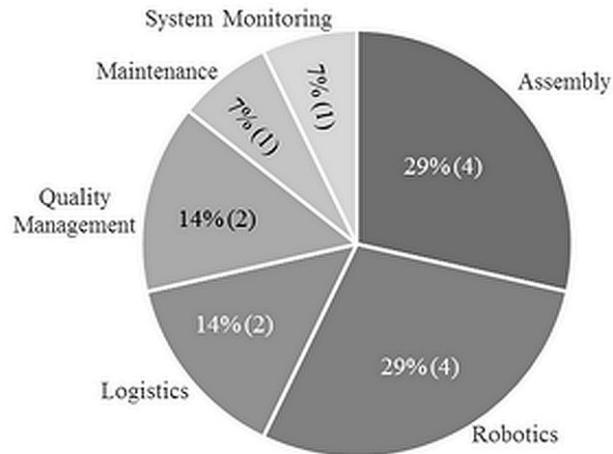


Figura 6. Classificazione delle applicazioni degli HoloLens.

Come indicato dai risultati della Figura 1, l'assemblaggio appartiene alle aree di applicazione per le quali si trovano il maggior numero di pubblicazioni. Tra applicazioni di assemblaggio si può trovare la realtà aumentata come sistema di assistenza. In questo scenario, l'utente riceve informazioni sulle operazioni di assemblaggio tramite la visualizzazione di HoloLens. Più precisamente:

- l'applicazione genera un percorso digitale tra il punto di prelievo del componente da montare e il punto di assemblaggio sul prodotto principale
- mostra un'immagine 3D del componente nel punto di montaggio, nella giusta posizione e fornisce inoltre un'animazione che indica la direzione del processo di assemblaggio, come nel nostro caso studio.

La sfida principale di entrambi gli approcci è garantire che il visore visualizzi le istruzioni di assemblaggio nella posizione corretta. Pertanto, l'applicazione deve considerare i diversi stati di assemblaggio del prodotto e le diverse posizioni sia dei componenti sia del prodotto in fase di montaggio, nonché dell'area di lavoro. Per il corretto uso dell'applicazione si possono utilizzare il tracciamento tramite dei marker per identificare la posizione iniziale le posizioni dei componenti e il prodotto da assemblare, per migliorare il riconoscimento della posizione e dei cambiamenti di posizione del prodotto principale (soprattutto se è in movimento) si possono applicare i visori insieme a fotocamere per migliorare il riconoscimento della posizione e dei cambiamenti di posizione del prodotto principale. Per considerare i diversi stati di assemblaggio, si possono importare i modelli CAD dei componenti dell'assieme e di ogni stato di assemblaggio intermedio del prodotto principale. Blattgerste et al. [3] confrontano l'utilità e l'usabilità delle istruzioni di assemblaggio basate su AR con le istruzioni cartacee

convenzionali. Oltre all'HoloLens, gli autori considerano anche uno smartphone come dispositivo di prova. Gli autori affermano che l'applicazione AR ha prestazioni sufficienti su entrambi i dispositivi. Sono stati svolti dei test che prevedevano alcune fasi di assemblaggio, i risultati mostrano che le persone del test hanno completato l'attività in minor tempo utilizzando le istruzioni di montaggio tradizionali. Tuttavia, le persone del test hanno ottenuto il tasso di errore più basso se hanno utilizzato HoloLens.

La realtà aumentata è una delle tecnologie che alimenteranno la trasformazione supportata dall'iniziativa Industria 4.0. In questa trasformazione, sensori, macchine, pezzi in lavorazione, operatori e sistemi IT saranno in costante collegamento tra loro. In particolare, esistono specifiche aree industriali dove la visualizzazione delle informazioni tramite AR è molto efficace rispetto ad altre tecnologie; esempi sono l'assistenza remota e la localizzazione dei punti d'interesse per le ispezioni e manutenzioni. Questi sistemi supportati dalla realtà aumentata sono attualmente nelle loro fasi iniziali, ma, in futuro, le aziende faranno un uso molto più ampio di questa tecnologia per fornire ai dipendenti informazioni in tempo reale per migliorare il lavoro svolto. Infatti, l'uso dell'AR riduce al minimo il carico cognitivo e le problematiche di attenzione divisa indotte dalla necessità di dover prestare attenzione sia all'area di lavoro che alla zona dedicata alle istruzioni. L'attenzione divisa è la capacità di rispondere contemporaneamente a più attività o più richieste di attività ed è considerato il più alto livello di attenzione. Antonio E. Uva et al. [4] in letteratura, hanno trovato diverse dimostrazioni di successo dell'uso dell'AR in ambito medico, addestramento militare, telerobotica, intrattenimento, manutenzione e produzione.

Tuttavia, questa tecnologia stenta ancora a raggiungere le fabbriche. Questo problema è dovuto principalmente alle soluzioni di visualizzazione che ancora non si adattano ai rigidi vincoli industriali in materia di ergonomia, codifica a colori, formazione degli operatori e affidabilità delle soluzioni proposte. Un approccio alla realtà aumentata consiste nell'utilizzare dispositivi palmari come smartphone e tablet. Sebbene questo tipo di AR sia molto facile da implementare grazie alla disponibilità di dispositivi a basso costo e buona potenza di calcolo, in pratica presenta diverse limitazioni. Una delle più importanti è che gli operatori dovrebbero impiegare una o anche due mani per la visualizzazione, limitando così la loro capacità di lavorare. Si può anche pensare di installare uno schermo in prossimità della zona di lavoro che mostri le operazioni da svolgere in modo da liberare entrambe le mani. In generale l'uso di un approccio AR rispetto a un approccio tradizionale basato su istruzioni cartacee produce un miglioramento significativo delle prestazioni degli operatori per le attività di manutenzione. Tuttavia, l'utilizzo

di questa soluzione non è facile da implementare in vari contesti industriali: non ovunque c'è spazio sufficiente per un grande schermo. Inoltre, può causare un elevato offset angolare, ovvero l'offset tra il mondo reale osservato dall'operatore e il mondo visto dal display usato per la visualizzazione dell'istruzione. Un elevato offset angolare può portare a problemi di allineamento: gli utenti potrebbero non comprendere prontamente la relazione tra ciò che viene visto direttamente nel mondo reale e ciò che viene mostrato sullo schermo quando si confrontano entrambi, il che può richiedere molto carico mentale per la rotazione e ridimensionamento.

In ogni settore, indipendentemente dall'attuazione delle idee di Industria 4.0 che portano a una significativa automazione dei processi e delle operazioni produttive o logistiche, le attività manuali sono sempre di grande importanza. Pertanto, robotizzazione e automazione a parte, i pensieri dei ricercatori dovrebbero sempre prendere in considerazione il miglioramento delle esigenze umane. Come notato dagli scienziati del Centro di ricerca tedesco per l'intelligenza artificiale (DFKI—Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz), una grande area di ricerca nell'argomento Industria 4.0 è focalizzata a trovare l'interfaccia di interazione uomo-macchina più conveniente [5]. Tenuto conto di quanto sopra, vale la pena introdurre rapidamente l'importanza delle interfacce di interazione uomo-macchina. Questa introduzione si riferisce a diverse aree di ricerca, nonché a vari settori industriali. La relazione indiretta è collegata, ad esempio, all'industria automobilistica, e la relazione diretta è correlata all'implementazione della robotica che è di particolare interesse nell'Industria 4.0. Al giorno d'oggi, gli studi interdisciplinari sul suddetto argomento possono incrociarsi in diversi campi di ricerca.

Il primo esempio è il sistema di interazione uomo-computer collegato ai movimenti oculari e alle tecnologie di tracciamento delle dita nell'industria automobilistica come descritto in Zeng et al. [6]. Inoltre, Zhao et al. [7] hanno condotto ricerche e descritto l'interfaccia di interazione uomo-macchina per il sistema di automazione delle spedizioni. L'analisi visiva menzionata nel documento citato è trattata dagli autori di questo articolo come un aspetto importante per lo sviluppo di qualsiasi tipo di sistema in cui esiste la corrispondenza tra umani e l'esistenza degli strumenti online. La percezione visiva è importante anche nella robotica, è strettamente connessa all'ergonomia cognitiva, menzionata in Deng et al. [8] che ha preso in considerazione il progetto della sala di controllo della perforatrice su un impianto di perforazione.

Uno degli strumenti che sono stati gradualmente introdotti per influenzare l'efficienza e la qualità dell'interfaccia di interazione uomo-macchina è il visore per la realtà aumentata (AR), o semplicemente, gli occhiali AR [9]. Questo tipo di occhiale è una delle applicazioni più comuni della tecnologia AR, accanto ai visori AR quando i dispositivi indossabili sono basati su display montati sulla testa (Head Mounted Display, HMD). Come definì Ro et al. [10], gli occhiali AR sono "dispositivi che vengono indossati come occhiali normali e uniscono informazioni virtuali con informazioni fisiche nel campo visivo dell'utente". Questo tipo di visore, dotato di efficienti soluzioni di tracciamento ancorate alla testa, era realizzabile grazie a una crescente capacità di potenza di calcolo e grafica mobile.

Le applicazioni AR sono attualmente utilizzate in numerosi ambiti, che vanno dall'ingegneria industriale ai servizi clinici, alle riparazioni sul campo ed alla logistica. L'impiego di questo tipo di apparecchiature nei campi di medicina e farmacologia è stato studiato da Li et al. [11] studiando il supporto di questa tecnologia con persone con disabilità uditive. Inoltre, considerando lo stesso campo di ricerca, Ingeson et al. [12] hanno sviluppato un manager intelligente che con l'aiuto del visore AR era in grado di gestire diversi tipi di informazioni come il regime farmacologico e le restrizioni dei pazienti medici, nonché le preferenze dei pazienti.

Gli occhiali AR possono essere utilizzati anche come ausilio nella formazione iniziale di studenti e giovani dipendenti. Per scopi di ingegneria industriale, l'uso dei visori di realtà aumentata è stato studiato per migliorare la capacità dei sovrintendenti di eseguire ispezioni infrastrutturali, mappare le infrastrutture, generare modelli di ispezioni e fornire conformità tra i vari utenti come in Ballor et al. [13]. Gli autori di questa ricerca hanno affermato che, nonostante il buono stato strutturale, il monitoraggio è riconosciuto come il ruolo chiave per valutare l'integrità delle strutture ad esempio con analisi non distruttive, le ispezioni visive basate sull'uomo rimangono il principale metodo di lavoro, rendendo l'AR una tecnologia preziosa a tale scopo.

L'altra area di interesse comune è l'applicazione dell'AR nella gestione delle linee di produzione. Le attività dei reparti come la manutenzione, la riparazione o l'assemblaggio sono considerate come i principali campi di applicazione della realtà aumentata (Lamberti et al. [14]). Nella ricerca svolta da Ens et al. [15], viene menzionata un'interfaccia di interazione uomo-macchina indossabile. Tuttavia, la sfida relativa a questa interfaccia è legata al fatto che deve essere pronta sia per l'uso mobile (a distanza) che per l'uso in loco. L'importanza del potenziale

nell'uso degli occhiali AR è stata identificata da diverse aziende. La valutazione e il test dell'usabilità di tali applicazioni è un argomento persistente discusso regolarmente durante vari simposi e conferenze sulla realtà aumentata, incluso uno dei più importanti, come la conferenza International Symposium on Mixed and Augmented Reality, in cui la valutazione e il test dell'usabilità è stato sottolineato nel primo decennio del XXI secolo nella revisione delle tendenze in Zhou et al. [16] e prorogato per il prossimo decennio nella revisione di Kim et al. [17].

La suddetta revisione della letteratura coinvolge varie soluzioni e ricerche sulla tecnologia AR. Questi temi sono stati indicati, al fine di sottolineare la validità dell'applicazione delle soluzioni citate e, allo stesso tempo, la diversità della loro applicabilità. L'applicazione della realtà aumentata è uno degli interessi principali degli autori, soprattutto per quanto riguarda i processi di assemblaggio, in quanto si basa su attività manuali ripetute, che sono un fattore dispendioso in termini di tempo nell'intero processo produttivo, la sua ripetibilità può essere fonte di errore dovuto a sviste e con l'aumento della personalizzazione può portare ad operazioni saltate per dimenticanza [18]

Un'altra caratteristica chiave della Realtà aumentata risiede nell'interattività, cioè nella sua capacità di rispondere all'input dell'utente che conferisce potenzialità di grande rilievo per la visualizzazione delle istruzioni e dell'apprendimento. Con l'integrazione di contenuti virtuali nell'ambiente reale è possibile consentire agli utenti di vivere un'esperienza immersiva e coinvolgente, ed anche di interagire con essi in tempo reale, che permette di seguire l'utente passo dopo passo. La sua versatilità, inoltre, la rende facilmente utilizzabile in vari contesti, diventando strumento di comunicazione, educazione, informazione ed intrattenimento.



Figura 8. Esempio di uso della realtà aumentata per visualizzare una Lamborghini Huracán STO virtuale nel mondo reale

I sistemi di rendering e tracciamento di cui dispone la realtà aumentata permettono di riconoscere un supporto, un ambiente o una persona, e di aggiungervi, in tempo reale, contenuti multimediali (grafica e video bidimensionale o tridimensionale, audio). Tra le caratteristiche peculiari della realtà aumentata si possono indicare la possibilità di interazione con oggetti virtuali e la versatilità del suo utilizzo in relazione agli obiettivi da raggiungere (comunicativi, educativi, di processo).

Non è fuori luogo affermare che siamo in presenza di una vera rivoluzione circa il reperimento e la disponibilità dei dati, in quanto ovunque dei sensori consentono di comunicare con il mondo circostante e riferirsi a complessi di dati virtuali che permettono all'utente di vedere il mondo reale con oggetti virtuali sovrapposti o mescolati. Va osservato che, come di solito avviene, questa importante innovazione non è nuova come potrebbe risultare, ma ormai ha un relativo

lontano passato nel campo della formazione militare e industriale, in particolare nella compagnia di costruzione di aerei Boeing, ove esercizi di simulazione di realtà aumentata per gli operatori di volo sono stati resi possibili in considerazione del fatto che le apparecchiature ingombranti di cui ci si deve servire, non hanno costituito un impedimento.

Per l'industria si tratta di un'innovazione altrettanto significativa che non può passare inosservata. Gli utenti possono sia vedere che toccare gli oggetti reali e al tempo stesso avere un supporto interattivo guidato per consentire loro di lavorare secondo i propri ritmi. In termini più tecnici, questo supporto include l'evidenziazione e il sequenziamento di oggetti specifici, del campo di vista rendendo il tutto in forma concreta, compresi i dati virtuali.

Questa tecnologia comporta rilevanti principi e procedure nel campo formativo. Contribuisce a migliorare l'efficacia e l'attrattiva del processo dall'assemblaggio e dell'apprendimento, produce scenari di vita reale e non si limita a mostrare la pura teoria, crea stili di pensiero diversi, prepara a soluzioni creative e divergenti dei problemi della vita contemporanea. Però per evitare di limitare la realtà aumentata ad una specifica tecnologia, il sistema non può rimanere chiuso, ma deve combinare al meglio il mondo reale e virtuale e garantire l'interattività in tempo reale in modo intuitivo e il meno invasivo possibile.

Lo sviluppo della realtà aumentata si può riassumere con il "Gartner Hype Cycle" (ovvero ciclo delle aspettative), è un grafico che mostra il ciclo di vita di qualunque innovazione. Un Hype Cycle è composto da cinque fasi chiave del ciclo di vita di una tecnologia:

1. Trigger dell'innovazione: nasce una potenziale innovazione tecnologica. Le prime storie di verifiche teoriche e l'interesse dei media scatenano una significativa pubblicità. Spesso non esistono prodotti utilizzabili e la fattibilità commerciale è ancora lontana ed incerta.
2. Picco delle aspettative: la pubblicità iniziale produce numerose storie di successo, spesso accompagnate da decine di fallimenti. Alcune aziende decidono di investire nella nuova tecnologia, ma molti rinunciano.
3. Depressione della disillusione: l'interesse diminuisce quando gli esperimenti e le implementazioni non forniscono i risultati sperati. Alcuni produttori di questa tecnologia falliscono. Gli investimenti continuano solo se i fornitori sopravvissuti migliorano i loro prodotti con soddisfazione dei primi utenti.
4. Inclinazione all'illuminazione: iniziano a cristallizzarsi e ad essere più ampiamente compresi crescenti esempi di vantaggi che la tecnologia può apportare all'azienda. I

prodotti di seconda e terza generazione compaiono dai fornitori e più imprese finanziano le aziende, che comunque rimangono caute sul futuro.

5. Plateau di produttività: la tecnologia inizia a decollare. Sono più chiari i criteri per la valutazione del prodotto per il fornitore e la tecnologia comincia a diffondersi sul mercato

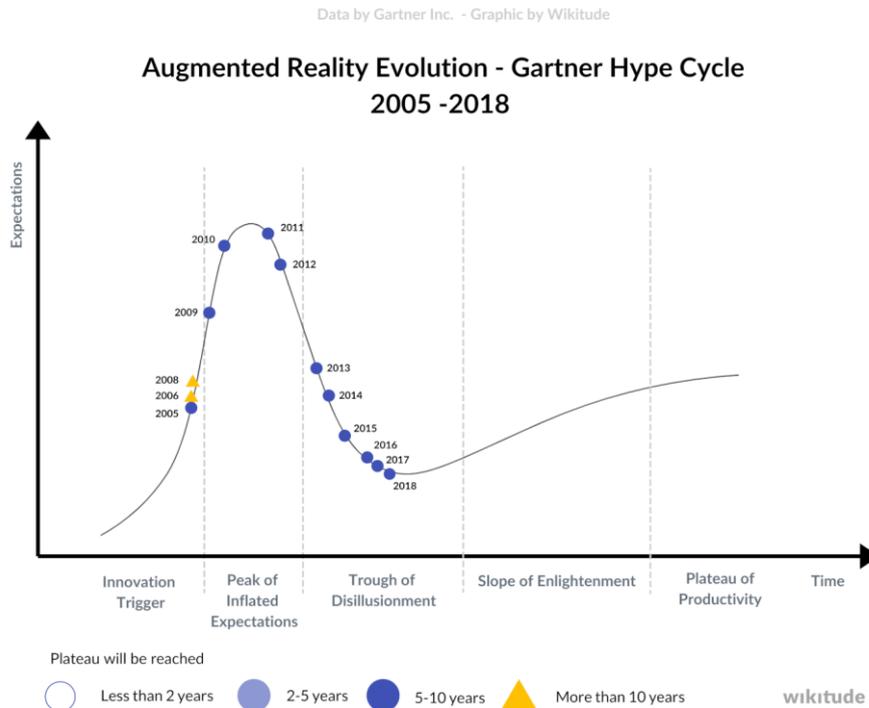


Figura 9. Hype Cycle della realtà aumentata

Al momento della scrittura dell'elaborato si può affermare che la realtà aumentata si trova nel quarto stadio. Prima la tecnologia non permetteva un uso facile ed intuitivo, i dispositivi non erano abbastanza prestanti da garantire un'esperienza facile da gestire e fino a pochi anni fa la realtà aumentata era usata per impressionare gli utenti e le interazioni erano basilari e poco personalizzabili, con pochi usi nel campo dell'industria. Al giorno d'oggi invece i mezzi usati per la realtà aumentata hanno prestazioni adeguate per poter garantire un'esperienza intuitiva e poco invasiva. Inoltre, sempre più aziende supportano chi progetta un'applicazione di questo tipo, con pacchetti specifici costantemente aggiornati e software in grado di gestire e simulare un corretto uso della realtà aumentata. [20][21]

Il presupposto dell'affermarsi di questa tecnologia è costituito dalla diffusione del tagging, infatti grazie alla diffusione di questo nuovo strumento è possibile etichettare qualsiasi cosa, potenziando in tal modo il livello di informazione che quella fonte è in grado di dare. Grazie ai

tag, ad esempio, è possibile partendo da una immagine, identificare ed ottenere informazioni sul luogo, su cose e persone legate a quella immagine.

Questa tecnologia quindi oltre ad arricchire di contenuti virtuali ciò che è reale, permette di attivare le connessioni che l'uomo percepisce nel mondo che lo circonda. Il potenziamento dell'informazione estende i limiti della conoscenza in quanto grazie alla connessione di ogni elemento fisico ad una rete di telecomunicazioni crea uno spazio in cui tutto è raggiungibile attraverso dispositivi capaci di accedere alla Rete che sono caratterizzati da una sempre maggiore portabilità. Etichette e tag permettono di visualizzare e condividere il sapere attraverso collegamenti non più verbali e di conseguenza non più rinchiusi tra comunità linguistiche, ma visivi e quindi comprensibili da chiunque apre le porte ad una condivisione globale della conoscenza che vede il livello virtuale confluire verso quello attuale.

La possibilità di vedere attraverso i banchi di nebbia o dietro degli ostacoli, di vedere gli articoli di un negozio ancora prima di entrarci, di sentire chiaramente una voce tra mille, di avere cenni storici e informazioni su un determinato monumento e magari lasciare un post sul luogo con un commento o taggare direttamente il proprio nome sul monumento senza produrre nessuno scempio in quanto virtuale, sono solo alcune delle applicazioni che può offrire la Realtà aumentata.

La nuova tecnologia permette di aggiungere del contenuto virtuale 3D ad un ambiente fisico, in forma interattiva ed in tempo reale. A differenza di quanto accade con la realtà virtuale, l'aumentata non sostituisce la realtà fisica, bensì sovrappone dati informatici all'ambiente reale in modo che l'utente possa avere la sensazione d'essere presente fisicamente nel paesaggio che vede riflesso sullo schermo di conseguenza la realtà percepita dal soggetto viene "aumentata" da oggetti virtuali che forniscono informazioni supplementari sull'ambiente reale, in altri termini si basa sull'aggiunta di un "livello" supplementare d'informazione associata al luogo in cui si trova l'utente e che si adatta ai suoi interessi.

Grazie alla versatilità che caratterizza questa tecnologia sono possibili vari ambiti di applicazione fra i quali la medicina, la difesa, l'architettura, la museografia, l'educazione o l'addestramento e per quanto ci riguarda, l'industria. Nel campo dell'industria e dell'addestramento si intravedono importanti e promettenti sbocchi applicativi che possono contribuire significativamente a migliorare i processi produttivi rendendoli maggiormente connessi con l'ambiente, più coinvolgenti e più collaborativi attraverso la realizzazione di spazi interattivi in grado di favorire una maggior immersione da parte degli utenti e quindi una

produzione più efficace, veloce e con minore carico cognitivo. Il vantaggio dell'apprendimento con l'utilizzo della realtà aumentata risiede principalmente nel fatto che non ci sono errori "veri". Ad esempio, se un vigile del fuoco impara a combattere i vari tipi di fuochi, o un chirurgo impara la chirurgia laparoscopica in una situazione di realtà aumentata, non vi sono conseguenze reali se si commettono degli errori durante l'esercitazione. Viceversa, questo tipo di formazione offre l'opportunità per un apprendimento più autentico ed il ricorso a molteplici stili di apprendimento. Questo permette di abbattere i costi di formazione, apprendere in piena sicurezza e annullare i rischi dovuti ad errori, sviste, distrazioni e dimenticanze.

Attualmente in rete sono disponibili dei filmati che testimoniano la radicale trasformazione nella percezione dello spazio da parte dei fruitori della nuova tecnologia anche se molto probabilmente rappresentano solo una metafora del potenziale educativo che la realtà aumentata sarà in grado di offrire tra qualche anno. Di fronte a questa novità di rilievo si renderà necessario sviluppare programmi di ricerca in grado di fornire importanti indicazioni circa l'introduzione della realtà aumentata se e come influenza i processi cognitivi e i processi di produzione tenendo presente che tali processi dovrebbero essere più efficaci grazie al minor carico mnemonico e alla possibilità di associare le informazioni teoriche alle attività da svolgere nell'area di lavoro, i processi di produzione ed apprendimento sarebbero facilitati, inoltre, dalla duplice dimensione di sperimentazione attiva all'interno della realtà fisica e di quelli più astratti presenti nella realtà virtuale trasformando, inoltre, il processo di apprendimento in una attività con aspetti ludici. Dovrebbe essere analizzata poi, la possibilità e l'efficacia nell'utilizzo di questa tecnologia come strumento di auto-apprendimento tenendo presente che essa consente di "imparare facendo" con particolare riguardo agli aspetti dell'apprendimento esperienziale che permette la costruzione della conoscenza più autonoma e indipendente dando priorità alla sperimentazione rispetto alla trasmissione dei saperi di tipo tradizionale.

Come si diceva sopra, le prospettive future che riguardano le applicazioni in campo industriale richiedono anche in un ambito altrettanto importante: la riconfigurazione delle metodologie e degli strumenti di ricerca, in quanto i dati saranno di natura diversa e disponibili in forme diverse. Ad esempio, grazie alla diffusione dei tag sarà possibile ottenere informazioni in tempo reale sullo stato di lavorazione, adattare le istruzioni dell'assemblaggio in funzione alla personalizzazione del prodotto, comunicare con gli altri reparti ed ottenere assistenza remota in tempi minimi. Attualmente sia livello internazionale che in Italia sono in atto diverse esperienze in ambito educativo che in qualche modo pongono l'attenzione alle possibili applicazioni della

realtà aumentata nei processi di produzione ma ancora non è una tecnologia che ha preso definitivamente piede nel mondo del lavoro.



Figura 10. Esempio di utilizzo della realtà aumentata per l'addestramento a distanza

Certamente le spinte determinate dall'evoluzione tecnologica e dall'immissione nel mercato di strumenti digitali che utilizzano sempre più questa tecnologia con riferimento in modo particolare agli apparati mobile, che non sono più dei semplici cellulari, impongono tempi di risposta rapidi e messa a punto di programmi di ricerca che siano in grado di dare le opportune indicazioni per far fronte agli inevitabili cambiamenti anche in campo industriale. Nell'ambito della produzione e manutenzione la tecnologia dei visori olografici montati sulla testa sembrano avere un futuro più promettente, in quanto permettono di avere un'esperienza visiva più diretta, ma soprattutto permette di avere le mani libere per svolgere al meglio il processo di assemblaggio o di manutenzione. Con le istruzioni sempre disponibili nel campo visivo diminuiscono le distrazioni e i tempi che prima venivano dedicati alla consultazione di fascicoli cartacei o schermi. [19]

2.1 Dispositivi AR

Al giorno d'oggi esistono diversi modi per provare l'esperienza della realtà aumentata. Alcune soluzioni si appoggiano su dispositivi esistenti, altre invece hanno richiesto uno sviluppo dedicato. In generale i dispositivi per la realtà aumentata si possono dividere in due macrocategorie: dispositivi indossabili e quelli non indossabili. I primi sono gli occhiali ed i visori AR, i secondi si basano sui dispositivi palmari quali smartphone e tablet, ma anche televisori, PC e head-up display.

- **Smartphone e Tablet**

In questi dispositivi la realtà aumentata fa affidamento ai sensori presenti nei dispositivi, tra i quali giroscopio, GPS, accelerometro e fotocamera. Utilizzando un'applicazione di realtà aumentata si potrà vedere sul display del dispositivo l'ambiente in cui si trova l'utente arricchito di tutte le informazioni aggiuntive fornite dall'applicazione e che non sono presenti nel mondo reale. In questo modo ad esempio si possono dare informazioni aggiuntive nei musei, oppure in ambiente industriale inquadrando una macchina vengono mostrati i dati di funzionamento, eventuali video di manutenzione, stato della macchina e molto altro. Questi dispositivi godono di elevate prestazioni intrinseche, i limiti principali sono rappresentati dalla compatibilità dell'applicazione con la realtà aumentata.

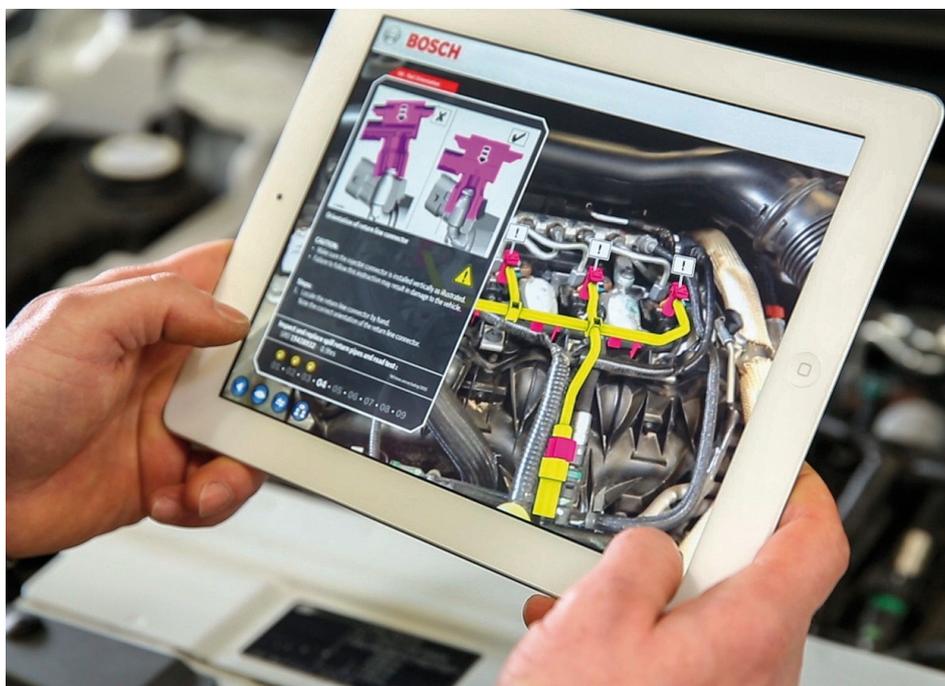


Figura 11. La realtà aumentata usata su un tablet durante un'operazione di manutenzione

- **Dispositivi indossabili**

L'altra forma di AR utilizza dispositivi autonomi creati specificatamente per questo scopo. In generale si tratta di occhiali da indossare dotati di fotocamere e uno o due display, in cui le informazioni aggiuntive si sovrappongono alla realtà. Tra le soluzioni esistenti ci sono gli occhiali di realtà aumentata come i Google Glass, dotati di un solo schermo che permette di sovrapporre le immagini virtuali nel mondo reale. L'altra tipologia di dispositivi indossabili è rappresentata dai visori, che permettono un'esperienza più immersiva e di facile interazione, ma soprattutto garantisce la libertà delle mani. Attualmente il dispositivo HoloLens, giunto alla seconda generazione, rappresenta la proposta più accattivante del mercato.



Figura 12. Google Glass

2.2 HoloLens 2

HoloLens 2 offre l'esperienza di realtà mista più confortevole e coinvolgente disponibile sul mercato, con soluzioni leader del settore, il tutto potenziato da affidabilità, sicurezza e supporto dei servizi cloud e AI di Microsoft. La realtà mista su HoloLens 2 combina un dispositivo senza vincoli con app e soluzioni che aiutano le persone ad imparare, comunicare e collaborare in modo più efficace. È il culmine delle innovazioni nella progettazione hardware, nell'intelligenza artificiale (AI) e nello sviluppo della realtà mista di Microsoft. È il successore del primo computer indossabile "all-in-one" provvisto di display olografico. Al suo interno, infatti, integra tutti i componenti necessari al corretto funzionamento: lenti semitrasparenti dove proiettare le immagini, altoparlanti, processore, videocamere, sensori di movimento e batteria. Le principali innovazioni tecnologiche risiedono proprio nel display olografico e nella capacità di

tracciamento spaziale. Gli HoloLens sono uno strumento indipendente, non richiedono pertanto cavi, particolari adattatori o altri hardware per essere utilizzati. Questo li rende molto comodi e pratici da utilizzare.



Figura 13. HoloLens 2

Rispetto agli altri visori l'immersione è notevolmente migliorata dai progressi su tutta la linea, incluso il sistema di visualizzazione visiva, che rende gli ologrammi ancora più vibranti e realistici. Il campo visivo in HoloLens 2 è stato più che raddoppiato in confronto al suo predecessore, mantenendo la densità olografica leader del settore di 47 pixel per grado di vista. HoloLens 2 contiene un nuovo sistema di visualizzazione che consente di ottenere questi significativi progressi nelle prestazioni. Sfruttando il nostro nuovo sensore di profondità del tempo di volo, combinato con l'intelligenza artificiale integrata e la comprensione semantica, HoloLens 2 consente la manipolazione diretta degli ologrammi con le stesse interazioni istintive che si usano con oggetti fisici nel mondo reale.

Il visore è dotato di una fotocamera da 8 megapixel, che permette di registrare l'ambiente in realtà mista e che può essere usato per videoconferenze. Come ogni dispositivo innovativo che si rispetti, è dotato di comandi vocali, al momento disponibili solo in lingua inglese. I visori hanno inoltre degli speaker integrati che permettono di creare lo suoni spaziali per una percezione a 360°. Le casse sono studiate un'esperienza sempre più immersiva e sono focalizzate sull'utente che indossa il visore, senza creare rumori che distraggano le persone che stanno intorno. Oltre ai miglioramenti nel motore di visualizzazione e alla manipolazione diretta degli ologrammi, HoloLens 2 contiene sensori di tracciamento oculare che rendono l'interazione con

gli ologrammi ancora più naturale. È possibile utilizzare l'autenticazione tramite il riconoscimento dell'iride, consentendo a più persone di condividere il dispositivo in modo rapido e sicuro.

Il comfort è migliorato grazie al baricentro più equilibrato e all'utilizzo di materiali leggeri in fibra di carbonio e dispone di un nuovo meccanismo per indossare il dispositivo senza doverlo regolare. È stata perfezionata la gestione termica con la nuova tecnologia della camera di vapore, tenendo conto dell'ampia variabilità fisiologica nelle dimensioni e nella forma delle teste umane, l'HoloLens 2 è stato progettando per adattarsi comodamente a quasi chiunque. Il nuovo sistema di regolazione lo rende comodo da indossare per ore e permette di tenere gli occhiali da vista.



Figura 14. Interazione con HoloLens 2



Figura 15. HoloLens 2 usato nell'industria

Di seguito mostriamo i componenti e la scheda tecnica del visore HoloLens2:

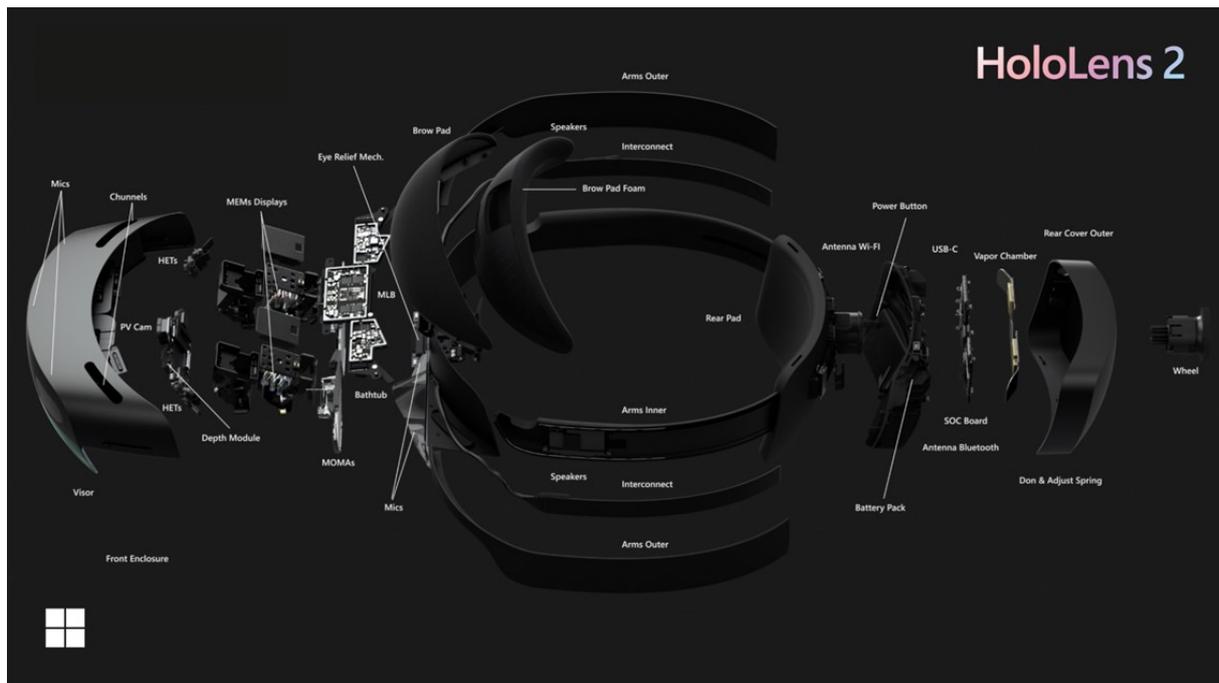


Figura 16. Componenti HoloLens 2

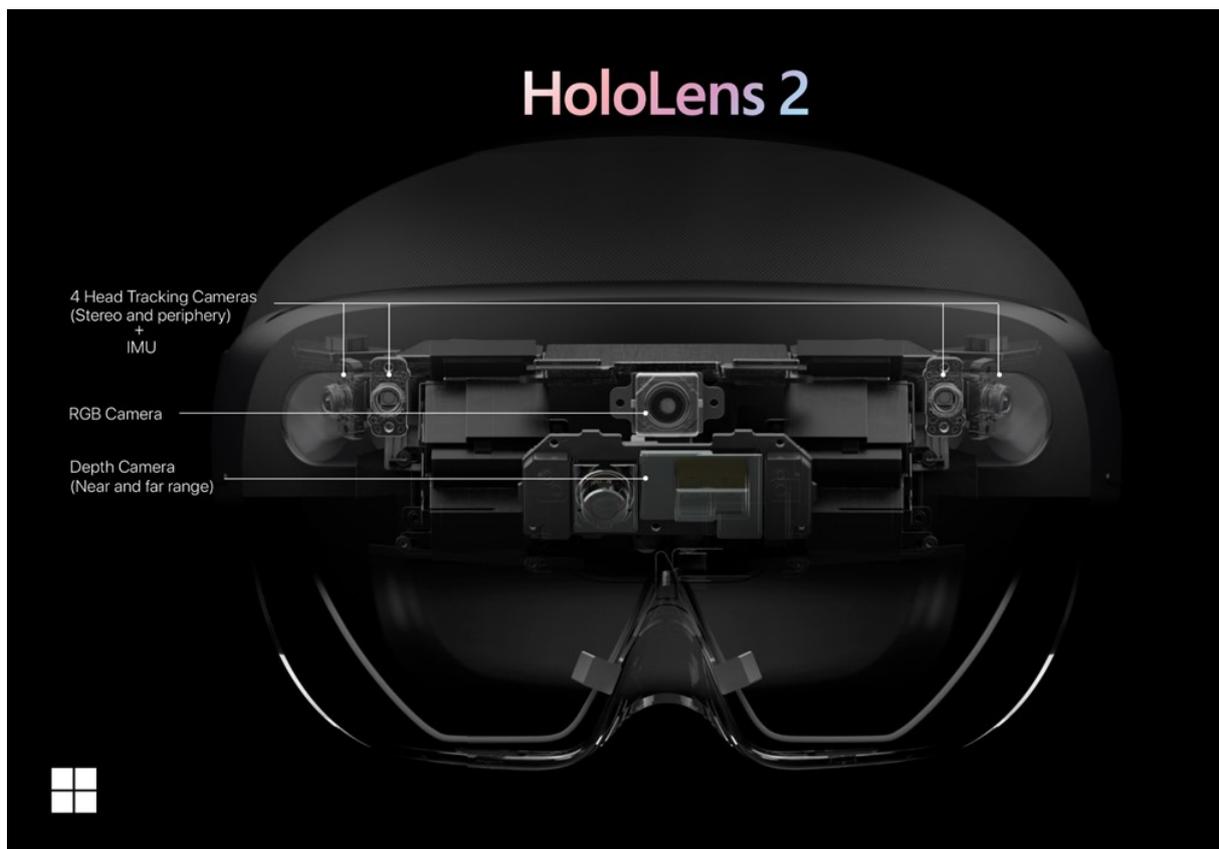


Figura 17. Componenti HoloLens 2, vista frontale

Display	
Ottica	Lenti olografiche trasparenti (guide d'onda)
Risoluzione	2.000 dispositivi di illuminazione 3:2
Densità olografica	>2.500 radianti (punti luce per radiante)
Rendering basato sugli occhi	Ottimizzazione del display per la posizione degli occhi 3D
Sensori	
Tracciamento della testa	4 telecamere a luce visibile
Tracciamento degli occhi	2 telecamere a raggi infrarossi
Profondità	Sensore di profondità a tempo di volo da 1 MP
IMU	Accelerometro, giroscopio, magnetometro
Videocamera	Immagini da 8 MP, video 1080p30
Audio e voce	
Gruppo di microfoni	5 canali
Altoparlanti	Audio spaziale incorporato
Comprensione umana	
Tracciamento delle mani	Modello a due mani articolato, manipolazione diretta
Tracciamento degli occhi	Tracciamento in tempo reale
Voce	Comando e controllo sul dispositivo, con connettività Internet
Comprensione dell'ambiente	
Tracciamento a 6 gradi di libertà	Tracciamento posizionale su scala mondiale
Mappatura spaziale	Mesh ambientale in tempo reale
Acquisizione della realtà mista	Foto e video di ologrammi e ambiente fisico misti
Elaborazione e connettività	
SoC	Piattaforma di elaborazione Qualcomm Snapdragon 850
Unità di elaborazione olografica	Unità di elaborazione olografica personalizzata di II generazione
Memoria	DRAM di sistema LPDDR4x da 4 GB
Storage	UFS 2.1 da 64 GB
WiFi	802.11ac 2x2
Bluetooth	5.0
USB	USB Type-C
Regolazione	
Misura unica	
Si adatta sopra gli occhiali	
Peso	566 g
Software	
Sistema operativo Windows Holographic	
Microsoft Edge	
Dynamics 365 Remote Assist	
Dynamics 365 Layout	
Dynamics 365 Guides	
3D Viewer	
OneDrive for Business	

Figura 18. Scheda tecnica HoloLens 2

Capitolo 3: Caso studio

Lo stabilimento di Jesi della CNH Industrial, specializzata nella produzione di macchine agricole, è interessato a migliorare il processo produttivo implementando la tecnologia della realtà aumentata nelle operazioni di assemblaggio. Nello sviluppo di questa tesi, l'aspettativa principale riguarda eliminazione dei reclami dovuti a difetti di assemblaggio del cavo di trasmissione. Questi difetti sono causa svariate decine di migliaia di dollari di danni, gli errori si presentano in diversi punti del trattore ma riguardano sempre lo stesso componente: il cavo precedentemente citato.

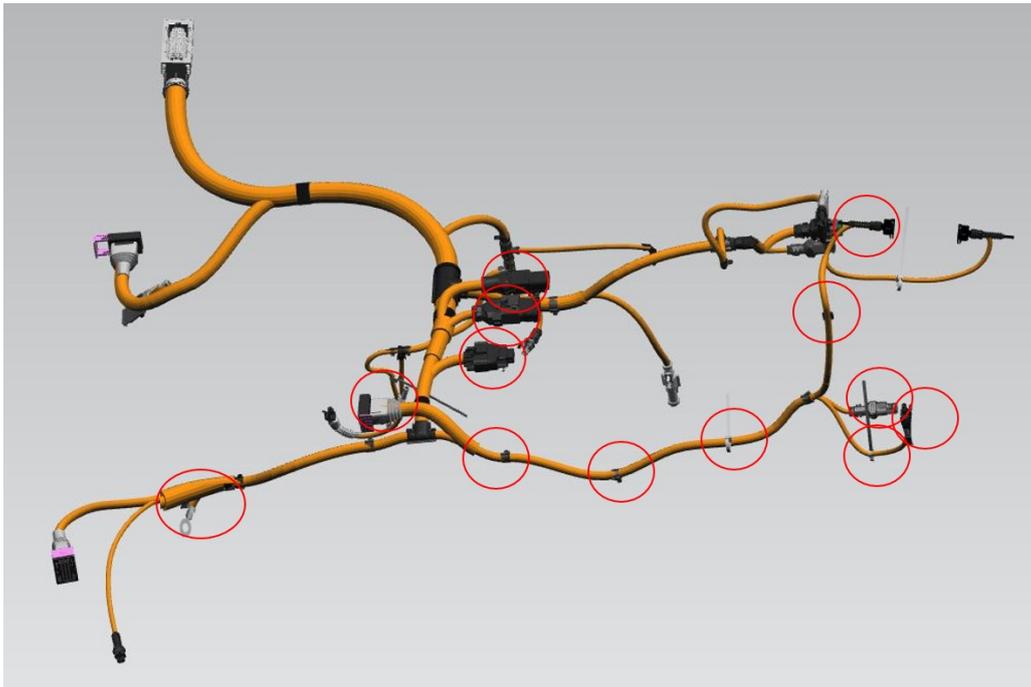


Figura 19. Il cavo di trasmissione

L'operazione specifica richiede molti punti su cui bisogna prestare attenzione. Il cavo si estende su tutta la lunghezza del trattore, deve essere steso correttamente rispettando le posizioni di destinazione, in quanto non può toccare determinati componenti o addirittura c'è il rischio che possa essere tagliato. In aggiunta è necessario prestare ulteriore attenzione alle personalizzazioni dei trattori, che possono avere svariate configurazioni e, di conseguenza, diversi punti critici.

L'obiettivo dell'implementazione della realtà aumentata è l'eliminazione dell'errore umano durante la fase di assemblaggio, in modo tale da non dover correggere gli errori in un secondo momento o dover subire un reclamo. Il supporto della realtà aumentata deve essere costante ed aggiornato in tempo reale con le operazioni da svolgere.

Per raggiungere l'obiettivo è stato scelto di utilizzare il visore HoloLens 2 e di sviluppare l'applicazione di realtà aumentata su Unity. Lo sviluppo si è concentrato sulle cinque istruzioni più importanti, alle quali bisogna prestare più attenzione. Una volta capito il funzionamento e sviluppato l'applicazione, aumentare il numero delle istruzioni si limita a poche modifiche durante la fase di programmazione.

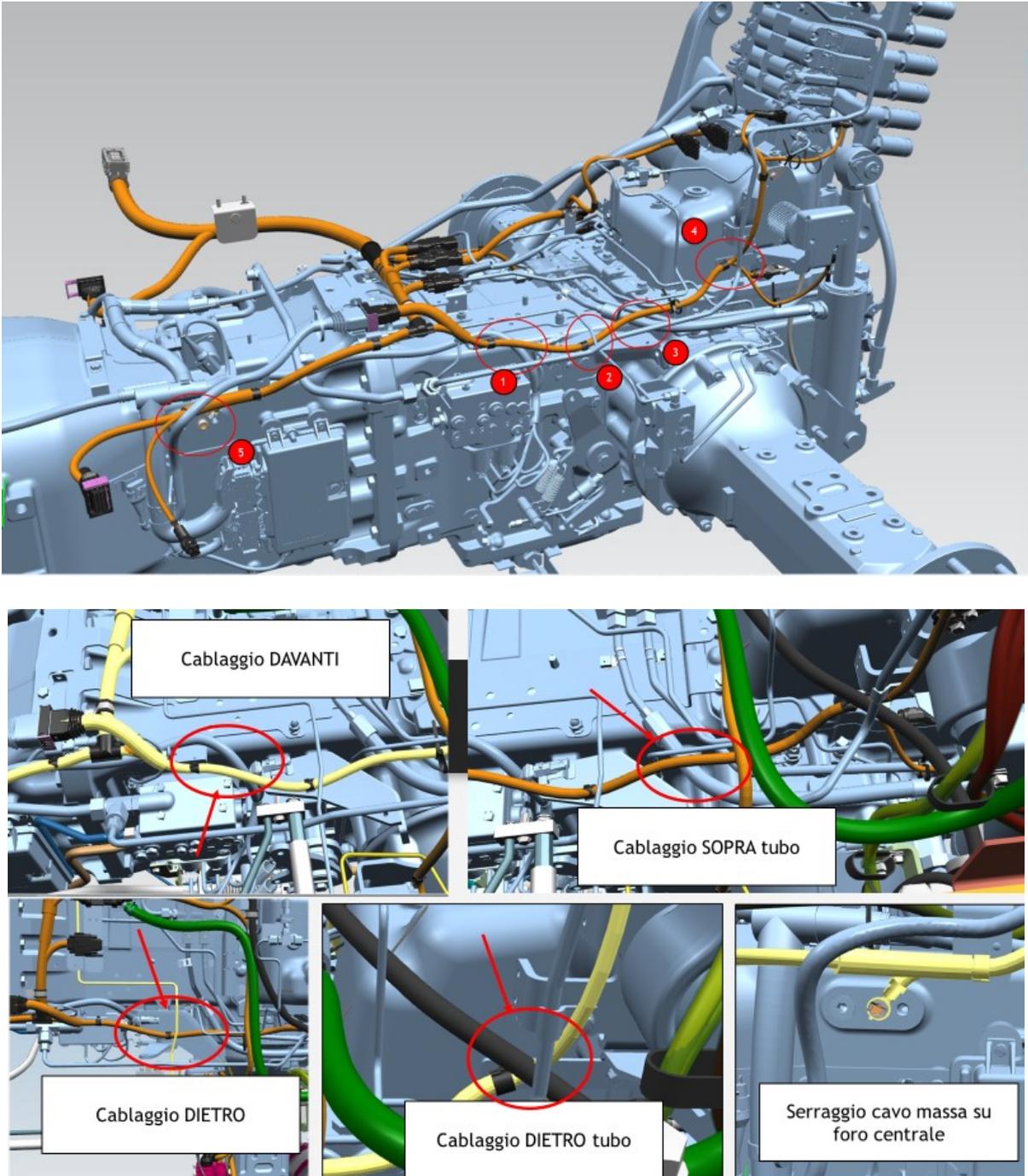


Figura 20 e 21. I punti di nostro interesse e le relative indicazioni

3.1 Assieme usato nell'applicazione

Al fine di realizzare l'applicazione in realtà aumentata era necessario usare i file CAD degli assiemi presi in esame. Per poter maneggiare gli oggetti virtuali su Unity era necessario convertire i file nel formato .OBJ. Per arrivare agli oggetti finali è stato necessario esportare il file .STEP dell'assieme per poi fare le opportune modifiche ed infine ottenere gli oggetti in .OBJ.

- Per file CAD si intendono principalmente due tipi di file: .PAR e .ASM. Il primo racchiude tutte le informazioni che servono per la realizzazione di modelli geometrici solidi il cui contorno, definito da un insieme di superfici connesse, racchiude un volume finito. Tiene conto di tutte le lavorazioni (o passaggi) eseguite per arrivare alla forma finale. Solitamente un modello solido è caratterizzato da un insieme di parametri dimensionali, che sono modificabili per creare varianti o modifiche degli stessi. Il secondo invece è un file di assieme che tiene conto delle relazioni che si possono instaurare tra due o più componenti oppure tra sottoassiemi.
- Un file STEP (STandard for the Exchange of Product model data, Standard per lo scambio di dati di prodotto) è un file modello 3D in un formato di scambio standard ISO. Contiene dati tridimensionali in un formato che può essere riconosciuto da più programmi. È particolarmente adatto allo scambio di modelli solidi e la quantità di informazioni dipende dalle impostazioni scelte per durante l'esportazione, la scelta di tali parametri va scelta in modo adeguato e corrispondente ai tipi di dati che si intende scambiare.
- Il formato OBJ è ampiamente considerato come un formato universale per applicazioni di editing di immagini 3D. Il file OBJ contiene un oggetto tridimensionale che include coordinate 3D, mappe texture, facce poligonali e di ombreggiatura della superficie.

Una volta ottenuto il file .STEP dall'azienda, l'eliminazione delle parti superflue è stata svolta sul software Solid Edge 2021 della Siemens PLM Software, di cui l'Università Politecnica della Marche concede la licenza accademica. Questo procedimento è stato svolto per alleggerire i file da importare nell'applicazione. Ogni componente, supporto e ingranaggio che non è visibile all'esterno deve essere caricato, renderizzato ed occupa memoria che può essere utilizzata per rendere l'applicazione più fluida e veloce da caricare.

Il risultato di questa operazione è una diminuzione del “peso” dei file dell’80%, passando da 1300 pezzi a circa 300. Questo procedimento, seppur lungo e laborioso, si è rivelato essere la parte più facile per arrivare al risultato finale in formato OBJ.

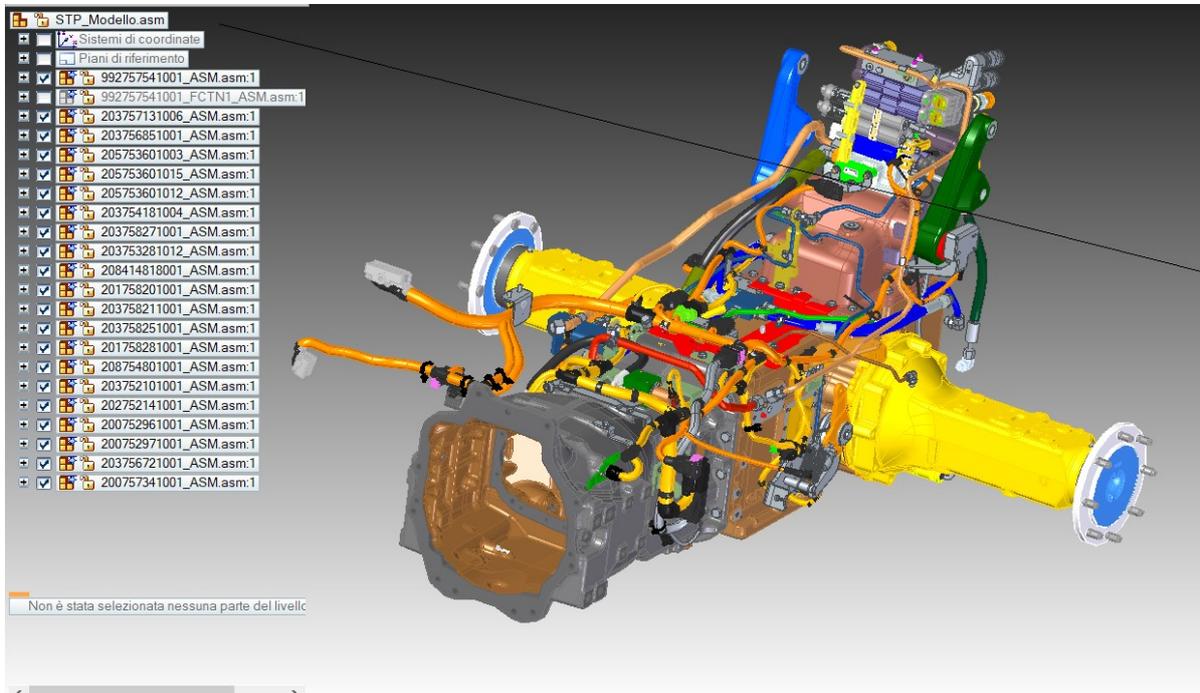


Figura 22. L’assieme del trattore importato in Solid Edge prima di essere modificato

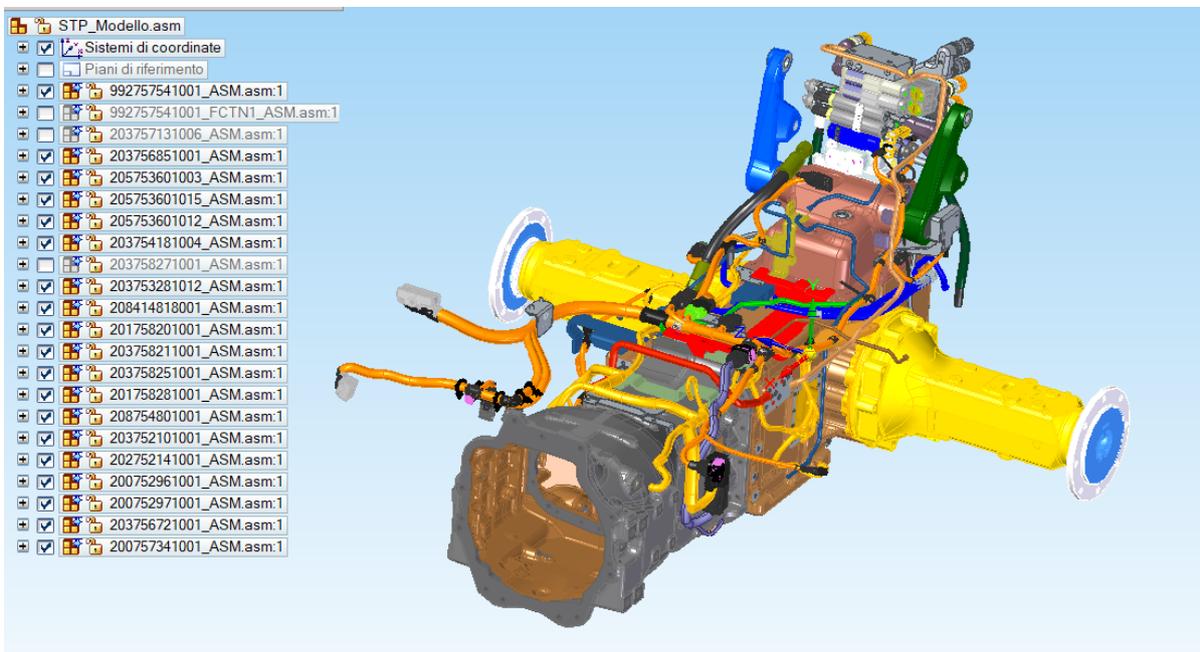


Figura 23. L’assieme del trattore dopo aver tolto i componenti superflui

Di solito, quando un oggetto 3D viene esportato in OBJ, non deve essere ulteriormente trattato, la più grande modifica che può essere fatta è attribuire all'oggetto un colore o un "rivestimento" con un'immagine, di conseguenza le conversioni di assiemi da file CAD raggruppano tutto in un unico corpo, un'unica texture. Per questa specifica applicazione su Unity, invece, era necessario avere la distinta componenti anche nel formato OBJ. Per fortuna il programma Solid Edge permette di fare entrambi i tipi di esportazione, ma non sono mancati problemi. Nel linguaggio di Solid Edge il primo tipo di esportazione si chiama "assieme spianato" e il secondo "esporta solidi". Quando viene richiesto al software di esportare nella modalità "esporta solidi" risulta che non riesce a gestire correttamente parti multiple, simmetriche e corpi creati con superfici complesse.

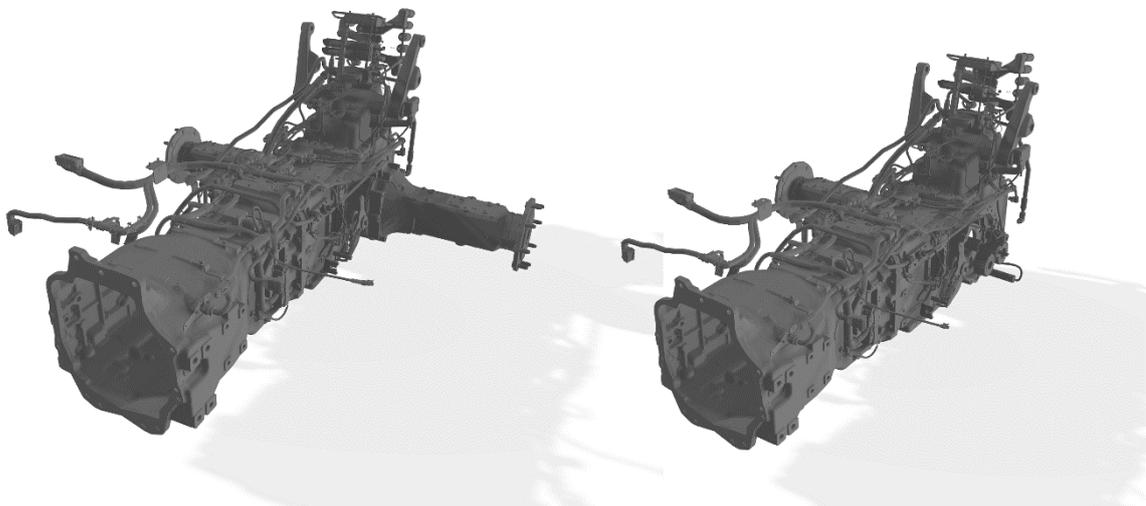


Figura 24. Esportazione in formato OBJ dell'assieme non modificato come "assieme spianato" a sinistra e come "esporta solidi" a destra.

Dopo un'attenta analisi dei problemi e la sua parziale risoluzione è stato ottenuto un risultato soddisfacente che ci ha permesso di ottenere un assieme alleggerito con la distinta componenti visibile anche su Unity. Ovviamente per ottenere lo stesso risultato basterebbe esportare uno ad uno i singoli pezzi o magari dei gruppi di pezzi di cui avevamo l'assoluta certezza di utilizzare in futuro, ma in questo modo aumenterebbe il margine di errore, soprattutto nel riposizionamento dei componenti se qualcuno di essi fosse esportato con un sistema di riferimento diverso.

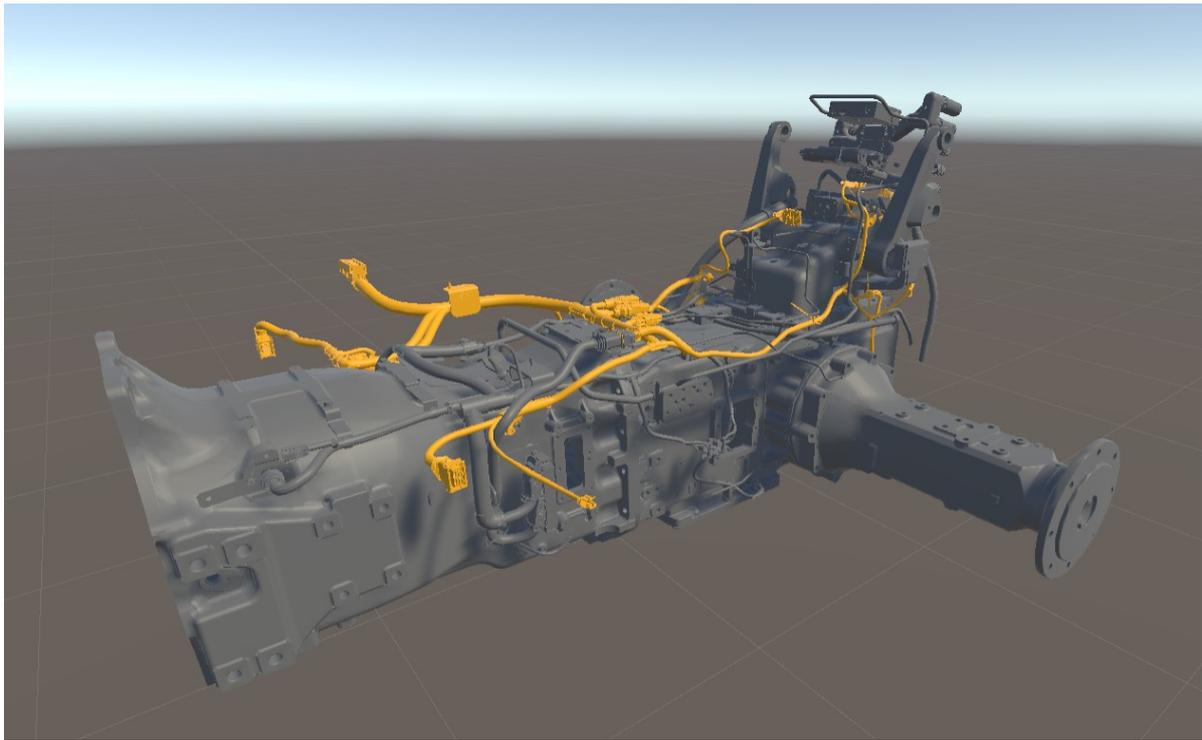


Figura 25. L'assieme alleggerito importato su Unity

3.2 Introduzione a Unity

Unity è un motore grafico utilizzato per la creazione di contenuti interattivi 3D e videogiochi di ogni genere, quali first person shooters, racing games, real-time strategy games, third-person shooters, e molti altri per web plugins, PC, console e dispositivi mobili. In Unity è possibile costruire un ambiente virtuale in cui è possibile inserire sistemi di illuminazione, audio, effetti speciali, shaders, sistemi fisici, animazioni, modelli precedentemente realizzati con un sistema di modellazione esterno, quali 3Ds Max, Maya, o qualsiasi sistema di modellazione che consente di importare file in formati .FBX, .OBJ, .Blend, .3DS, .dae, .Max. Le applicazioni realizzate possono essere pubblicate una vasta gamma di piattaforme, tra i quali Microsoft HoloLens 2. Il motore grafico Unity è stato realizzato in C/C++ ed è in grado di supportare codice scritto in c# e javascript.

3.2.1 Interfaccia utente

L'interfaccia utente consente di interagire con la scena stessa attraverso le seguenti finestre: Toolbar, Inspector, Hierarchy, Scene view, Game view, Project browser. La finestra Scene View è l'ambiente all'interno del quale viene elaborato il progetto. La finestra Toolbar consente di spostarsi all'interno della scena, cambiare la posizione e l'orientamento dell'oggetto selezionato e le dimensioni dello stesso, cambiare il sistema di riferimento, avviare con la funzione "play" l'esecuzione del contenuto interattivo 3D realizzato, cambiare il livello (layer) o la struttura grafica dell'ambiente (layout). La finestra Inspector consente di impostare (in relazione agli oggetti della scena) i tag, il livello, le trasformazioni geometriche (posizione, rotazione, scala), ed eventuali componenti (component) associati agli oggetti della scena (GameObject), quali per esempio script, telecamere virtuali, animazioni, audio, colliders etc. Gli oggetti della scena sono elencati nella finestra Hierarchy. La finestra Game view mostra l'ambiente visto dalla prospettiva della telecamera virtuale presente all'interno della scena. Nella finestra Project l'utente può esplorare il contenuto della sottocartella Assets presente nella cartella del proprio progetto di Unity

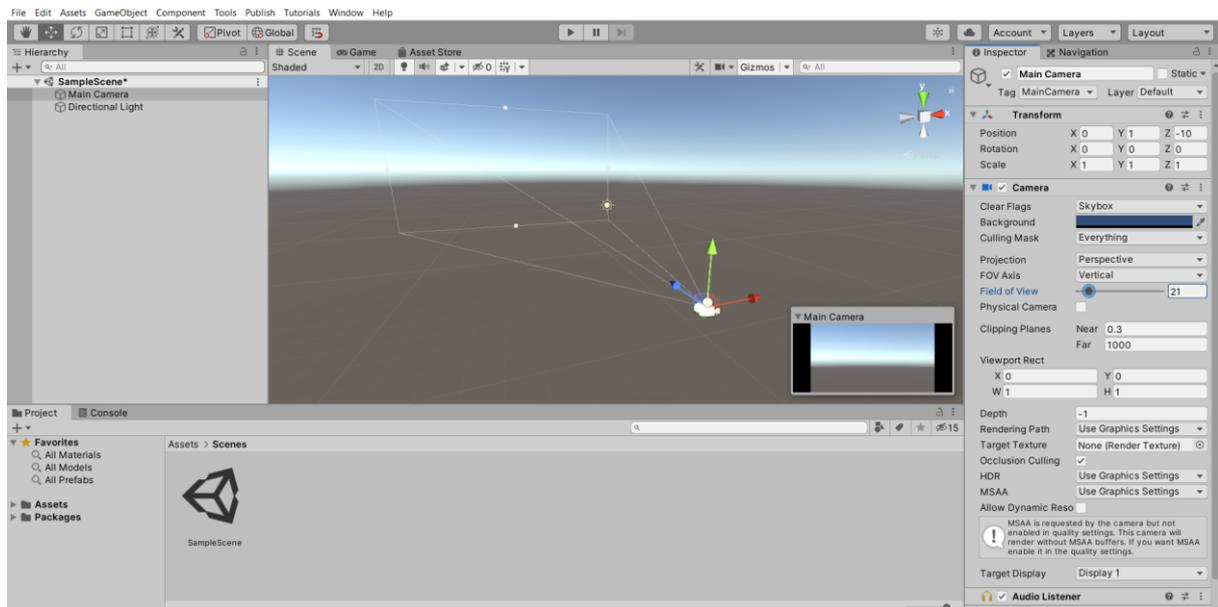


Figura 26. L'interfaccia utente

3.2.2 Assets

Gli Assets sono risorse che è possibile usare all'interno della scena (prefabbricati, script, materiali, textures, effetti audio, animazioni, etc.). All'interno del programma Unity è possibile importarli, crearli ed esportarli e si può accedere ad essi tramite la finestra Project. Unity offre degli Standard Assets, ovvero un preset di Assets, da usare all'interno dei propri progetti. Inoltre, è disponibile uno store che rende la disponibilità degli Assets illimitata.

3.2.3 GameObjects e i loro componenti

Ogni oggetto nella scena è un GameObject. Esso può essere pensato idealmente come un "contenitore" vuoto all'interno del quale l'utente può inserire dei componenti (components) che lo caratterizzeranno: per esempio è possibile creare una sfera con un software esterno, importarla all'interno di Unity e associare a questa sfera uno script in cui posso variare l'orientamento della sfera nel tempo, un suo colore o la sua texture (la sfera importata rappresenta il GameObject, lo script associato è un componente che caratterizzerà il GameObject sfera). Come GameObjects Unity offre un determinato insieme oggetti "base" quali la sfera, il cubo, la capsula, il cilindro e il piano, ma offre anche sistemi di illuminazione, telecamera virtuale, testo 3D (3D text), etc.

GameObjects più sofisticati possono essere realizzati tramite un programma di modellazione 3D apposito, esterno a Unity, e successivamente importati, come è stato fatto in questo caso.

I componenti fondamentali che ogni GameObject deve possedere sono:

- la sua posizione all'interno del sistema di coordinate
- il suo orientamento rispetto a tale sistema
- le sue dimensioni

È possibile associare altri componenti quali: script, effetti sonori, proprietà fisiche (rigidbody), effetti speciali (special effects), animazioni, sistemi di collisione (impongo che il GameObject abbia un volume impenetrabile e il sistema riconosca la sua presenza), proprietà di visualizzazione dell'oggetto (mesh renderer). I componenti possono essere aggiunti dall'interfaccia o attraverso uno script e possono essere eventualmente modificati.

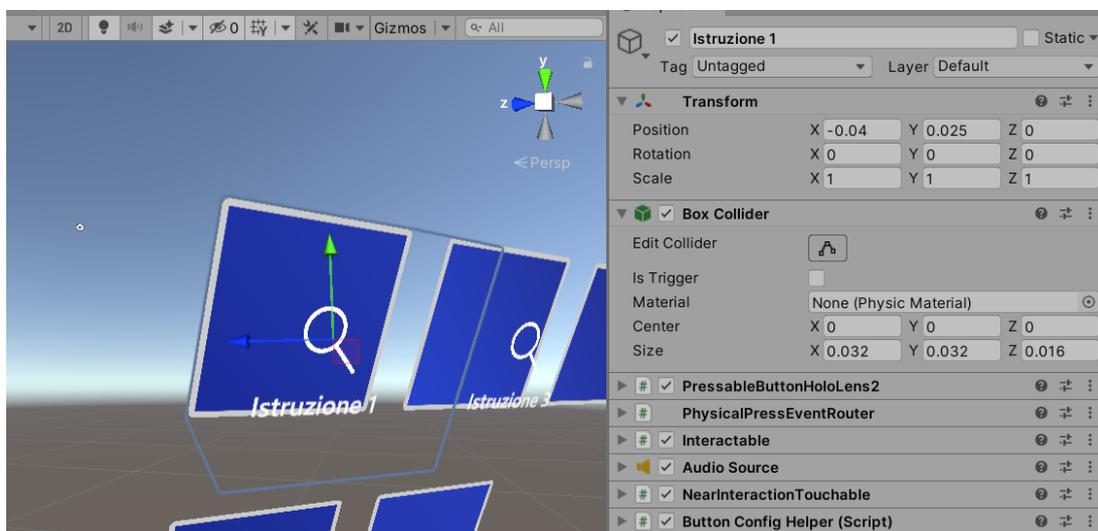


Figura 27. Esempio dei componenti presenti in un GameObject usato per la realizzazione dell'applicazione. Si possono notare componenti base come quelli della posizione e componenti specifici creati con l'uso di script

3.3 Costruzione della scena

Ogni applicazione deve essere creata all'interno di una scena, che rappresenta lo spazio simulato in cui viene realizzato lo spazio di gioco. È possibile creare più scene all'interno dello stesso progetto, il che ci ha permesso di isolare i vari step di sviluppo, raggruppare il lavoro svolto in solo posto e di passare da una soluzione all'altra in un istante. Si può pensare alla scena come se fosse una stanza, invece di raggruppare tutto il lavoro svolto in un unico posto è possibile rinchiudere ogni singola versione nella rispettiva area di lavoro.

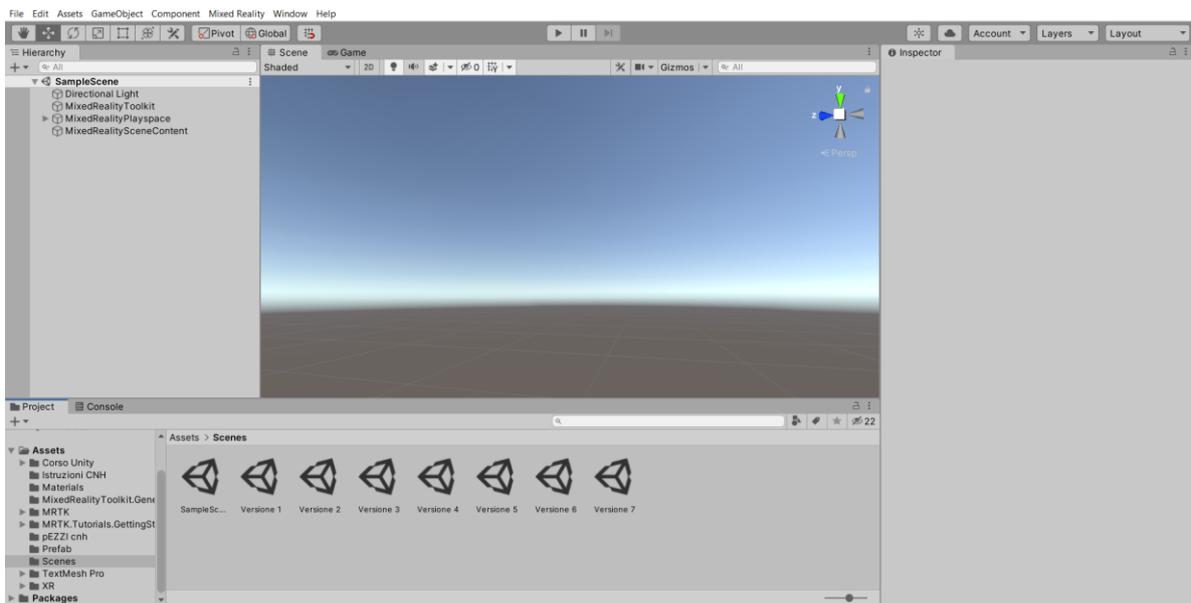


Figura 28. Le scene del progetto realizzato

3.3.1 Creazione di GameObject, modelli 3D e prefabbricati

La creazione dei GameObject è possibile per mezzo dell'interfaccia utente o tramite scripting. Come già menzionato in precedenza è possibile creare GameObject complessi tramite un software esterno per creare componenti su misura per il proprio utilizzo. I GameObject creati esternamente, ovvero i modelli 3D, possono eventualmente essere resi dei prefabbricati: per esempio se si sono impostate delle determinate opzioni relative al modello 3D importato e non si vuole ripetere l'operazione di cambiare le opzioni ogni volta che vengono importati per esempio in applicazioni diverse, si può creare un prefabbricato. I prefabbricati sono un tipo di asset e possono essere modelli 3D ma anche qualsiasi risorsa presente nella finestra Project. È possibile aggiungere modelli 3D alla scena dall'interfaccia utente di Unity trascinando il modello 3D che si è creato precedentemente dalla finestra Project view alla finestra Hierarchy oppure tramite scripting con opportuni comandi. Quando si aggiunge un modello 3D alla scena, si crea di fatto

una sua istanza, cioè un clone del modello 3D. Una volta importati nella scena, i modelli 3D compaiono nella finestra Hierarchy View come GameObjects. Unity permette anche di creare dei GameObjects vuoti, che possono essere utilizzati come “contenitori” per script usati nella scena o per raggruppare altri oggetti in modo da creare un rapporto di parentela.

3.3.2 Ereditarietà

È possibile stabilire un rapporto di parentela tra due o più GameObject. In questo modo avremo un GameObject “padre” e un GameObject “figlio”. Per esempio, se si è realizzato un essere umano si avrà il GameObject padre “Persona” e i nodi figli “viso”, “corpo”, etc. Ogni componente associato al padre sarà ereditato dal figlio: se si cambiano le trasformazioni geometriche del primo, tutti i figli avranno una variazione delle proprie trasformazioni geometriche (durante uno spostamento gli oggetti “figlio” rimangono solidali all’oggetto “padre”).

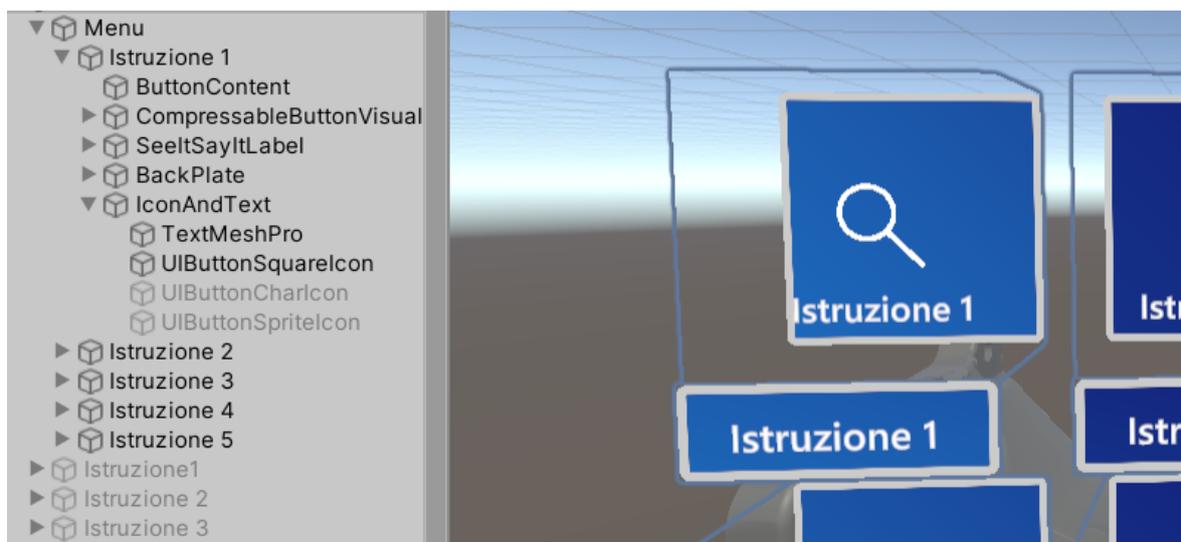


Figura 29. Esempio di ereditarietà di più GameObjects

3.3.3 Telecamera virtuale

Così come le telecamere sono usate nei film per riprendere una scena, le telecamere virtuali in Unity sono GameObjects che consentono la visualizzazione di quanto si è realizzato all’interno della scena. È fondamentale che ci sia almeno una telecamera virtuale all’interno della scena ed è possibile controllarle: per es. è possibile, tramite scripting, fare in modo che la telecamera virtuale segua il giocatore (player) nei suoi movimenti o controllare tramite input la ripresa dell’ambiente tridimensionale realizzato. È possibile inoltre controllare, oltre al comportamento

della telecamera virtuale, anche le impostazioni, quali la dimensione e la distanza del punto di vista, la larghezza del campo di visualizzazione, la regolazione della prospettiva etc.

3.3.4 Scripting

È la parte fondamentale di Unity. Attraverso Javascript o C# è possibile non solo eseguire tutto ciò che l'interfaccia utente del software offre (come per es. aggiungere luci, cambiare le trasformazioni geometriche di un GameObject, importare un modello 3D, associare texture a un materiale, attivare/disattivare i componenti o comandare gli oggetti nella scena), ma anche programmare funzionalità ed interazioni nuove tra due GameObject.

3.3.5 Animazioni

Unity ha un ricco e sofisticato sistema di animazioni chiamato Mechanim ed è il meccanismo attraverso il quale è possibile controllare i movimenti dei GameObjects nello spazio. Le animazioni possono essere realizzate all'interno di Unity o importate da un software esterno. All'interno dell'applicazione 3D l'utente può creare delle animazioni variando, nel tempo, le trasformate geometriche del GameObject e associando tali animazioni al GameObject in questione.

3.3.6 Aggiunta di Mixed Reality Toolkit

Per sviluppare un'applicazione utilizzabile sul visore della Microsoft è necessario preimpostare il progetto e la scena in funzione del dispositivo di utilizzo. Una volta scelto il dispositivo di output si passa all'importazione dei pacchetti necessari per lo sviluppo dell'applicazione. In caso di HoloLens, la Microsoft supporta la creatività degli sviluppatori con il Mixed Reality Toolkit. MRTK è formato da una serie di strumenti open source scaricabile gratuitamente, è disponibile sin dall'inizio dell'esistenza di HoloLens ed è costantemente aggiornato e migliorato dalla community di tutto il mondo per migliorare la realizzazione delle applicazioni da utilizzare sul visore. Il Toolkit è composto da una serie di pacchetti scaricabili gratuitamente, i quali permettono di accedere ad una libreria in cui si possono trovare componenti e funzioni utilizzabili per lo sviluppo corretto del proprio programma e per rendere il tutto più semplice e intuitivo. MRTK è necessario per configurare la scena di lavoro adatta allo sviluppo di applicazioni per HoloLens.

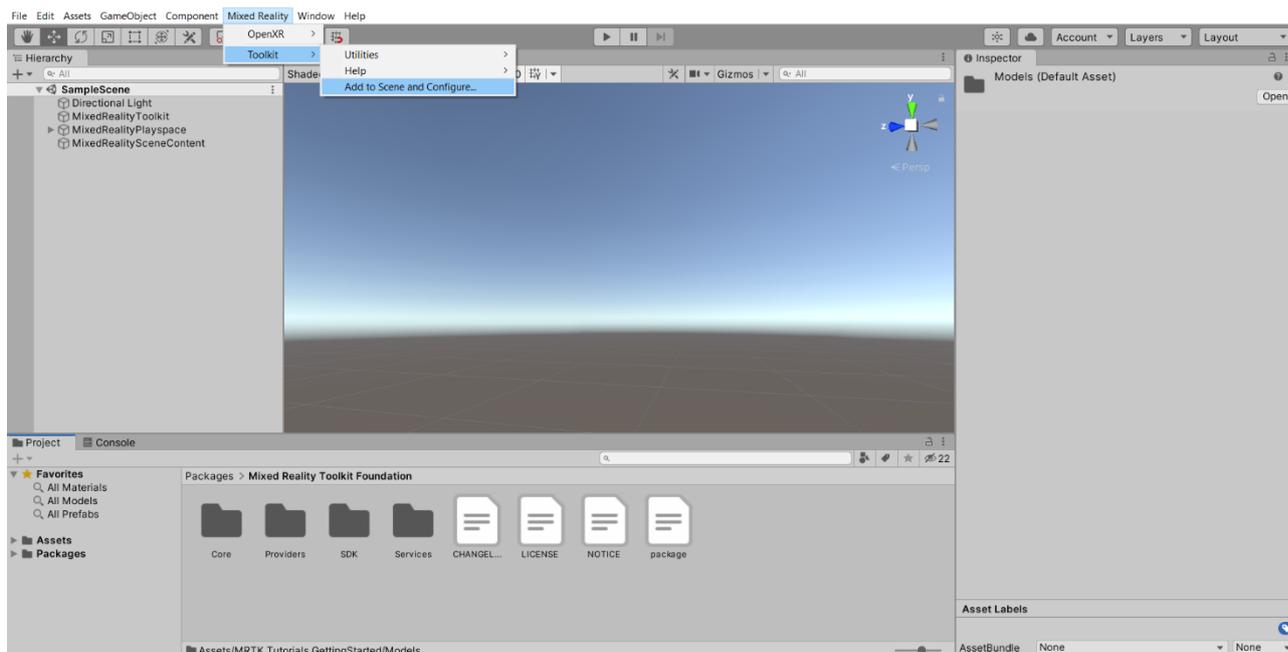


Figura 30. Impostazione del MRTK

Una volta impostata la scena, nella Hierarchy vengono importati GameObjects necessari per far capire alla scena che si tratta di un ambiente di realtà aumentata. In particolare, è presente la videocamera che simula il comportamento del visore e che permette di interagire con gli oggetti durante le prove virtuali.

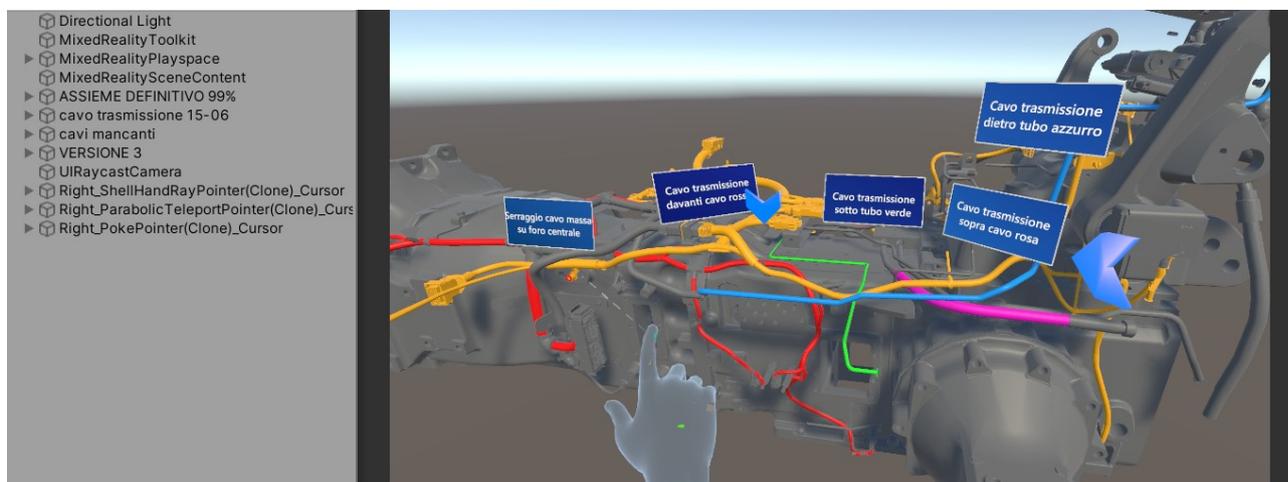


Figura 31. Prova virtuale dell'applicazione

Capitolo 4: Applicazioni progettate

Lo sviluppo del progetto si è svolto in più tappe che hanno portato a soluzioni differenti. Alcune di queste sono semplicemente degli step intermedi servivano come base iniziale e che sono più facili da progettare, altre applicazioni invece sono più facili gestire da chi deve interagire.

4.1 Versione 1

Questa è stata la base di partenza, necessaria per capire come integrare i file CAD con le istruzioni da visualizzare e vedere l'impostazione generale, la posizione dei riquadri e testare l'interattività. La versione 1 rappresenta le fondamenta del progetto. L'interfaccia è composta da un menu con 5 tasti che segue l'utente, il quale deve toccare uno dei riquadri per richiamare l'istruzione. Assieme al testo nella posizione interessata viene anche evidenziato il componente al quale bisogna prestare attenzione. In alcuni casi viene anche usato un indicatore per indirizzare l'utente sull'area interessata. Alla pressione del tasto si presenta solo un'istruzione, cliccando su un altro tasto viene richiamata un'altra istruzione e quella precedente non è più visibile.

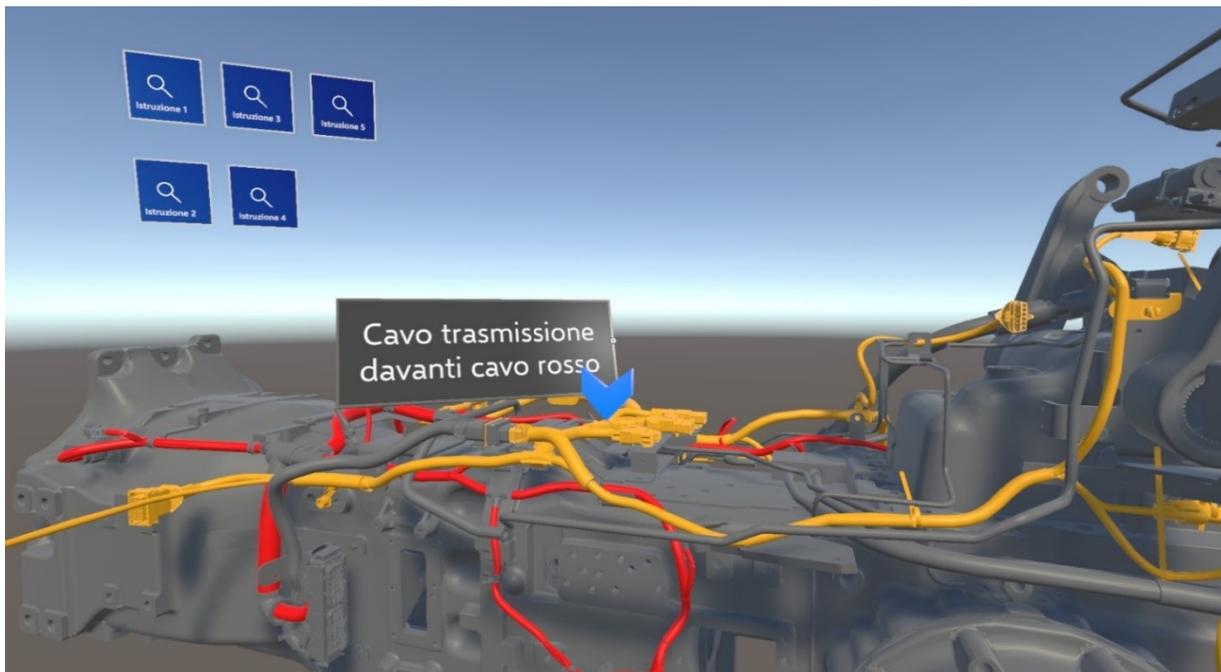


Figura 32. Versione 1

L'applicazione si basa sull'attivazione/disattivazione delle istruzioni, è relativamente facile da programmare perché un tasto controlla poche azioni. Per l'utente finale invece rappresenta un modo macchinoso di interagire, che ogni volta dovrebbe "cliccare" su un altro tasto dopo aver finito un'operazione.

Per realizzare il menu è stato fatto affidamento ai prefabbricati disponibili su MRTK, in questo modo avevamo la certezza di un corretto funzionamento e riconoscimento del comando da parte di HoloLens grazie a tutti i componenti necessari già presenti all'interno del GameObject. Anche per realizzare il pannello delle istruzioni è stato usato un prefab del Toolkit, opportunamente scalato e modificato. Come si può facilmente intuire anche l'indicatore è stato preso dai pacchetti di MRTK.

La gestione dell'applicazione è isolata al menu, è l'unica centrale di comando che controlla cosa viene visualizzato e cosa no. La comparsa (e relativa scomparsa) delle istruzioni è gestita con operazioni booleane YES/NOT. "Interactable" è il componente che permette di impostare gli eventi da svolgere una volta premuto il tasto. La parte interessata del componente si chiama appunto "events" e in quella sezione vanno selezionati i GameObject (o script) interessati e la funzione da attribuire. Gli eventi possibili sono diversi e possono aumentare a seconda dei componenti e script presenti nel GameObject presi in considerazione. Come ribadito in precedenza, la gestione avviene con operazioni booleane, di conseguenza la funzione da attribuire al GameObject è "GameObject.SetActive". La spunta sotto il menu delle funzioni funge da operatore booleano, se è attiva significa che l'oggetto verrà attivato, in caso contrario verrà disattivato. Ovviamente, la gestione del menu avviene attivando il GameObject "padre" che contiene tutti i GameObject "figlio". Per un corretto funzionamento delle istruzioni è inoltre necessario disattivare alcuni componenti dell'insieme per sostituirli con i rispettivi componenti ma cambiati di colore, in modo da evitare sovrapposizioni che potrebbero non far cambiare il colore correttamente.

Un aspetto fondamentale, prima di provare l'applicazione bisogna assicurarsi che tutte le istruzioni siano disattivate nella scena.

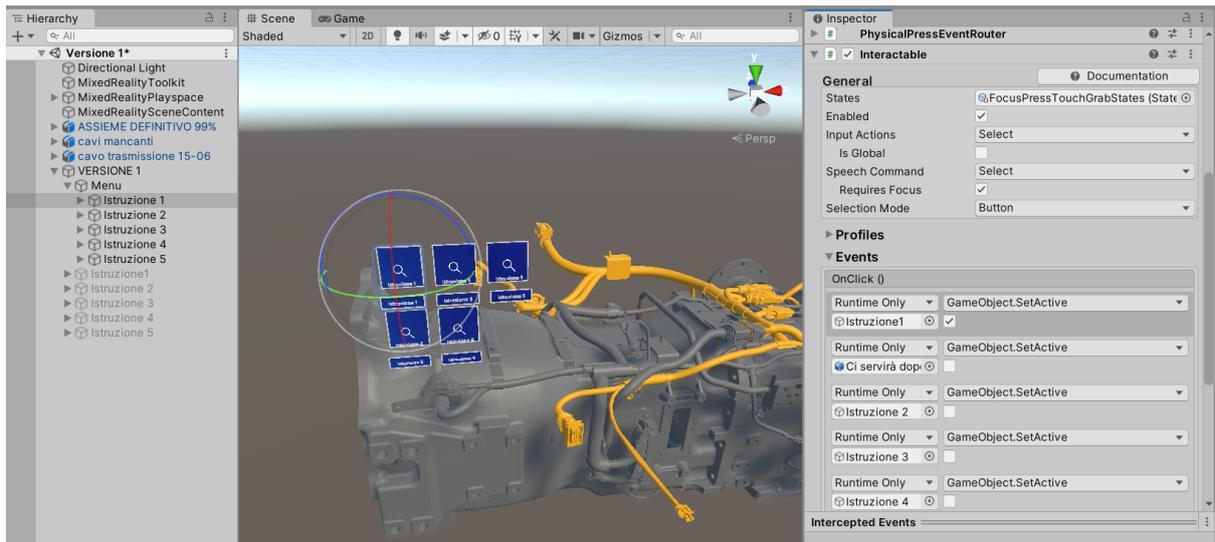


Figura 33. Visualizzazione del GameObject e del component Interactable

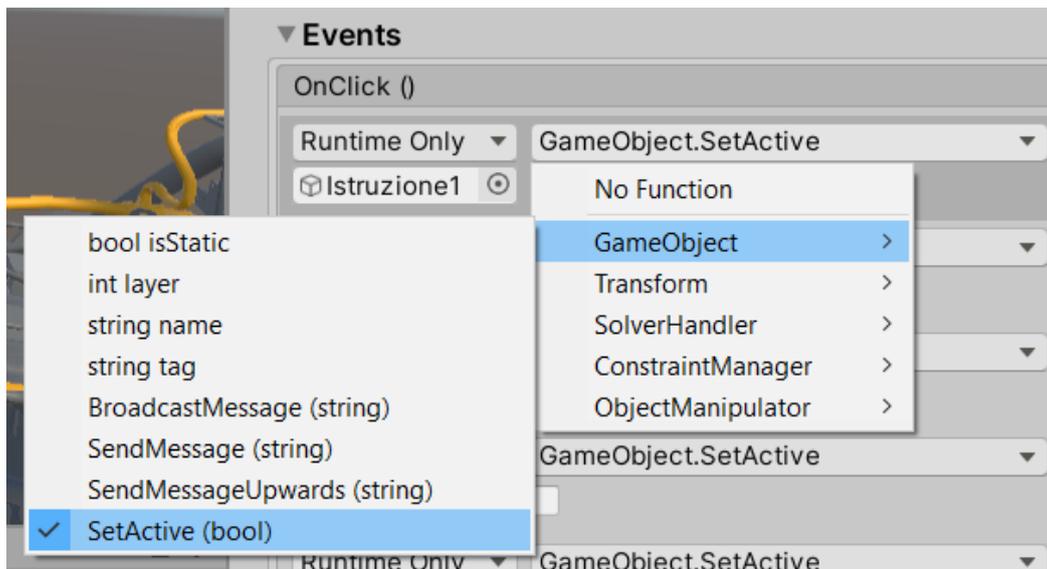


Figura 34. Dettaglio dell'evento scelto

4.2 Versione 2

A differenza della versione precedente, qui è presente un menu con solo due tasti, “avanti” e “indietro”. All’avvio è visibile soltanto il menu, la prima istruzione viene mostrata al tocco del pulsante “avanti” e le successive istruzioni vengono mostrate in sequenza, una per volta, sempre toccando il suddetto pulsante. Come si può intuire, è possibile visualizzare le istruzioni precedenti toccando l’altro tasto del menu. Anche qui la comparsa di un’istruzione implica la scomparsa di tutte le altre. La gestione con solo due tasti è possibile attraverso la scrittura di un codice dedicato che si occupa gestione e della corretta visualizzazione delle istruzioni. Questa soluzione non è di facile programmazione, richiede l’uso di script e non ci si può limitare alle funzionalità fornite dal Mixed Reality Toolkit e non è garantito che tutto funzioni senza complicazioni. Inoltre, è poco malleabile durante la progettazione e una minima modifica del principio di funzionamento può richiedere enormi cambiamenti nel “dietro le quinte”. Ovviamente, rispetto alla soluzione precedente, questa risulta essere più “user friendly”, in quanto richiede un’interazione minima e l’utente non si deve preoccupare di conoscere l’ordine con il quale sono state le istruzioni. Basta toccare sempre nello stesso punto e la sequenza procede passo dopo passo.



Figura 35. Versione 2

Lo script che gestisce le istruzioni da visualizzare è stato chiamato “InstructionManager” ed è riportato in seguito.

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class InstructionManager : SingletonMonoBehavior<InstructionManager>
6  {
7
8      public GameObject[] InstructionPanels;
9
10     private int currentInstructionIndex = -1;
11     private float newInstructionTime = float.MaxValue;
12
13
14     // Start is called before the first frame update
15     void Start()
16     {
17
18     }
19
20     // Update is called once per frame
21     void Update()
22     {
23
24     }
25
26     public void NextInstruction(){
27         if(currentInstructionIndex >= 0)
28         {
29             if(currentInstructionIndex < InstructionPanels.Length -1){
30                 newInstructionTime = Time.time;
31                 InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(false);
32                 currentInstructionIndex ++;
33                 InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(true);
34             }
35         }
36         else
37         {
38             Debug.Log("TURN ON FIRST PANEL");
39             currentInstructionIndex ++;
40             InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(true);
41         }
42     }
43
44
45     public void PreviousInstruction()
46     {
47         if(currentInstructionIndex > 0)
48         {
49             newInstructionTime = Time.time;
50             InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(false);
51             currentInstructionIndex --;
52             InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(true);
53         }
54     }
55
56     public void CloseLastInstruction()
57     {
58         InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(false);
59     }
60
61
62     public void OpenLastInstruction()
63     {
64         InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(true);
65     }
66
67     public void OpenFirstInstruction()
68     {
69         currentInstructionIndex = 0;
70         InstructionPanels[currentInstructionIndex].SetActive(true);
71         newInstructionTime = Time.time;
72     }
73 }
```

Figura 36. Script “InstructionManager”

Il menu usato in questa versione è diverso da quello precedente, ma fa sempre parte dei prefabbricati di MRTK. Come sempre per far funzionare l'applicazione è necessario impostare l'evento nel componente "Interactable", ma, a differenza di prima, non si tratta di un'operazione booleana, bensì di un comando gestito dallo script. Pertanto, questa volta l'oggetto è sostituito dallo script "InstructionManger" e tra gli eventi disponibili si può notare la presenza di opzioni personalizzate. Nel tasto "Indietro" l'evento da selezionare è "PreviousInstruction" e viceversa, nel tasto "Avanti" l'evento "NextInstruction".

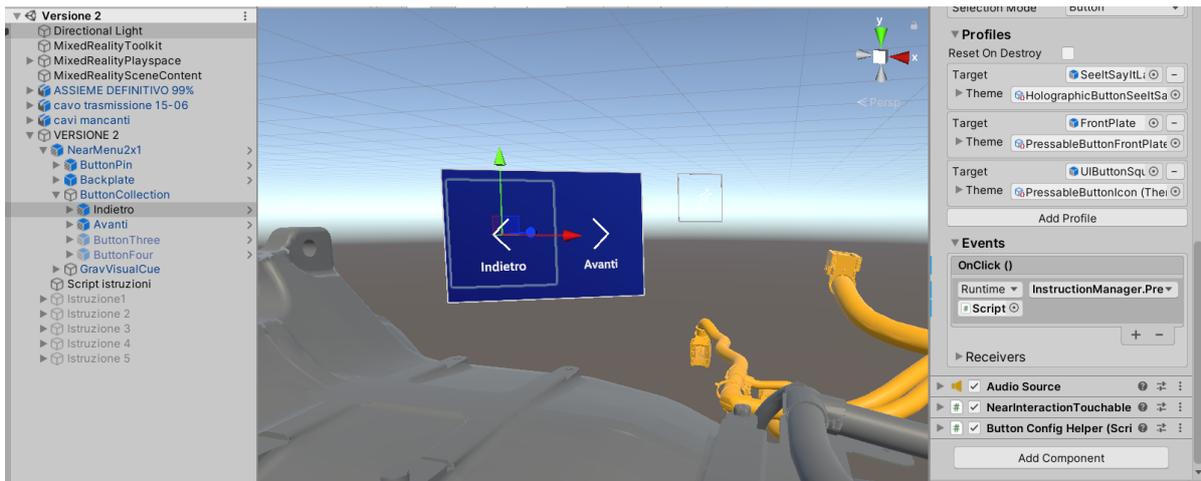


Figura 37. Component "Interactable" del tasto "Indietro"

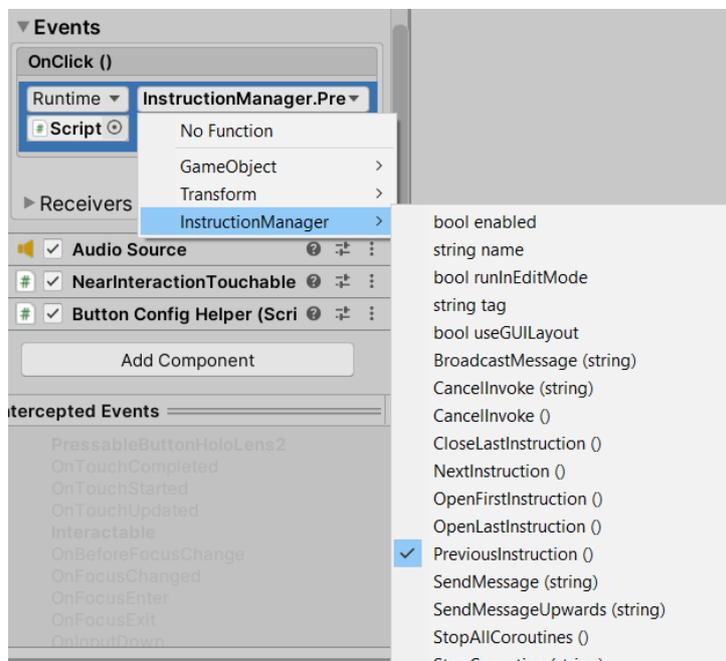


Figura 38. Funzione da selezionare

Siccome lo script da solo non è in grado di capire cosa deve visualizzare, è necessario far capire al sistema dove deve “prelevare” gli oggetti che fanno da istruzioni. Questo si fa creando un GameObject vuoto, nel quale viene inserito il component relativo all’InstructionManager, che permette di selezionare gli elementi interessati.

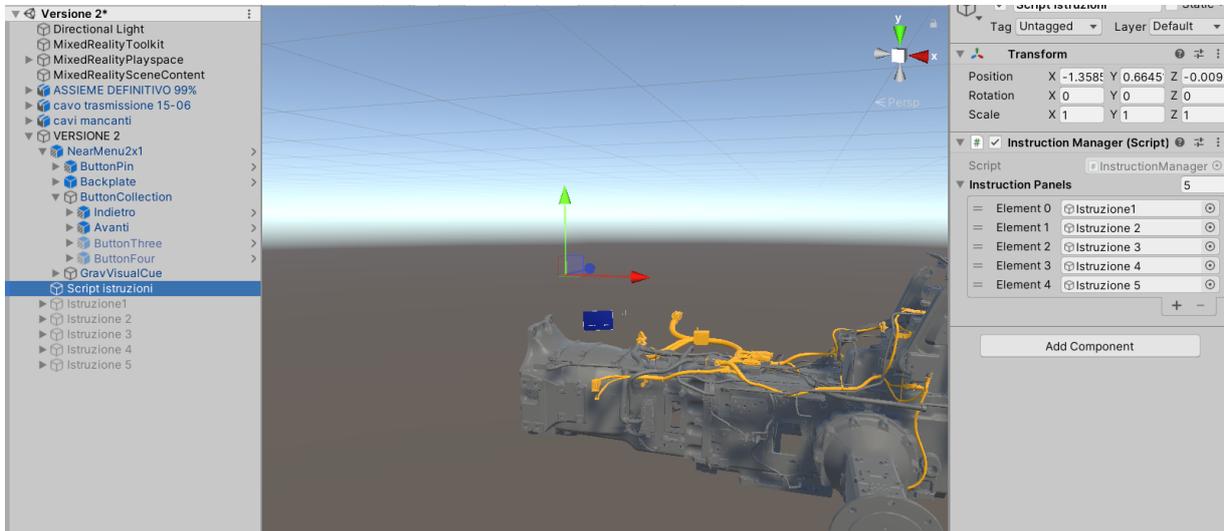


Figura 39. Dettaglio del component InstructionManager

4.3 Versione 3

Dopo alcuni scambi di opinioni è stato deciso di provare a fare una soluzione più interattiva, in modo tale che l'utente non debba distrarsi, distogliere lo sguardo e perdere tempo per interagire con un menu. Così, come per la versione 1, questa soluzione si è rivelata essere una base di partenza per la versione più avanzata, in quanto già durante la fase di progettazione era evidente che il tutto si presentava in un modo confusionario. In questo caso, all'avvio del programma vengono mostrate tutte le istruzioni, che vengono disattivate una volta toccate dall'utente. L'idea è che l'istruzione ha la funzione di conferma dell'avvenuta installazione. Una volta eseguita l'operazione l'operatore tocca l'istruzione corrispondente e procede in questo modo fino a che non è più presente nessun pannello.

Come ribadito in precedenza, questa soluzione è servita per capire come far funzionare un sistema del genere, è abbastanza facile da realizzare, ma non è una buona soluzione per chi deve interagire, anche se l'invasività delle istruzioni dipende dalla loro dimensione e posizione, che sono liberamente modificabili.

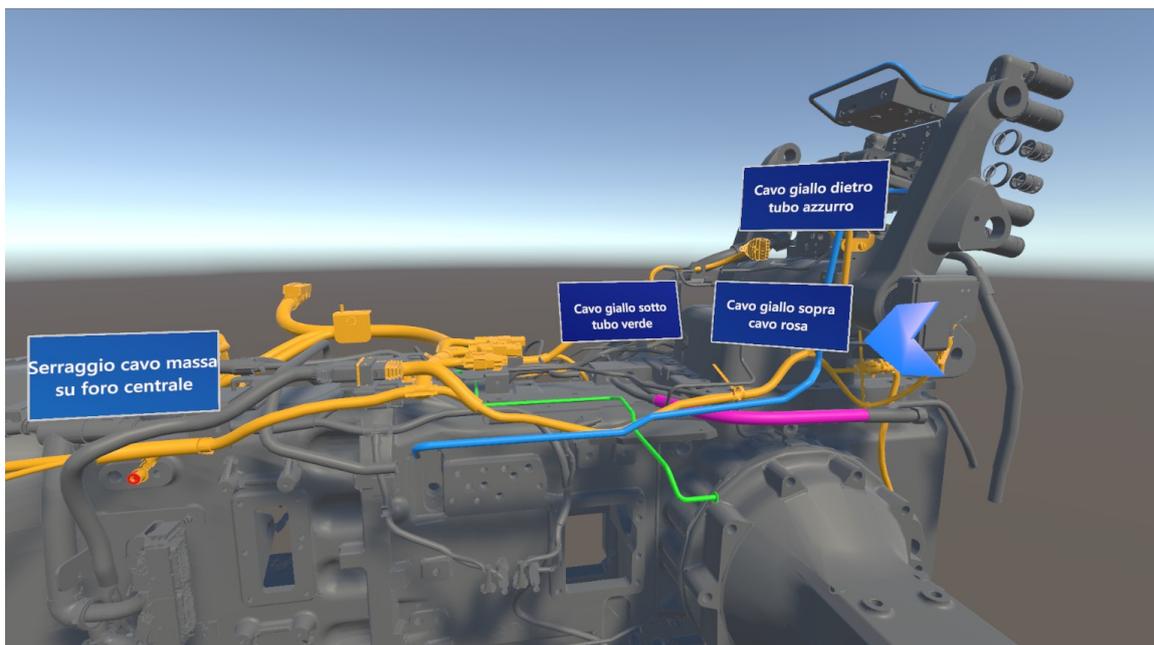


Figura 40. Versione 3

I pannelli delle istruzioni hanno un aspetto diverso in quanto questa volta fanno anche da pulsante e, come sempre, si tratta di un prefab presente nel Mixed Reality Toolkit, ma è stato pesantemente modificato e adattato allo scopo. Grazie a questo prefabbricato non è stato necessario adattare il GameObject con i component necessari per renderlo interagibile. I passaggi successivi sono gli stessi visti in precedenza, ma tra gli eventi figurano meno componenti in quanto l'istruzione deve disattivare solo sé stessa e i GameObject relativi all'istruzione.

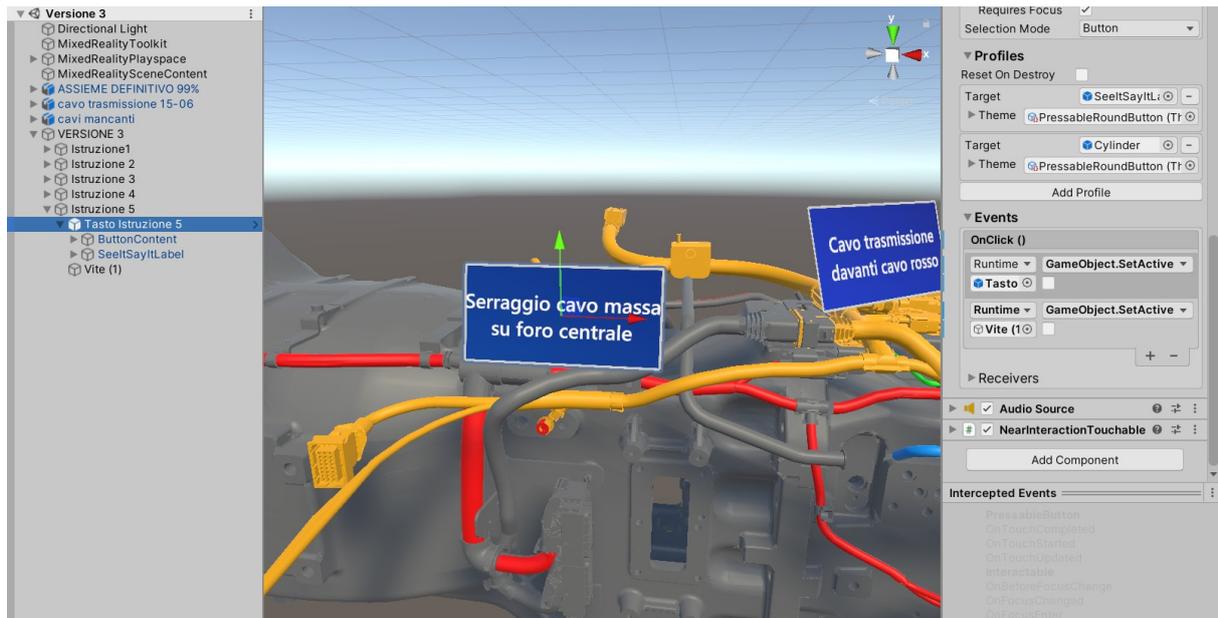


Figura 41. Eventi di un'istruzione nella Versione 3

5.4 Versione 4

Questa versione rappresenta l'apice dell'evoluzione di questo lavoro di tesi e racchiude tutte le conoscenze finora apprese. In questa soluzione è stato possibile mantenere una buona malleabilità del progetto in caso di modifiche future e allo stesso tempo è stato possibile creare un'applicazione interattiva e poco invasiva per l'utente. L'applicazione è stata sviluppata in modo tale che l'istruzione stessa fa da pulsante e da richiamo alla prossima operazione. All'avvio dell'applicazione è presente solo un tasto l'inizio che attiva la prima istruzione. Una volta completata la prima operazione basta toccare sul riquadro per attivare l'istruzione successiva. In questo modo, come nel concetto della versione precedente, il tocco sull'istruzione fa da conferma dell'avvenuta installazione, ma l'ambiente virtuale è molto più pulito e permette di concentrarsi sulla singola operazione.

Per quanto riguarda la programmazione risulta essere un'applicazione non difficile, ma molto laboriosa, in quanto bisogna gestire singolarmente la catena degli oggetti che si devono attivare o disattivare, ma rimane una soluzione molto malleabile che permette di fare molte modifiche o adattamenti senza stravolgere il lavoro svolto.



Figura 42. Versione 4 all'avvio

Come accennato nel paragrafo precedente, i pannelli delle istruzioni sono pulsanti presi da MRTK, ma radicalmente modificati per adattarli allo scopo. Allo stesso modo, la logica di attivazione/disattivazione delle istruzioni è analoga alla Versione 1, vengono utilizzati gli operatori booleani, con la differenza che in questa versione è tutto concatenato.

Dal punto di vista della programmazione questo significa che negli eventi component “Interactable” del tasto interessato è necessario inserire più oggetti. Come ribadito in precedenza è un procedimento che richiede tempo e concentrazione, ma permette di fare modifiche radicali senza dover cambiare la logica di funzionamento. Lo stesso concetto vale anche per il tasto “Inizio” che si disattiva una volta premuto per fare spazio alla prima istruzione e si riattiva dopo aver premuto sull’ultima istruzione. Si tratta di uno dei tanti modi possibili per terminare la visualizzazione delle istruzioni e che ha permesso di creare un loop che può essere usato per riattivare il ciclo.

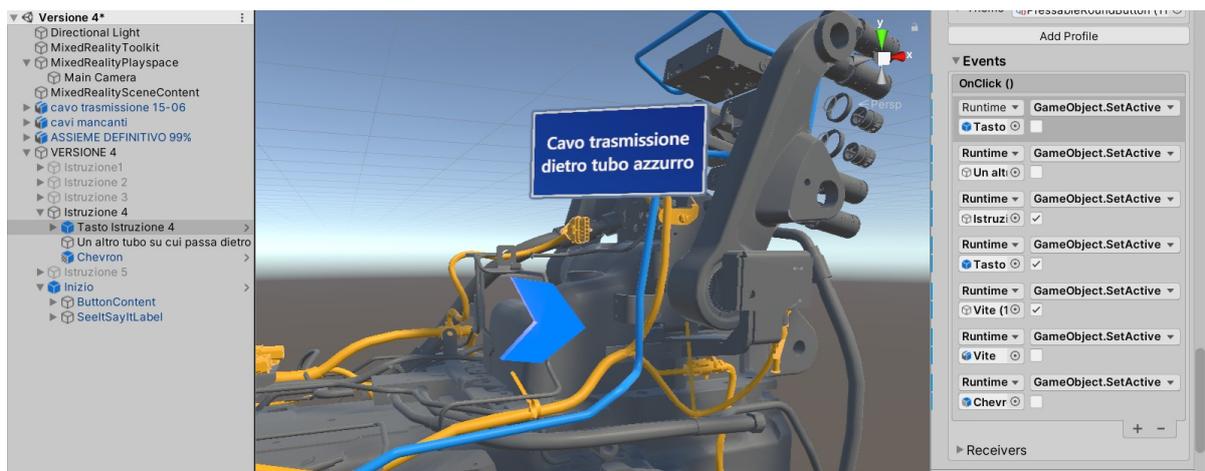


Figura 43. Eventi presenti all'interno di un'istruzione nella versione 4



Figura 44. Prova della versione 4

Capitolo 5: Test usabilità

Una volta perfezionato il funzionamento delle applicazioni nell'ambiente virtuale è stato deciso di mettere alla prova nell'ambiente reale il lavoro svolto. Sono stati eseguiti dei test in dipartimento per valutare qualitativamente l'usabilità delle istruzioni. Sono delle prove fine a sé stesse, in quanto non sono state svolte in ambiente lavorativo, ma erano necessarie per capire se persone estranee al progetto fossero in grado di interagire con le istruzioni. Per motivi tecnici e mancanza di tempo è stato deciso di provare tre versioni, ovvero la prima, la seconda e l'ultima.

5.1 Valutazione

Alla fine dell'uso di ogni applicazione è stato somministrato l' "User Experience Questioner". Si fornisce all'utente un foglio che riporta una serie di scale, ciascuna delle quali è definita da una coppia di aggettivi opposti separati da una graduatoria settenaria su cui segnare la descrizione relativa ad un concetto. Viene utilizzato per valutare l'esperienza dell'utente nell'esecuzione dei test.

User Questionnaire Experience								
	1	2	3	4	5	6	7	
Fastidioso	<input type="radio"/>	Piacevole						
Incomprensibile	<input type="radio"/>	Comprensibile						
Difficile da apprendere	<input type="radio"/>	Facile da apprendere						
Non intuitivo	<input type="radio"/>	Intuitivo						
Ostruttivo	<input type="radio"/>	Di supporto						
Complicato	<input type="radio"/>	Facile						
Sgradevole	<input type="radio"/>	Gradevole						
Non conforme alle aspettative	<input type="radio"/>	Conforme alle aspettative						
Inefficiente	<input type="radio"/>	Efficiente						
Confuso	<input type="radio"/>	Chiaro						
Non pragmatico	<input type="radio"/>	Pragmatico						
Sovraccarico	<input type="radio"/>	Ordinato						

Figura 45. UEQ

Successivamente, alla fine di tutti i test, gli utenti sono stati sottoposti ad un altro questionario che valutava l'esperienza complessiva dell'uso della realtà aumentata. Tale strumento è composto da otto affermazioni sulle quali si esprime un parere in funzione di una graduatoria che va da “fortemente in disaccordo” a “fortemente d'accordo”. Di seguito la relativa tabella di valutazione.

Augmented Reality User Experience	<i>Da 1 (fortemente in disaccordo) a 7 (fortemente d'accordo)</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
L'uso dell'AR ha ostacolato il campo visivo							
Ritengo che la visualizzazione delle istruzioni sia invasiva							
Dopo un po' che indossavo i dispositivi mi sono dimenticato/a di averli addosso							
Utilizzerei i visori avendone percepito l'utilità							
L'uso del visore è invasivo							
Indossare i visori mi ha provocato dei fastidi (nausea, mal di testa, etc.)							
Ritengo che la realtà aumentata semplifichi il modo di lavorare							
Ritengo che questo tipo di innovazioni debba essere maggiormente considerato all'interno di un ambiente di lavoro							

Figura 46. AR UX

5.2 Risultati dei questionari

Di seguito vengono riportati i dati raccolti.

User Questionnaire Experience Versione 1					
	User 1	User 2	user 3	User 4	User 5
Fastidioso/piacevole	4	5	5	6	5
Incomprensibile/comprendibile	4	6	5	6	6
Difficile da apprendere/facile da apprendere	6	4	6	6	5
Non intuitivo/intuitivo	6	6	4	5	6
Ostruttivo/di supporto	6	4	6	7	6
Complicato/facile	5	5	6	5	5
Sgradevole/gradevole	4	5	5	7	5
Non conforme alle aspettative/ conforme alle aspettative	3	5	6	7	5
Inefficiente/efficiente	4	3	6	7	4
Confuso/chiaro	5	3	6	6	4
Non pragmatico/pragmatico	5	5	5	6	5
Sovraccarico/ordinato	5	3	6	7	5

Figura 47. UEQ Versione 1

User Questionnaire Experience Versione 2					
	User 1	User 2	user 3	User 4	User 5
Fastidioso/piacevole	5	7	7	6	6
Incomprensibile/comprendibile	6	7	6	5	6
Difficile da apprendere/facile da apprendere	6	6	6	7	7
Non intuitivo/intuitivo	7	7	6	6	7
Ostruttivo/di supporto	6	7	6	7	6
Complicato/facile	6	7	6	7	6
Sgradevole/gradevole	6	7	6	6	6
Non conforme alle aspettative/ conforme alle aspettative	6	7	3	6	6
Inefficiente/efficiente	5	6	5	6	6
Confuso/chiaro	6	6	6	6	6
Non pragmatico/pragmatico	6	6	6	6	5
Sovraccarico/ordinato	6	7	6	7	5

Figura 48. UEQ Versione 2

User Questionnaire Experience Versione 4					
	User 1	User 2	user 3	User 4	User 5
Fastidioso/piacevole	6	6	6	6	6
Incomprensibile/comprendibile	4	6	6	5	6
Difficile da apprendere/facile da apprendere	6	6	6	6	7
Non intuitivo/intuitivo	4	6	6	5	7
Ostruttivo/di supporto	5	6	7	7	6
Complicato/facile	6	5	7	5	6
Sgradevole/gradevole	4	5	6	6	6
Non conforme alle aspettative/ conforme alle aspettative	5	6	6	7	7
Inefficiente/efficiente	6	5	6	7	7
Confuso/chiaro	5	5	6	6	7
Non pragmatico/pragmatico	6	6	6	6	7
Sovraccarico/ordinato	7	5	7	7	7

Figura 49. UEQ Versione 4

Augmented Reality User Experience	Da 1 (fortemente in disaccordo) a 7 (fortemente d'accordo)				
	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5
L'uso dell'AR ha ostacolato il campo visivo	3	3	2	2	2
Ritengo che la visualizzazione delle istruzioni sia invasiva	1	2	2	1	2
Dopo un po' che indossavo i dispositivi mi sono dimenticato/a di averli addosso	2	3	4	4	2
Utilizzerei i visori avendone percepito l'utilità	6	6	6	7	4
L'uso del visore è invasivo	4	4	3	4	2
Indossare i visori mi ha provocato dei fastidi (nausea, mal di testa, etc.)	2	2	2	2	1
Ritengo che la realtà aumentata semplifichi il modo di lavorare	5	6	6	6	5
Ritengo che questo tipo di innovazioni debba essere maggiormente considerato all'interno di un ambiente di lavoro	5	6	6	6	5

Figura 50. Risultati AR UX

5.3 Analisi dei risultati

È stata calcolata la distribuzione delle risposte alle singole domande e successivamente i dati sono stati riportati nei grafici per l'analisi dei risultati che vengono riportati nel seguito. Dall'analisi di tali grafici vengono poi tratte le conclusioni relative al suddetto lavoro di tesi e vengono ipotizzate modifiche che possano migliorare ulteriormente l'esperienza AR.

- User Questionnaire Experience

		1	2	3	4	5	6	7
Versione 1	fastidioso/ piacevole	0%	0%	0%	20%	60%	20%	0%
	incomprensibile /comprensibile	0%	0%	0%	20%	20%	60%	0%
	facile da apprendere/ difficile da apprendere	0%	0%	0%	20%	20%	60%	0%
	Non intuitivo/intuitivo	0%	0%	0%	20%	20%	60%	0%
	ostruttivo/di supporto	0%	0%	0%	20%	0%	60%	20%
	complicato/facile	0%	0%	0%	0%	80%	20%	0%
	sgradevole/gradevole	0%	0%	0%	20%	60%	0%	20%
	conforme alle aspettative/ non conforme alle aspettative	0%	0%	20%	0%	40%	20%	20%
	inefficiente/ efficiente	0%	0%	20%	40%	0%	20%	20%
	chiaro/confuso	0%	0%	20%	20%	20%	40%	0%
	non pragmatico/ pragmatico	0%	0%	0%	0%	80%	20%	0%
	ordinato/ sovraccarico	0%	0%	20%	20%	20%	40%	0%

Figura 51. Risultati UEQ della Versione 1

		1	2	3	4	5	6	7
Versione 2	fastidioso/ piacevole	0%	0%	0%	0%	20%	40%	40%
	incomprensibile /comprensibile	0%	0%	0%	0%	20%	60%	20%
	facile da apprendere/ difficile da apprendere	0%	0%	0%	0%	0%	60%	40%
	Non intuitivo/intuitivo	0%	0%	0%	0%	0%	40%	60%
	ostruttivo/di supporto	0%	0%	0%	0%	0%	60%	40%
	complicato/facile	0%	0%	0%	0%	0%	60%	40%
	sgradevole/gradevole	0%	0%	0%	0%	0%	80%	20%
	conforme alle aspettative/ non conforme alle aspettative	0%	0%	20%	0%	0%	60%	20%
	inefficiente/ efficiente	0%	0%	0%	0%	40%	60%	0%
	chiaro/confuso	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	non pragmatico/ pragmatico	0%	0%	0%	0%	20%	80%	0%
	ordinato/ sovraccarico	0%	0%	0%	0%	20%	40%	40%

Figura 52. Risultati UEQ della Versione 2

		1	2	3	4	5	6	7
Versione 4	fastidioso/ piacevole	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	incomprensibile /comprensibile	0%	0%	0%	20%	20%	60%	0%
	facile da apprendere/ difficile da apprendere	0%	0%	0%	0%	0%	80%	20%
	Non intuitivo/intuitivo	0%	0%	0%	20%	20%	40%	20%
	ostruttivo/di supporto	0%	0%	0%	0%	20%	40%	40%
	complicato/facile	0%	0%	0%	0%	40%	40%	20%
	sgradevole/gradevole	0%	0%	0%	20%	20%	60%	0%
	conforme alle aspettative/ non conforme alle aspettative	0%	0%	0%	0%	20%	40%	40%
	inefficiente/ efficiente	0%	0%	0%	0%	20%	40%	40%
	chiaro/confuso	0%	0%	0%	0%	40%	40%	20%
	non pragmatico/ pragmatico	0%	0%	0%	0%	0%	80%	20%
	ordinato/ sovraccarico	0%	0%	0%	0%	20%	0%	80%

Figura 53. Risultati UEQ della Versione 4

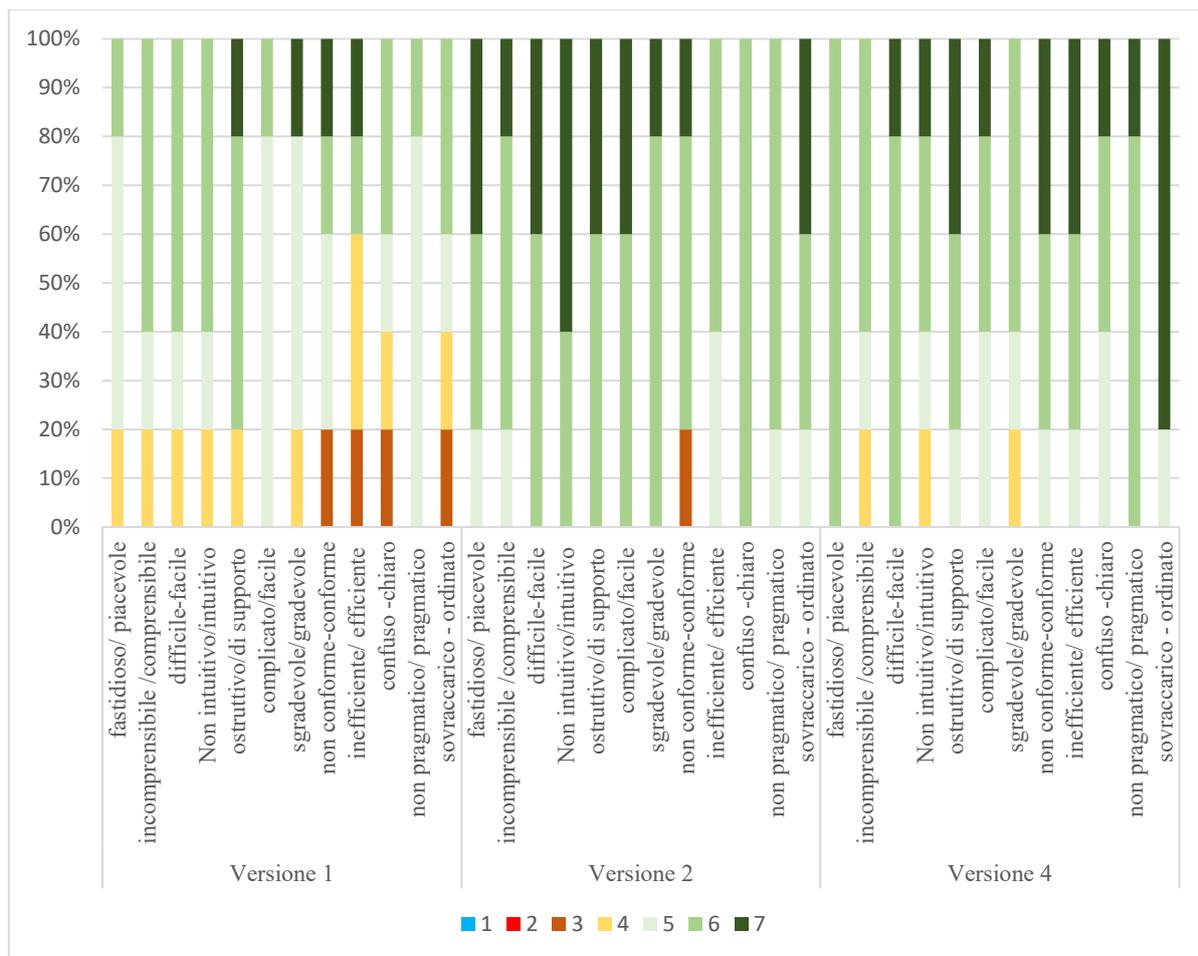


Figura 54. Grafico risultati UEQ

Dai risultati si possono evincere le considerazioni scritte nel paragrafo precedente. In generale si può notare un'approvazione di tutte le versioni provate, con la prima versione che ha ottenuto i risultati più bassi in confronto alle altre due. Le 5 istruzioni da selezionare singolarmente da un menu e che non seguono un ordine preimpostato hanno creato confusione e disordine, pertanto questa versione ha ottenuto il punteggio più basso per quanto riguarda l'efficienza. La versione con i tasti "avanti" e "indietro" è stata ritenuta quella più facile da utilizzare, il funzionamento era il più chiaro e facile da capire. L'applicazione con le istruzioni "interattive" è stata quella che ha suscitato maggiore interesse e che ha soddisfatto al meglio gli utenti per quanto riguarda l'esperienza svolta. Come si può notare dai risultati è stata considerata la soluzione più innovativa e adatta alla realtà aumentata, nonostante un primo approccio non proprio intuitivo. Le persone intervistate preferirebbero che ci fosse un'indicazione più immediata ed esplicita per capire l'uso dell'applicazione ed un eventuale tasto che indicasse la fine delle istruzioni.

- Augmented Reality User Experience

Analogamente a prima, è stata calcolata la distribuzione delle risposte e poi i risultati sono stati raggruppati nella tabella che segue.

	1	2	3	4	5	6	7
D1	0%	0%	0%	0%	20%	30%	0%
D2	0%	0%	0%	0%	0%	30%	20%
D3	0%	20%	10%	20%	0%	0%	0%
D4	0%	0%	0%	10%	0%	30%	10%
D5	0%	0%	0%	30%	10%	10%	0%
D6	0%	0%	0%	0%	0%	40%	10%
D7	0%	0%	0%	0%	20%	30%	0%
D8	0%	0%	0%	0%	20%	30%	0%

Figura 55. Risultati AR UX

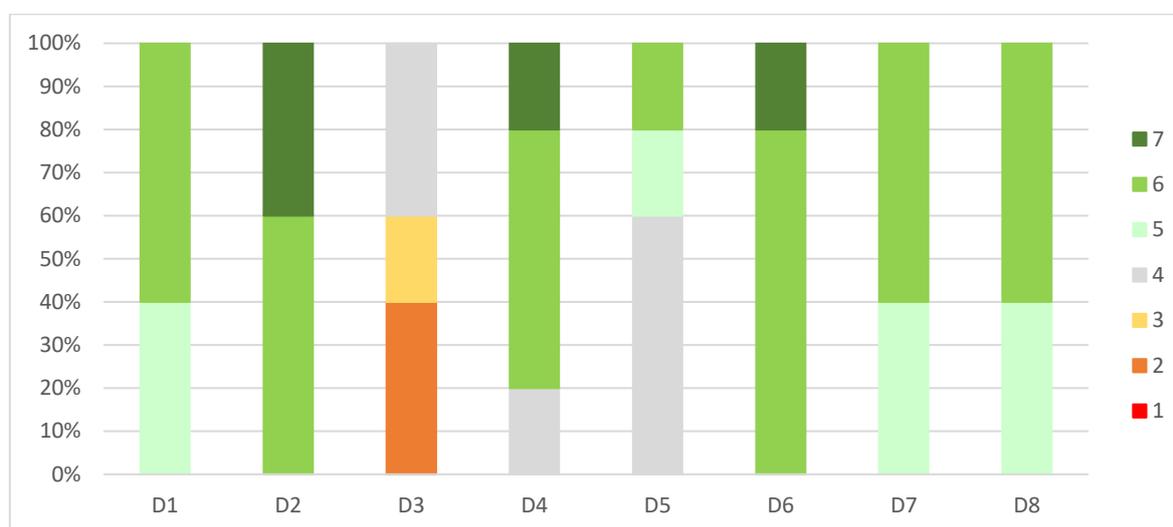


Figura 56. Grafico risultati AR UX

Nel grafico sono stati convertiti in modo tale che la scala dei colori verdi rappresentasse una risposta a favore dell'utilizzo della realtà aumentata per la visualizzazione delle istruzioni, mentre i colori caldi rappresentano una risposta negativa. Il grigio rappresenta una risposta neutrale.

Le risposte più critiche riguardano la domanda 3 e 5, ovvero gli utenti non sono riusciti ad ignorare la presenza del visore, ma allo stesso tempo l'uso dello stesso non è risultato invasivo in nessun modo. Tutte le altre domande hanno ottenuto un riscontro positivo, a dimostrazione del grande avanzamento tecnologico degli HoloLens 2, che permettono di ottenere un'esperienza della realtà mista più immersiva mai ottenuta prima d'ora.

Conclusione

Questo studio ha cercato di creare un ausilio in realtà aumentata che possa permettere di diminuire l'errore umano durante la fase di assemblaggio del cavo trasmissione nello stabilimento di Jesi di CNH Industrial. A tal fine, è stata realizzata un'applicazione che mostra con degli ologrammi le istruzioni interattive da eseguire. Il lavoro di tesi svolto rimane un punto iniziale che ha messo le fondamenta per l'implementazione di questa tecnologia nella linea di assemblaggio. Dai risultati dei test eseguiti, seppur non in loco, è facile intuire che questa tecnologia può rivelarsi un buon ausilio per le operazioni di assemblaggio. Inoltre, i risultati ottenuti rispecchiano le considerazioni iniziali e confermano le ipotesi fatte durante la realizzazione del progetto.

Il lavoro di tesi svolto è limitato all'idealità dell'ambiente in cui viene utilizzata l'applicazione, non tiene conto della posizione effettiva dell'area di lavoro o addirittura di un eventuale spostamento dei componenti. La visualizzazione dell'assieme è decisa direttamente dal visore, che sceglie il modo più ottimale in base all'ambiente circostante. Nonostante ciò, l'applicazione creata può fare da apripista per tutti i settori che richiedono l'uso di istruzioni durante la fase di assemblaggio, il suo funzionamento permette una facile modifica dei componenti da utilizzare ed è molto scalabile, si adatta a qualsiasi numero di istruzioni richieda un determinato processo produttivo.

La realtà aumentata è un'innovazione che non può essere sviluppata in ambienti ideali, ma necessita di essere studiata in funzione all'ambiente in cui verrà utilizzata. Pertanto, per migliorare l'esperienza d'utilizzo sono necessari test eseguiti sul campo, in modo tale da definire le innovazioni che ottimizzassero l'esperienza d'uso. Si consiglia, quindi, di concentrare le future ricerche sull'implementazione della realtà aumentata con l'ambiente che circonda l'utente, creando punti di ancoraggio spaziali che non dipendono dalle variazioni dell'ambiente preso in considerazione.

Bibliografia

- [1] *Mixed Reality Intelligence, Manufacturing Edition*
- [2] Sebastian Langa, Mohammed Saif Sheikh Dastagir Kota, David Weigerta e Fabian Behrendt. *Mixed reality in production and logistics: Discussing the application potentials of Microsoft HoloLensTM*. Procedia Computer Science, Volume 149, 2019, Pages 118-129
- [3] Blattgerste, Jonas, Benjamin Streng, Patrick Renner, Thies Pfeiffer and Kai Essig. *Comparing Conventional and Augmented Reality Instructions for Manual Assembly Tasks*, in Unknown (ed) PETRA 2017, New York, NY, USA, ACM.
- [4] Antonio E. Uva, Michele Gattullo, Vito M. Manghisi, Daniele Spagnulo, Giuseppe L. Cascella & Michele Fiorentino. *Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations*. Int J Adv Manuf Technol 94, 509–521 (2018)
- [5] Gorecky, D.; Schmitt, M.; Loskyll, M.; Zühlke, D. *Human-machine-interaction in the industry 4.0 era*. 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2014, pp. 289-294
- [6] Zeng, M.; Guo, G.; Tang, Q. *Vehicle human-machine interaction interface evaluation method based on eye movement and finger tracking technology*. In: Stephanidis C. (eds) HCI International 2019 – Late Breaking Papers. HCII 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11786. Springer, Cham.
- [7] Zhao, L.; Zhang, L.; Wang, Z.; Tian, G.; Zhang, L. *Design of human-machine interaction interface with multiple views for dispatching automation system*. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(6):86-91.
- [8] Deng, L.; Wang, G.; Yu, S. *Layout design of human-machine interaction interface of cabin based on cognitive ergonomics and GA-ACA*. Comput Intell Neurosci. 2016;2016:1032139.
- [9] Azuma, R.T. *A survey of augmented reality*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 1997; 6 (4): 355–385.
- [10] Ro, Y.K.; Brem, A.; Rauschnabel, P.A. (2018) *Augmented reality smart glasses: Definition, concepts and impact on firm value creation*. In: Jung T., tom Dieck M. (eds) Augmented Reality and Virtual Reality. Progress in IS. Springer, Cham.

- [11] Li, Z.; Mo, X.; Shi, C.; Jiang, S.; Jiang, L. *The research of visual characteristics for the deaf wearing AR glasses*. In: Ahram T. (eds) *Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design*. AHFE 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 973. Springer, Cham.
- [12] Ingeson, M.; Blusi, M.; Nieves, J.C. *Microsoft HoloLens—A mHealth solution for medication adherence*. In: Koch F. et al. (eds) *Artificial Intelligence in Health*. AIH 2018. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 11326. Springer, Cham.
- [13] Ballor, J.P.; McClain, O.L.; Mellor, M.A.; Cattaneo, A.; Harden, T.A.; Shelton, P.; Martinez, E.; Narushof, B.; Moreu, F.; Mascareñas, D.D.L. *Augmented reality for next generation infrastructure inspections*. In: Barthorpe R. (eds) *Model Validation and Uncertainty Quantification, Volume 3*. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. Springer, Cham.
- [14] Lamberti, F.; Manuri, F.; Sanna, A.; Paravati, G.; Pezzolla, P.; Montuschi, P. *Challenges, opportunities, and future trends of emerging techniques for augmented reality-based maintenance*. In *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 2, no. 4, pp. 411-421, Dec. 2014
- [15] Ens, B.; Byagowi, A.; Han, T.; Hincapieé-Ramos, J.D.; Irani, P. *Combining ring input with hand tracking for precise, natural interaction with spatial analytic interfaces*. In *Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction (SUI '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 99–102.
- [16] Zhou, F.; Duh, H.B.L.; Billinghamurst, M. *Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR*. 2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008, pp. 193-202
- [17] Kim, K.; Billinghamurst, M.; Bruder, G.; Duh, H.B.L.; Welch, G.F. *Revisiting trends in augmented reality research: A review of the 2nd decade of ISMAR (2008–2017)*. In *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, no. 11, pp. 2947-2962, Nov. 2018
- [18] Andrzej Szajna, Roman Stryjski, Waldemar Woźniak, Norbert Chamier-Gliszczyński and Mariusz Kostrzewski, *Assessment of Augmented Reality in Manual Wiring Production Process with Use of Mobile AR Glasses*. *Sensors* 2020, 20, 4755.

- [19] Arduini G. (2012), La realtà aumentata e nuove prospettive educative, «Education Sciences & Society», 3, Ri-pensare la pedagogia, ri-pensare l'educazione, pp. 209-216, http://riviste.unimc.it/index.php/es_s/article/viewFile/532/371, 20.08.2013.
- [20] Gartner Hype Cycle <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
- [21] Augmented Reality Disappeared From Gartner's Hype Cycle – What's Next? <https://arpost.co/2020/09/25/augmented-reality-gartners-hype-cycle/>
- [22] <https://airlapp.com/blog/realta-aumentata-ar/>
- [23] <https://blogs.microsoft.com/blog/2019/02/24/microsoft-at-mwc-barcelona-introducing-microsoft-hololens-2/>
- [24] <https://www.microsoft.com/it-it/hololens>
- [25] <https://solidedge.siemens.com/it/>
- [26] Gironacci, Irene. (2013). Modellazione e sviluppo di un ambiente virtuale con motore grafico Unity3D (Virtual Environment Modeling and Development based on Unity3D Game Engine). DOI: 10.13140/RG.2.1.4971.6569.
- [27] <https://docs.unity3d.com/Manual/UnityOverview.html>
- [28] <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/mrtk-unity/>
- [29] <https://docs.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/develop/unity/tutorials/mr-learning-base-02>
- [30] <https://www.ueq-online.org/>