

POLITECNICO DI TORINO

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

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione e sviluppo di applicazioni in Realtà Aumentata a supporto di approcci didattici innovativi



Relatori

prof. Andrea Sanna
prof. Fabrizio Valpreda

firma del relatore (dei relatori)

.....

.....

Candidato

Giovanni Cassone

firma del candidato

.....

A.A. 2017/ 2018

Indice

Introduzione	4
1. La Realtà Aumentata	7
1.1 Funzionamento	7
1.1.1 Analisi dell'ambiente	7
1.1.2 Creazione ambiente 3D	8
1.2 Supporti per la visualizzazione	9
1.2.1 Schermo	9
1.2.2 Visori	10
1.2.3 Proiettori	11
1.3 Ambiti d'utilizzo	12
1.3.1 Videogames e intrattenimento	13
1.3.2 Previsualizzazione	13
1.3.3 Supporto e manutenzione	14
1.3.4 Formazione ed Edutainment	16
1.3.5 EPRA	17
1.4 AR Edutainment nella Computer Graphics	18
1.4.1 3DARModeler	18
1.4.2 Authoring animations in an AR environment	19
1.4.3 POL+AR	20
1.4.4 Modeling like LEGO	21
1.5 SDK per la Realtà Aumentata	23
1.5.1 SDK analizzati	23
2. Progettazione e sviluppo del progetto	27
2.1 Analisi dei requisiti	27
2.1.1 Contesto di applicazione	27
2.1.2 Target di riferimento	28
2.2 Obiettivi di progetto	29
2.3 Architettura del sistema	30
2.3.1 Il portale web	31
2.3.2 Visualizzatore in AR	32
2.3.3 Applicazione di guida e valutazione	32
2.4 Requisiti tecnologici	32
2.5 Possibili scenari	33

3.	Portale Web	35
3.1	Interfacciamento al DB.....	35
3.1.1	La classe DatabaseObject.....	35
3.2	Vista pubblica.....	37
3.2.1	Homepage.....	38
3.2.2	Singolo modello	38
3.2.3	Reference.....	39
3.2.4	Singola reference.....	39
3.2.5	Fase di login	40
3.2.6	Tabelle e classi impiegate	41
3.3	Funzioni per lo studente	44
3.3.1	Student Page	44
3.3.2	Profile Manager.....	45
3.3.3	Upload New OBJ	46
3.3.4	Funzione “save()”.....	47
3.3.5	Creazione degli AssetBundle	48
3.3.6	Opzioni aggiuntive alla pagina del singolo modello	48
3.4	Funzioni per il docente	49
3.4.1	References manager	50
3.4.2	Uploads manager.....	53
3.4.3	Categories Manager.....	53
3.4.4	Exercises Manager	54
3.4.5	Students Manager	57
3.5	Visualizzazione del portale web su dispositivi mobile.....	60
4.	Applicazioni mobile	61
4.1	ARViewer.....	61
4.1.1	Struttura dell’applicazione	61
4.1.2	Accesso al server.....	61
4.2	ARGame	65
5.	Valutazione dell’usabilità delle applicazioni AR.....	69
5.1	Handheld Augmented Reality Usability Scale	69
5.1.1	Questionario	70
6.	Sviluppi futuri	73
6.1	Dati di interesse	73
6.2	Espandibilità e trasportabilità del progetto	74

Ringraziamenti	77
Bibliografia.....	81

Introduzione

La Realtà Aumentata (AR) è un campo della tecnologia che presenta un numero sempre maggiore di applicazioni. Tramite la possibilità di arricchire la vista di un utente dell'ambiente che lo circonda combinando la visualizzazione di una scena reale con informazioni virtuali la Realtà Aumentata mette a disposizione, per un ambito educativo, un'ampia gamma di opportunità che possono rendere il processo di apprendimento più efficace.

Ciò è possibile attraverso l'adozione di una nuova metodologia di insegnamento basata sull'esperienza: tale metodo si basa sul principio in base al quale l'apprendimento di nuovi concetti è possibile mediante l'esperienza più diretta possibile con la realtà che si sta analizzando, in contrapposizione al modello classico di insegnamento basato sul nozionismo astratto che tuttora viene applicato, nel quale è necessaria l'interpretazione di simboli e testi, richiedendo dunque uno sforzo notevole di ricostruzione da parte della mente.

Nel campo delle nuove metodologie didattiche che sfruttano l'AR, l'esperienza vissuta può essere intesa come un tentativo di far convivere nello stesso ambiente gli studenti e gli oggetti di studio, dando nuove possibilità di coinvolgimento volte ad una partecipazione più efficace e costruttiva. Come si potrà osservare nei capitoli successivi, spesso tali metodologie sono arricchite da meccaniche ereditate da contesti di natura ludica, dando luogo a metodi didattici facenti parte di una nuova categoria definita *Edutainment*.

L'obiettivo di questa tesi è dunque quello di analizzare quelli che sono stati i risultati ottenuti dai numerosi studi che sono stati effettuati nel campo della Realtà Aumentata applicata in contesti didattici e di progettare un sistema basato su queste tecnologie che sfrutti i dati precedentemente raccolti e che dia la possibilità di avere nuovi dati rappresentativi del contesto del Politecnico di Torino sui quali poter fare ulteriori analisi al fine di migliorare le esperienze didattiche offerte, partendo dall'insegnamento della Computer Grafica per poi estendere il campo anche ad altre discipline.

Per fare ciò, il punto di partenza è stato quello di approfondire il principio di funzionamento della Realtà Aumentata e i dispositivi che la impiegano. Essendo un nuovo media che si presta ad un notevole numero di applicazioni, una volta compreso il funzionamento, la fase successiva è stata quella di restringere il campo studiando diversi approcci applicati sperimentalmente nel campo della didattica. Tra i diversi esempi è stata data particolare attenzione a quegli studi che hanno portato alla realizzazione di un prototipo funzionante sul quale sono stati effettuati dei test su un campione rappresentativo degli utenti finali. L'assenza di un vero e proprio standard relativo alle interfacce che meglio si adattano alla fruizione di contenuti AR rende molto utile questa fase di studio preliminare: ciò ha infatti permesso di fare scelte più consapevoli per quello che sarà il progetto di questa tesi, in base ai risultati ottenuti nei casi di studio precedenti.

Non tutte le scelte effettuate in fase di progettazione si basano unicamente su progetti sviluppati in passato: questo perché è vero che questi ultimi possono dare informazioni utili su quali approcci possano risultare utili o meno, ma è anche vero che tali risultati sono vincolati ad un loro specifico contesto spaziale e temporale e, soprattutto, le esigenze alle quali rispondono sono, per ovvi motivi, diverse da quelle alle quali è necessario far fronte nel caso specifico di questa tesi. Dunque, se da una parte è importante studiare approcci pregressi, dall'altra è bene studiare anche il contesto di applicazione del progetto che si intende

sviluppare. Per *contesto* si intende sia l'ambiente fisico all'interno del quale avverranno le interazioni tra l'utente e il prodotto da realizzare sia gli stessi utenti con le loro esigenze specifiche, che poi si tradurranno in requisiti funzionali e tecnologici. Il contesto scelto è il corso di "Modello Virtuale e Rendering" del Corso di Laurea in Design e Comunicazione Visiva del Politecnico di Torino e gli studenti che seguono il corso rappresentano i potenziali utenti. L'obiettivo è che gli studenti eseguano un numero sempre maggiore di esercitazioni, e che quindi realizzino una quantità di modelli 3D tale da accrescere la loro consapevolezza della materia, al fine di ottenere voti più alti al termine del corso che hanno frequentato.

Il progetto finale ha, dunque, portato alla realizzazione di un portale web e due applicativi AR per dispositivi mobili. Il portale web si pone come primo obiettivo quello di permettere agli studenti di caricare su un server i modelli da loro realizzati. Questi modelli potranno essere dunque valutati in rapporto a dei riferimenti caricati dal docente ed eventualmente discussi all'interno del portale stesso. Questo prodotto è stato il primo dei tre ad essere realizzato, in quanto si lega in maniera diretta con il sistema di gestione delle informazioni relative all'intero progetto, la cui struttura è appunto quella del database. Il portale funge, quindi, da interfaccia tra il database e gli utenti (studenti e docente) i quali potranno godere di funzionalità di manipolazione delle informazioni a seconda del loro ruolo (in questo caso, "studente" o "docente") ed a seconda di quali informazioni intendono modificare.

Ad esempio, un docente potrà avere il controllo completo sui caricamenti dei riferimenti, dei caricamenti degli studenti e delle anagrafiche di questi ultimi, mentre uno studente sarà in grado di gestire solamente i caricamenti da lui effettuati.

Una volta realizzato in gran parte il portale web e il database ad esso associato è stato possibile realizzare le due applicazioni AR per dispositivi mobili: una che funge da visualizzatore di contenuti, ed un'altra tramite la quale testare le proprie conoscenze dei concetti spiegati a lezione tramite domande a risposta multipla. Entrambe queste applicazioni avevano la necessità di prelevare contenuti provenienti dal database e, nel caso della seconda applicazione, modificare parte di essi (infatti, il punteggio ottenuto alla fine delle esercitazioni dovrà essere inserito all'interno del database).

Il punto di forza di questo progetto è sicuramente sinergia tra il portale web e le applicazioni AR. Tutti i diversi contenuti sono sempre sincronizzati. Ad esempio, finito di rispondere alle domande i punteggi sono visibili sia sull'applicazione che sul portale; oppure, i contenuti caricati sul portale sono immediatamente riscontrabili nell'applicazione di visualizzazione AR.

Non meno importante, in fase di progettazione, è la fase di test dell'usabilità delle applicazioni AR: similmente a come fatto nelle fasi preliminari, è stata fatta una fase studio di eventuali approcci al fine di valutare correttamente l'usabilità, applicando successivamente il modello che risulta essere il più adatto alle esigenze di progetto: la Handheld Augmented Reality Usability Scale.

All'interno di questa tesi saranno quindi dettagliate tutte le varie fasi che hanno portato alla realizzazione del progetto, dall'analisi allo sviluppo del prototipo.

Nel primo capitolo verrà fatta un'analisi di quello che è lo stato dell'arte della Realtà Aumentata applicata all'insegnamento: dopo che saranno illustrati i principi di funzionamento di tale tecnologia e i supporti impiegati per essa verranno elencati una serie di casi nei quali essa è stata impiegata evidenziando i diversi ambiti d'applicazione ma ponendo l'enfasi su quelli che sono gli scopi didattici, mostrando i test effettuati sugli utenti ed i relativi risultati. Infine, si tornerà agli aspetti tecnici elencando le principali piattaforme tramite le quali è

possibile realizzare diversi progetti di Realtà Aumentata, evidenziando per ognuna gli aspetti positivi e negativi.

Una volta acquisite le conoscenze necessarie relative allo stato dell'arte della Realtà Aumentata è possibile passare all'analisi del contesto di applicazione del progetto che si andrà a realizzare, che sarà quindi oggetto del secondo capitolo. L'analisi dei contesti e, quindi, delle problematiche che sorgono all'interno essi, permetterà di definire i requisiti funzionali e tecnologici che rappresenteranno le fondamenta sulle quali basare l'intero progetto.

Allo sviluppo del progetto vero e proprio sono dedicati il terzo e il quarto capitolo. Verranno quindi approfonditi i processi che hanno portato alla realizzazione degli applicativi in Realtà Aumentata ponendo l'enfasi sull'organizzazione delle informazioni, le tecnologie impiegate e le funzionalità sviluppate.

Nel quinto capitolo saranno spiegate le dinamiche e i risultati della fase di test effettuato su un campione di studenti rappresentativo del target di riferimento definito nel secondo capitolo. I dati raccolti sia in fase di test che in fase di progettazione saranno discussi nel sesto capitolo, nel quale si trarranno le conclusioni finali e si ipotizzeranno possibili sviluppi futuri.

1. La Realtà Aumentata



Quando si parla di Realtà Aumentata (AR) si fa riferimento a un'esperienza nella quale la percezione sensoriale umana è arricchita da livelli di informazione che si sovrappongono alla realtà attraverso tecnologie digitali. Ciò che ne risulta è quindi una combinazione di immagini reali e immagini artificiali che coesistono nello stesso ambiente al fine, prevalentemente, di migliorare e approfondire la conoscenza del reale.

1.1 Funzionamento

Per il raggiungimento di tale esperienza visiva è necessario fare riferimento ad un insieme di componenti hardware e software che operano in due direzioni principali:

- Analisi dell'ambiente osservato;
- Creazione di un'ambiente tridimensionale inquadrata coerentemente con tale ambiente.

È fondamentale che le immagini sintetizzate sembrino non solo riconoscere, ma anche interagire, in una certa misura, col mondo reale. Diventa così indispensabile che entrambi i processi avvengano in tempo reale ed in maniera simbiotica, in modo da mantenere costante l'illusione di coesione tra reale e virtuale.

1.1.1 Analisi dell'ambiente

La combinazione di videocamere, sensori e processori per la parte hardware, e di algoritmi di elaborazione delle informazioni ricavate per la parte software (algoritmi di tracking),

permette di ricavare informazioni dall'ambiente osservato tramite il dispositivo di acquisizione. Le informazioni ricavate danno la possibilità, osservando una scena, di risalire a dei precisi riferimenti spaziali. Gli algoritmi di tracking sono necessari per la ricostruzione dei movimenti dell'osservatore nell'ambiente.

In generale a seconda delle informazioni elaborate si distinguono diversi tipi di tracking che si distinguono secondo il tipo attivo, passivo e ibrido [1]. Solo una parte di questi sistemi è però utilizzata nel campo della Realtà Aumentata [2]: come mostrato in Figura 1-1 le principali tecnologie impiegate sono basate sulla visione (vision-based), sull'analisi inerziale (inerzia-based), su informazioni satellitari (GPS) o sulla ricostruzione di ambienti (SLAM).

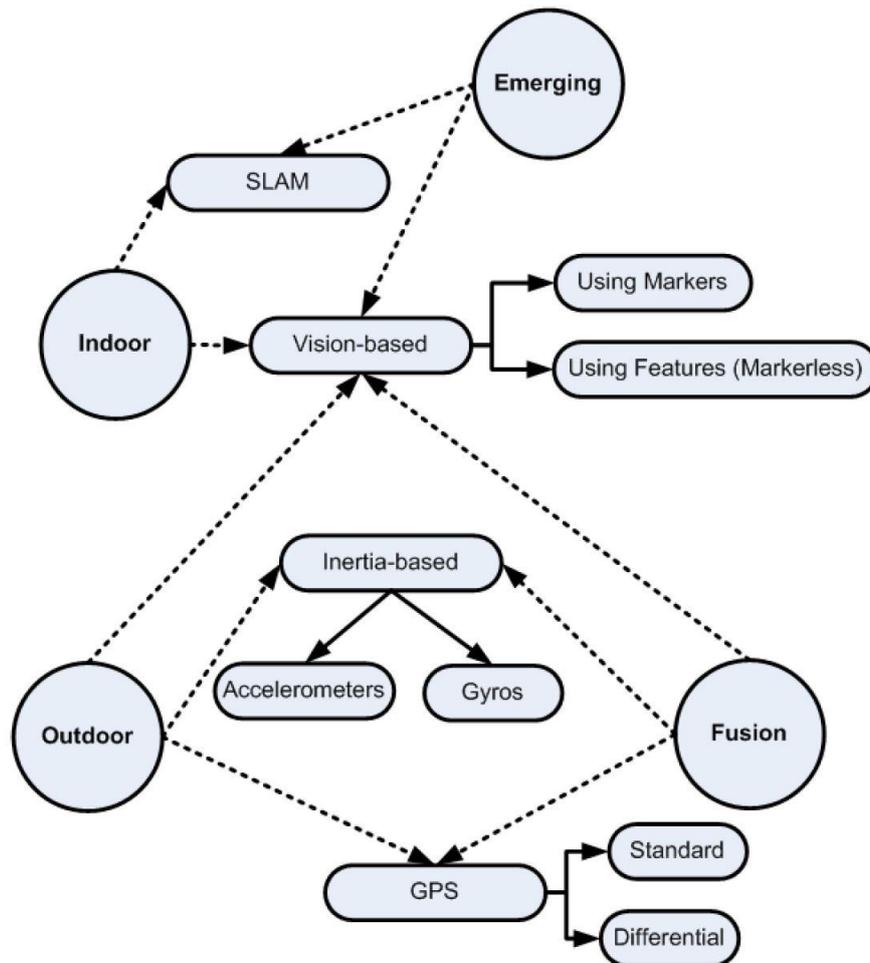


Figura 1-1 - Tecnologie di tracking usate in AR

La scelta di una tecnologia rispetto all'altra dipende molto dalla complessità del sistema che si vuole realizzare. Un grosso peso è associato alla scelta di definire se il sistema ha un approccio marker-based o marker-less: nel primo caso la camera ha la necessità di ricercare all'interno dell'ambiente un pattern ben definito (ad esempio un QRCode) all'interno dell'ambiente; nel secondo caso il sistema sfrutta le proprietà dell'ambiente stesso per calcolare la corretta posizione e il corretto orientamento della camera virtuale [3].

1.1.2 Creazione ambiente 3D

Come detto nel paragrafo precedente l'analisi dell'ambiente tramite sensori è utile per trovare dei punti di riferimento spaziali. Questi punti sono necessari perché da essi è possibile

ricavare dei punti geometrici che possono essere mappati all'interno di un sistema di coordinate globale (WCS) in modo da poter calcolare l'effettiva posizione della camera virtuale che andrà a coincidere con la posizione dell'osservatore reale.

Nel caso in cui si avrà a che fare con sistemi marker-based saranno mappati i punti relativi al marker predefinito, la cui conoscenza delle sue dimensioni risulta utile per calcolare la sua posizione assoluta; se il sistema è marker-less si baserà sulle posizioni relative delle proprietà dell'ambiente.

Una volta mappate tutte le coordinate, sarà possibile aggiungere degli oggetti 3D nella scena virtuale e quest'ultima sarà sovrapposta a quella reale (Figura 1-2), tale sovrapposizione, se fatta correttamente, renderà credibile il fatto che il nuovo oggetto faccia parte, in una certa misura, dell'ambiente reale osservato.

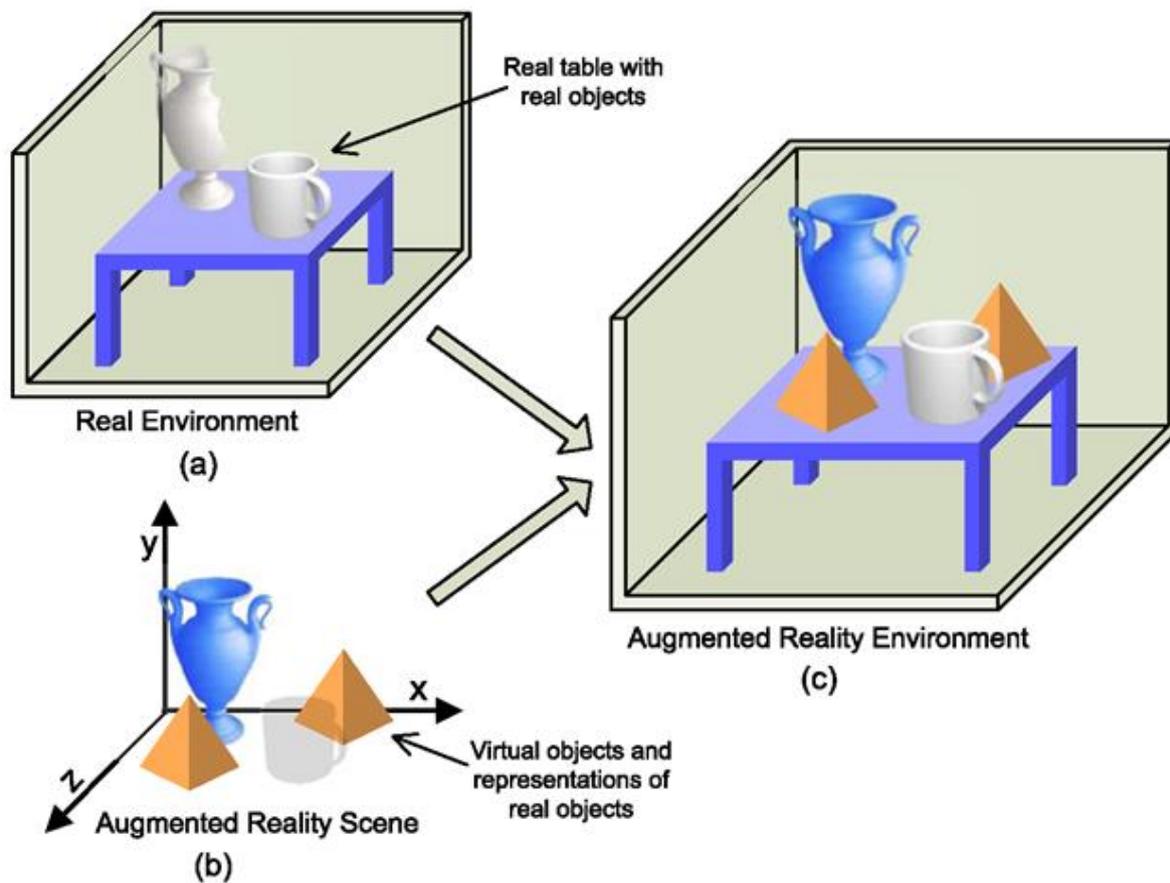


Figura 1-2 - Sovrapposizione di un ambiente virtuale su di un ambiente reale

1.2 Supporti per la visualizzazione

Fino a adesso si è parlato di come è possibile inserire degli oggetti virtuali all'interno di un ambiente reale, ma all'inizio del capitolo si è parlato di *esperienza*. La fruizione di tali contenuti riveste quindi un ruolo fondamentale e perciò sono diverse le modalità che sviluppatori e ricercatori hanno preso in considerazione [4].

1.2.1 Schermo

Un primo caso è quello in cui l'immagine creata viene rappresentata su un semplice schermo (Figura 1-3), una soluzione che spesso è impiegata quando l'intenzione è quella di

raggiungere il mercato consumer attraverso l'utilizzo di sistemi mobile: essi presentano infatti il vantaggio di essere accessibili e di disporre di un certo numero di sensori utili per le fasi di analisi delle immagini e di aggiornamento delle posizioni degli oggetti virtuali, spesso tali sistemi sono presentati come applicazioni installabili sui dispositivi supportati e utilizzano dei marker.

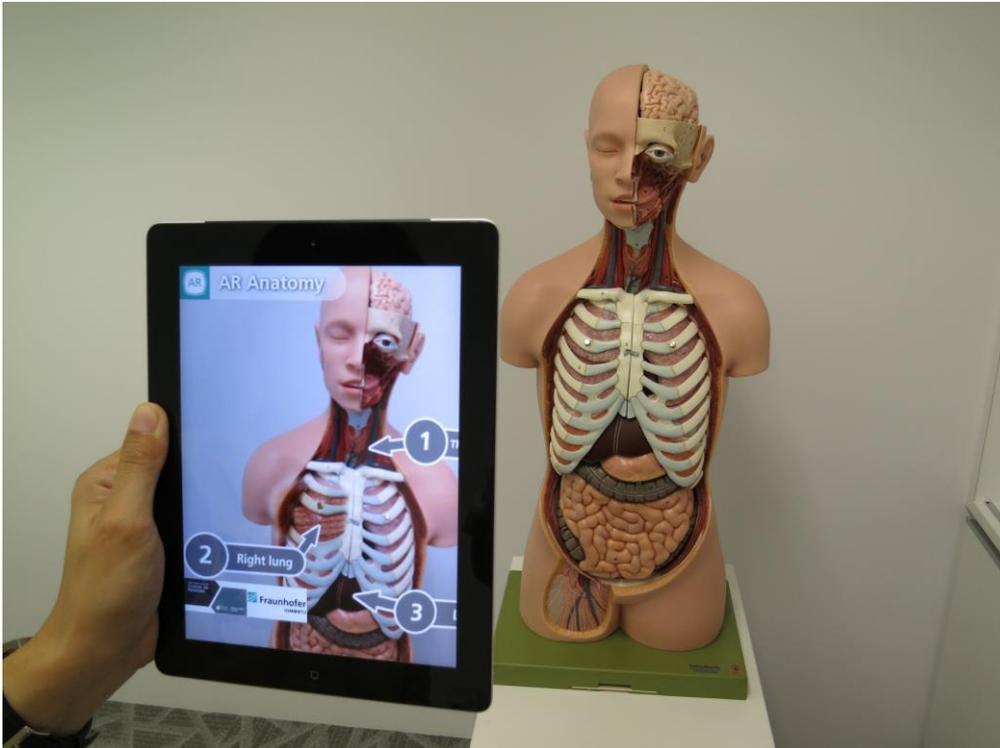


Figura 1-3 - Applicazione in Realtà Aumentata che utilizza lo schermo di un tablet

1.2.2 Visori

Un'alternativa è invece l'utilizzo di dispositivi ad hoc per l'AR come, appunto, dei **visori**, che frapongono tra l'osservatore e l'ambiente una superficie trasparente sulla quale vengono proiettati gli oggetti virtuali. In questo caso, tutta la componentistica è ottimizzata per questo scopo specifico, dal processore alla scheda grafica, dalla visualizzazione su lenti situate in prossimità dei bulbi oculari al sistema audio 3D. In questo caso è evidente che l'esperienza è nettamente più immersiva, anche perché non prevedono l'utilizzo di marker, ma sono in grado di analizzare l'intero ambiente.

L'attuale limite di tale soluzione, al momento, è che risulta meno accessibile rispetto alla soluzione precedente.

Sono quattro i visori (

Figura 1-4), progettati da altrettante aziende che operano nel mondo *tech*. Attualmente questi dispositivi non sono stati rilasciati sul mercato anche se sono già stati presentati e resi disponibili per l'utilizzo da parte di sviluppatori per partecipare attivamente al processo di miglioramento dell'esperienza utente e per sperimentare eventuali applicazioni.



Figura 1-4 - Partendo dall'alto a destra HoloLens di Microsoft, a sinistra Magic Leap One di Magic Leap, in basso a destra Vaunt di Intel, a sinistra Glass di X (divisione Alphabet)

Nonostante essi condividano la loro natura di visore, i rispettivi concept vanno a intervenire su diversi segmenti di mercato: Microsoft intende, attraverso HoloLens, creare un'estensione del sistema operativo Windows che sfrutti la realtà aumentata per una diversa fruizione di contenuti [5]; Magic Leap ha sviluppato il loro dispositivo per aiutare i creativi digitali a cambiare il modo in cui si fa esperienza del mondo, attraverso la realtà aumentata [6]; con il progetto Vaunt Intel ha intenzione di arricchire la quotidianità degli utenti tramite un'interfaccia semplice e minimale [7]; infine X (divisione sperimentale di Alphabet di cui Google fa parte) punta con Glass al mercato enterprise, a supporto di aziende in campi come quello manifatturiero, automotive, medico e logistico [8].

1.2.3 Proiettori

Esiste inoltre un ulteriore metodo di fruizione di contenuti in Realtà Aumentata che permette di visualizzare contenuti virtuali tramite l'utilizzo di **proiettori**. In questo caso non vi è un filtro tra l'utente e l'ambiente, in quanto gli elementi sono proiettati nell'ambiente stesso senza tenere conto della posizione dell'osservatore.

La dinamica degli elementi è in questo caso fortemente vincolata ai cambiamenti di stato dell'ambiente e, ovviamente, risulta essere più adatto ad attribuire caratteristiche pittoriche dinamiche ad elementi reali piuttosto che applicare nell'ambiente oggetti 3D, dato che la proiezione rende impossibile la rappresentazione di volumi. Un esempio interessante è sicuramente un'applicazione in campo educativo chiamata "Shaping Watersheds" [9], che consiste nella rappresentazione di diversi livelli di terreno usando come riferimento un contenitore pieno di sabbia. Il sistema rileva informazioni sui livelli di quota della sabbia lungo tutta la sua area e, come si vede in Figura 1-5 rappresenta tramite diverse colorazioni i diversi livelli in maniera dinamica: modificando la distribuzione della sabbia automaticamente verrà aggiornata la rappresentazione.

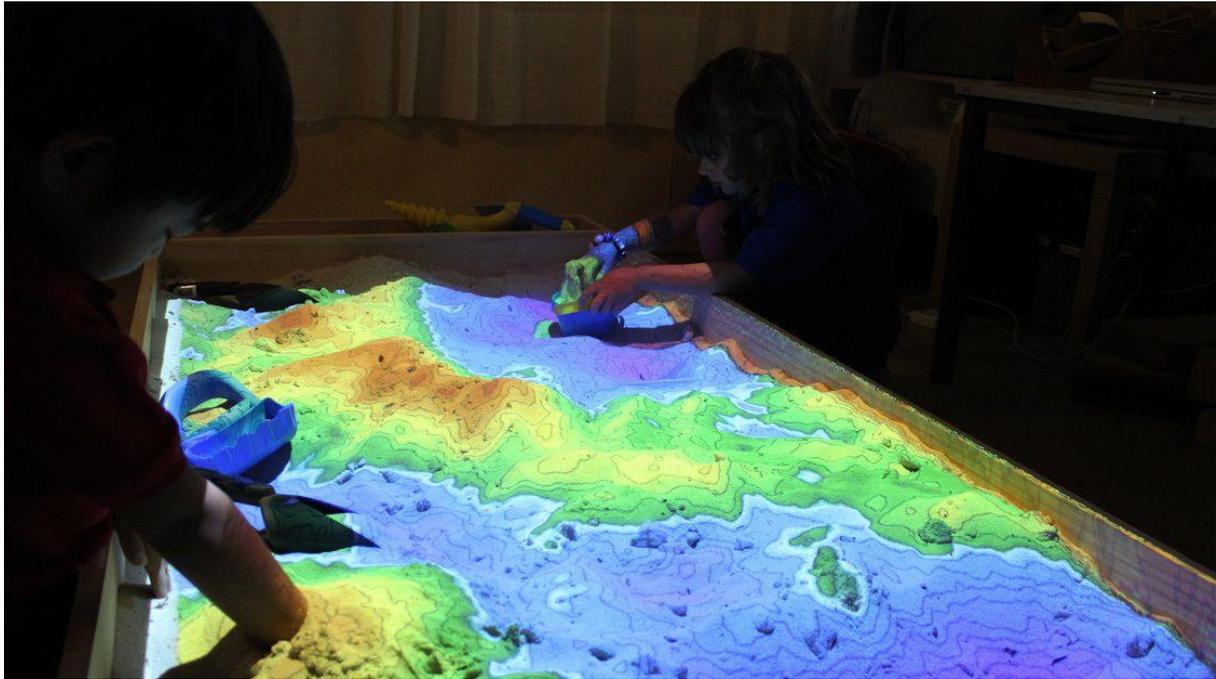


Figura 1-5 - Shaping Watersheds

Anche l'MIT ha sperimentato una possibile applicazione della realtà aumentata proiettata attraverso il progetto LuminAR [10] che monta un proiettore e dei sensori ottici e di movimento su un braccio robotico simile ad una lampada da scrivania. Le immagini, proiettate sul tavolo variano a seconda degli altri oggetti presenti in esso: ad esempio, sfogliando una determinata rivista, il sistema provvederà a proiettare contenuti aggiuntivi come video e approfondimenti.

1.3 Ambiti d'utilizzo

Sono diversi i contesti reali possono dare vita a esperienze di Realtà Aumentata. A seconda dei contesti sono state individuate tre principali attività possibili grazie alla Realtà Aumentata:

- Intrattenimento
- Indagine e valutazione
- Formazione

Questa tecnologia è dunque applicabile a innumerevoli situazioni e agli ambiti più svariati, soprattutto nel momento in cui è necessario ricreare circostanze reali che, nella realtà, potrebbero risultare pericolose o impossibili da realizzare: ciò che cattura maggiormente l'attenzione, soprattutto da parte di potenziali investitori, è appunto l'abbattimento di costi che questo sistema è in grado di mettere in atto attraverso la sostituzione di elementi reali con oggetti virtuali o attraverso una formazione più coinvolgente.

Partendo da queste attività ci sono diversi contesti dove la Realtà Aumentata ha riscosso particolare interesse e visibilità.

1.3.1 Videogames e intrattenimento

Nella parte relativa alla discussione del principio di funzionamento della tecnologia AR si è parlato di creazione e animazione di oggetti tridimensionali aggiornati in tempo reale. Questo flusso di lavoro porta direttamente a pensare ad un altro contesto nel quale sono presenti tali caratteristiche: il contesto videoludico.

La possibilità di far comunicare reale e virtuale ha aperto la strada a nuove forme di intrattenimento in cui il giocatore può sentirsi maggiormente coinvolto. Coinvolgimento che si presenta maggiormente in giochi che prevedono una componente esplorativa dell'ambiente reale in cui vivono, esplorazione che porta a scoprire elementi nuovi che la Realtà Aumentata può rivelare. Il primo più importante esempio è sicuramente *ARQuake* [11], il quale ha dato seguito a diverse applicazioni che presentano altrettanti diversi approcci. La maggior parte di essi sfrutta un supporto mobile, scelta spesso dovuta all'intenzione di abbracciare un pubblico più ampio. A seguire alcuni esempi:

Pokémon Go (Figura 1-6), sviluppato da Niantic in partnership con Nintendo, assegna all'utente un avatar inserito in una mappa. Questo avatar cambia posizione mentre si cammina, corre o ci si muove. L'applicazione spinge a visitare luoghi reali dove è possibile ottenere elementi utili per i vari obiettivi proposti. Sicuramente uno dei giochi in AR più utilizzati perché combina l'immersività della tecnologia impiegata con la possibilità di competere con altri giocatori.

King's Pool, permette di trasformare un qualsiasi tavolo in un tavolo da biliardo. Tramite algoritmi di Object recognition è in grado di riconoscere oggetti piani ed agganciare ad essi un tavolo da biliardo virtuale attraverso il quale è possibile giocare da soli o contro altri giocatori, anche se non presenti lì fisicamente.

ARise, porta la realtà aumentata nell'ambito dei giochi platform. L'obiettivo è quello di permettere ad un personaggio protagonista di raggiungere un determinato punto della costruzione all'interno della quale si trova e che il giocatore può visualizzare per intero. In questo caso si fa leva sulla Realtà Aumentata per svelare modi di aggirare gli ostacoli che il personaggio troverà nel suo cammino.



Figura 1-6 - Pokémon Go

1.3.2 Previsualizzazione

Un'ambiente reale non è solo utile come area all'interno della quale visualizzare contenuti virtuali a scopo di intrattenimento, ma anche per previsualizzare un prodotto all'interno del suo contesto finale prima che il esso sia effettivamente realizzato o acquistato. A questo

proposito, all'inizio degli anni 2000 si è pensato ad applicazioni [12] che permettono un'opportuna valutazione di prodotti in base all'ambiente al quale sono destinati.

Esempi di applicazioni di questo tipo sono nel campo dell'architettura e dell'arredamento: si immagini a tal proposito un'ambiente come una stanza vuota, in essa è possibile tramite l'AR strutturare un insieme di elementi d'arredamento consoni alla sua destinazione d'uso, per un acquisto di materiali e prodotti più consapevole. In Figura 1-7 è possibile vedere un'applicazione consumer è già stata sviluppata da IKEA (IKEA Place) per smartphone, che consiste appunto nel posare virtualmente prodotti del suo catalogo all'interno dei propri ambienti in modo da valutarne meglio l'acquisto.



Figura 1-7 - IKEA Place

Altre applicazioni di previsualizzazione possono essere inoltre applicate in campo industriale e manifatturiero: utili per avere un'idea di ciò che sarà il prodotto finale e per scegliere in maniera più consapevole eventuali modifiche.

1.3.3 Supporto e manutenzione

La Realtà Aumentata risulta particolarmente efficace nel momento in cui è necessaria la visualizzazione di informazioni di supporto a ciò che si osserva. A seconda dei campi specifici di applicazione sono diversi i tipi di informazione che possono essere forniti.

Nel settore **militare** (settore che spesso ha dato il via a sperimentazioni che successivamente hanno avuto applicazioni anche in ambito civile) le tecnologie di Realtà Aumentata sono state impiegate principalmente per supportare i membri specializzati in determinati settori. Il settore principalmente coinvolto è stato quello dell'aviazione: grazie a sistemi come *Super Cockpit* [13] (e, partendo da esso, grazie a modelli successivi) i piloti hanno avuto un aiuto importante nel riconoscimento di determinati punti sul terreno durante il volo a bassa quota per l'acquisizione del bersaglio. A partire da questa prima applicazione sono stati sviluppati altri sistemi per ricreare lo stesso supporto ai soldati [14] e a coloro che si occupavano di manutenzione e riparazione di veicoli militari [15].

Quest'ultima applicazione è una delle prime che ha allargato il suo raggio d'applicazione, arrivando fino al settore civile, in particolare l'**ambito industriale**. È quindi possibile

considerare tra esse strutture all'interno delle quali si opera su macchinari complessi. L'intervento della realtà aumentata, come mostrato in Figura 1-8, sfrutta gli algoritmi di tracking per riconoscere determinati componenti del macchinario e dà maggiori informazioni su di essi. Inoltre, in base allo stato attuale di quest'ultimo, può suggerire ulteriori passi per eseguire una eventuale riparazione. Stanno sorgendo proprio in questi ultimi aziende che operano proprio nella fornitura di servizi di supporto di questo tipo come RE'FLEKT [16].

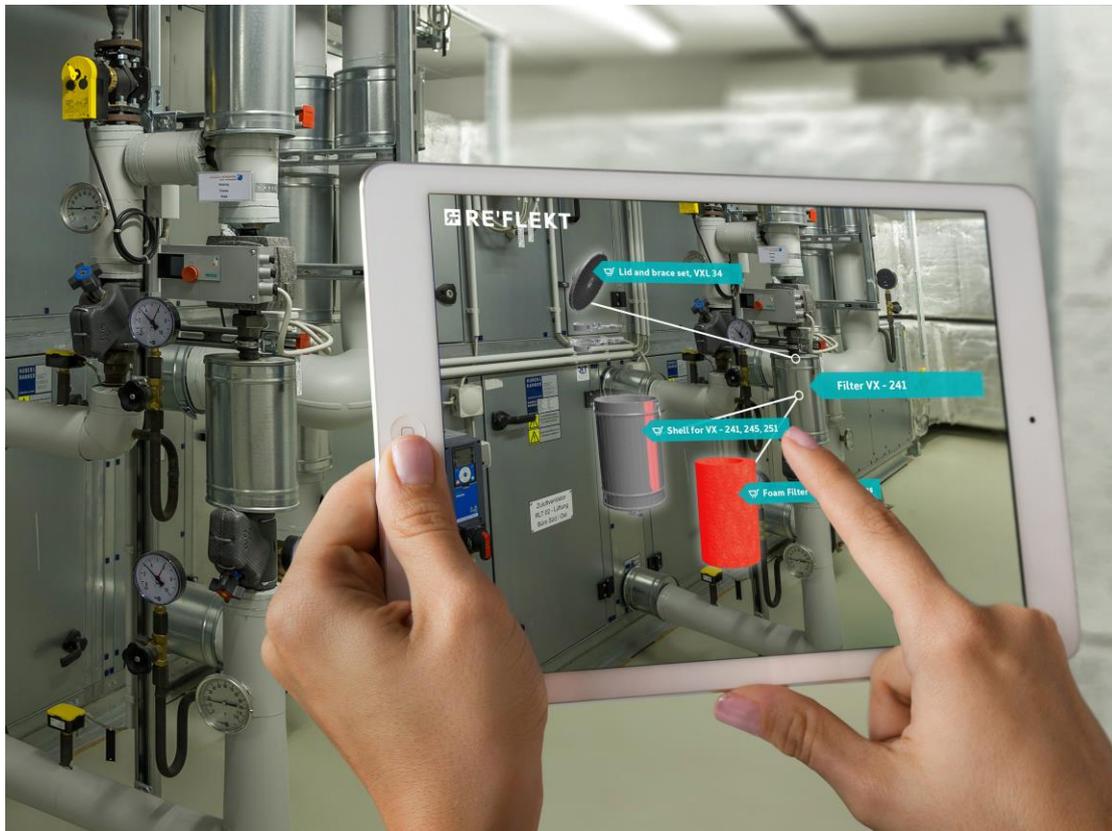


Figura 1-8 – Un esempio di applicazione di Realtà Aumentata in ambito industriale pensato dall'azienda RE'FLEKT

È importante notare che oltre alla manutenzione in sé, il supporto da parte di tecnologie AR non è solo utile nel caso di riparazioni e manutenzione, ma anche nel caso si voglia attuare un processo di ottimizzazione delle fasi di produzione [17].

Un altro settore che la Realtà Aumentata può supportare è sicuramente quello **medico**: sempre in un'ottica di supporto alla visualizzazione, fin dagli albori dell'AR si è pensato all'impiego di questa tecnologia per supportare il medico in attività di analisi e durante le operazioni [18]. Si pensi a tal proposito ad uno scenario in cui, osservando determinate parti anatomiche del paziente il sistema sovrapponga ad esse informazioni sui corrispondenti organi interni (Figura 1-9). Tali sistemi sono ancora poco diffusi, ciò è dovuto alla loro difficoltà realizzativa in quanto gli ambienti di applicazione non hanno una tale ampiezza da dare la possibilità ai sistemi di tracking di avere un'accurata percezione degli spazi [3]. In campo medico questi errori percettivi spesso non possono essere accettabili, soprattutto in contesti chirurgici dove errori dell'ordine dei millimetri possono avere un peso importante nella riuscita di determinate applicazioni.

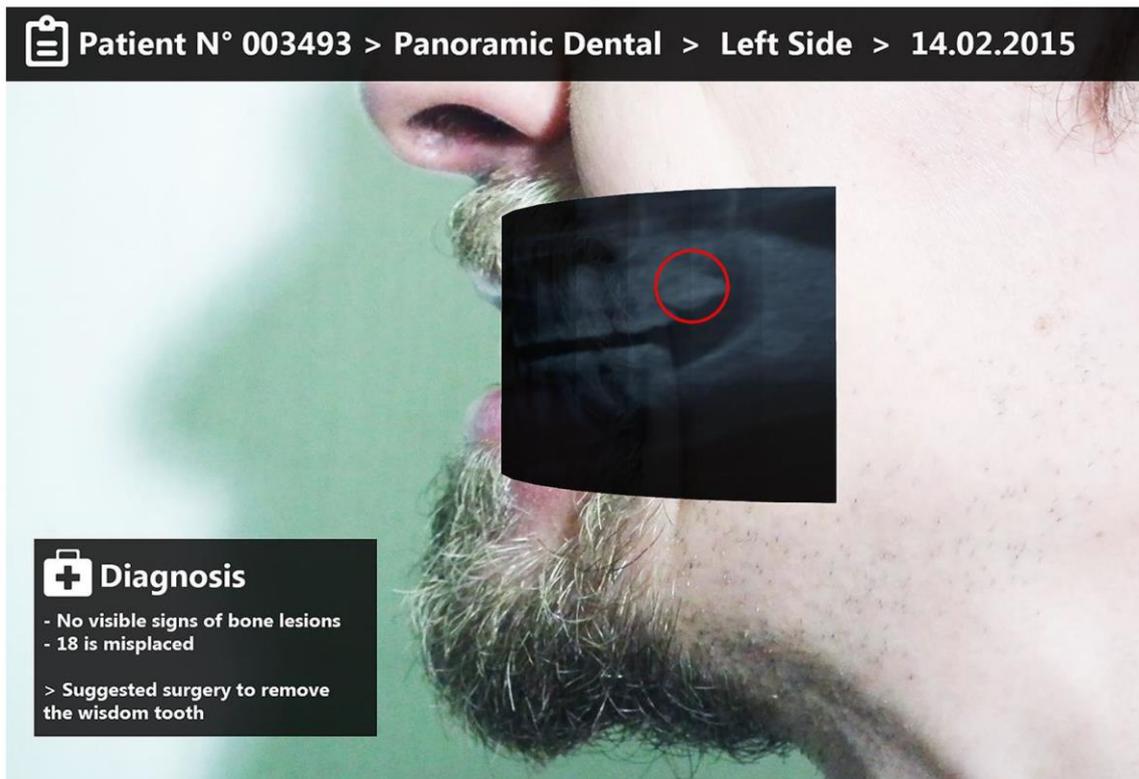


Figura 1-9 - Esempio di applicazione della Realtà Aumentata in campo odontoiatrico

1.3.4 Formazione ed Edutainment

Ciò che si è notato in maniera più evidente nell'impiego dell'AR è il forte senso di coinvolgimento provato dall'utente. Questo fatto ha spinto la ricerca educativa ad effettuare ulteriori indagini e a sperimentare nuove soluzioni nel campo della formazione che sfruttassero questa tecnologia. L'idea è di andare oltre quelli che sono i contenuti teorici inserendo gli studenti in contesti ricreati ad hoc e facendoli interagire con essi in modo da associare le informazioni teoriche ad attività sperimentali.

Così facendo l'*immersione* diventa un ingrediente riconosciuto come in grado di migliorare notevolmente l'efficacia dell'insegnamento e dell'apprendimento. Si parla quindi di *Edutainment*, cioè dell'insieme di tutti quei media realizzati con lo scopo di educare attraverso l'intrattenimento.

Si è già parlato di un esempio di Edutainment nel paragrafo 1.2.3, facendo riferimento a "Shaping Watersheds": esso è stato proprio concepito come uno strumento di supporto all'insegnamento delle scienze della terra. Gli studenti, soprattutto bambini, sono spinti dalla struttura stessa del sistema a modificare il territorio ricreato attraverso la sabbia, e, ad ogni cambiamento, cambia anche la rappresentazione delle varie quote attraverso l'uso del colore. La continua sperimentazione crea delle associazioni mentali forti che consolidano quanto appreso, raggiungendo così lo scopo educativo.

Se per "Shaping Watersheds" la complessità e la specificità della parte hardware rende difficile trasportare un tale approccio in materie differenti, soluzioni più semplici sono state sviluppate per aumentare il coinvolgimento degli studenti: soprattutto per illustrare concetti concreti la tecnologia della realtà aumentata ha reso possibile la realizzazione di libri che

mostrano oggetti tridimensionali, meglio noti come Magic Book (Figura 1-10), che ricreano virtualmente l'esperienza dei *pop-up book* con in più elementi come animazioni e suoni [19].



Figura 1-10 - Esempio di Magic Book

Questa soluzione ha un diretto impatto sul coinvolgimento degli studenti che hanno una minore necessità di astrarre i concetti spiegati e avere dei riferimenti visivi chiari su ciò che viene spiegato. Le principali applicazioni riguardano infatti materie come Storia, Geografia e Scienze naturali.

La grande forza della Realtà Aumentata è nella rappresentazione di oggetti virtuali nel mondo reale. Gli oggetti virtuali a loro volta sono spesso rappresentazioni semplificate di oggetti reali. Spesso si ha però la necessità di spiegare concetti astratti provenienti ad esempio da materie come fisica e matematica. Preservando la tecnologia la ricerca ha spinto lo sviluppo di nuovi modi di rappresentare l'informazione. Da una parte si pensa di usare forme tridimensionali astratte che in qualche modo riassumono un determinato concetto in una forma: ciò è stato dimostrato possibile ad esempio nell'ambito d'insegnamento di fenomeni elettromagnetici [20]. D'altra parte si è tentato di rivoluzionare questo approccio: come nel caso dello sviluppo di EPRA [21] con l'obiettivo di intervenire nel campo dell'insegnamento dell'informatica.

1.3.5 EPRA

Enseñando Programación Básica con Realidad Aumentada, sfrutta l'AR per accentuare la componente di intrattenimento realizzando un'applicazione web (Figura 1-11) che, sfruttando una semplice webcam, si pone l'obiettivo di insegnare agli studenti i principi della programmazione.

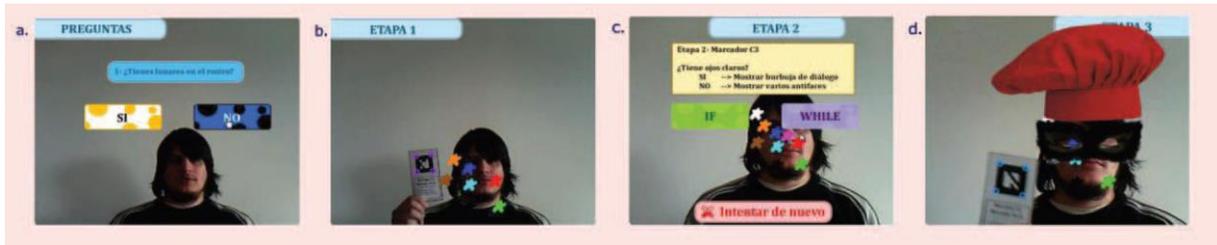


Figura 1-11 - Alcune schermate di EPRA

Attraverso EPRA è possibile effettuare tre tipi di attività, sviluppati per i costrutti IF, FOR e WHILE:

- Di esplorazione: attraverso le quali si scoprono i significati di determinati costrutti;
- Di comparazione: nelle quali si verificano le conoscenze acquisite attraverso il confronto di costrutti diversi;
- Di integrazione: nelle quali viene chiesto agli studenti di selezionare il costrutto corretto a seconda di una data situazione.

Il punto di forza di quest'applicazione, come è stato evidenziato anche dai risultati delle valutazioni, è stato sicuramente la scelta di utilizzare la Realtà Aumentata per motivare e stimolare gli studenti a esplorare i concetti proposti e mettersi in gioco attraverso un'interfaccia intuitiva e divertente.

1.4 AR Edutainment nella Computer Graphics

Nell'ambito di questa tesi particolare interesse è stato rivolto a sistemi di Edutainment volti all'insegnamento di concetti relativi alla Computer Graphics. A questo proposito sono stati oggetti di studio alcune applicazioni sperimentali che condividono questo stesso tema.

1.4.1 3DARModeler

Quest'applicazione [22], si pone come obiettivo quello di creare un'interfaccia di modellazione 3D basata prevalentemente sull'utilizzo di marker, ognuno dei quali viene riconosciuto dal sistema come uno specifico strumento. Utilizzando in sequenza diversi di questi maker (Figura 1-12) era quindi possibile visualizzare oggetti 3D e applicare su di essi semplici trasformazioni, deformazioni e modifiche alla texture.

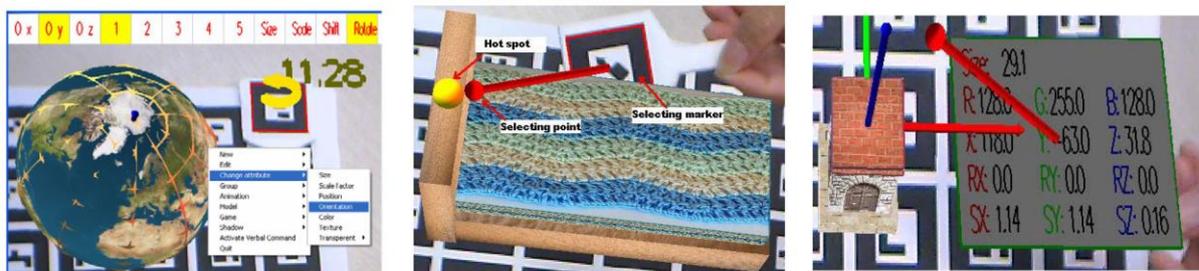


Figura 1-12 - Diverse schermate di 3DARModeler

L'oggetto di questa ricerca però non è stato solo quello di realizzare l'applicativo ma anche di effettuare delle analisi Figura 1-13 sulle sue possibilità d'utilizzo tramite dei potenziali utenti confrontando questo flusso di lavoro con quello di un altro applicativo già presente in commercio: 3DStudioMax, sviluppato da Autodesk. Tra i partecipanti erano presenti sia persone che non conoscevano quest'ultimo, sia persone che avevano di esso una conoscenza base.

I risultati riportano che 3DARModeler prevale 3DStudioMax in termini di usabilità, evidenziando quanto questo strumento possa essere una scelta interessante per imparare i concetti fondamentali della modellazione 3D, ma anche la realizzazione di modelli semplici e per la prototipazione. L'applicazione AR però presenta il grosso limite di risultare non adatto nel momento in cui si decide di realizzare modelli di complessità di poco superiori a quelle delle primitive.

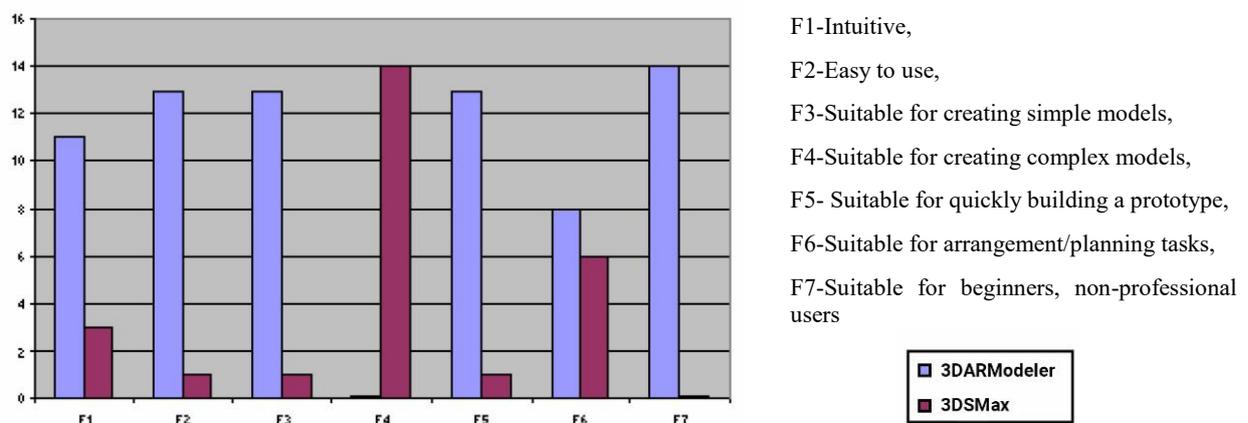


Figura 1-13 - Risultati del confronto tra 3DARModeler e 3DSMax

1.4.2 Authoring animations in an AR environment

Questo progetto, sviluppato da Manabu Eitsuka e Masahito Hirakawa [23], consiste in un'applicazione mobile (su sistema iOS) che permette di manipolare primitive 3D intervenendo direttamente all'interno della scena inquadrata con il dito (Figura 1-14).

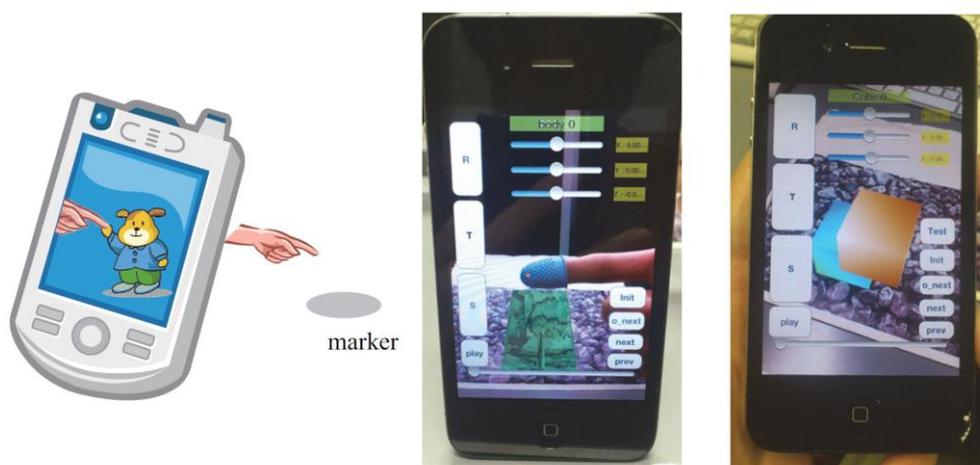


Figura 1-14 - A destra un Mockup dell'applicazione, al centro e a sinistra due schermate del prototipo sviluppato

Quest'ultimo, riconosciuto dal sistema, farà quindi parte dell'ambiente 3D ricreato dalla tecnologia AR e potrà interagire con gli oggetti virtuali posizionati.

Anche in questo caso la valutazione di questa applicazione è stata fatta attraverso la sperimentazione pratica di diversi utenti. A questi è stato chiesto di fare tre operazioni su un cubo già presente nella scena: traslazione, rotazione, scalamento. Successivamente è stato chiesto agli utenti di fare le stesse operazioni tramite il modellatore 3D Blender.

I parametri di valutazione di questi due applicativi sono stati la facilità d'uso, quanto il sistema fosse intuitivo, la qualità dell'interfaccia utente e come il sistema rispondeva alle azioni dell'utente.

I risultati mostrati in Figura 1-15 danno in leggero vantaggio il sistema proposto rispetto a Blender, con l'unica eccezione per quanto riguarda la reattività del sistema, principalmente dovuta alla qualità del riconoscimento del dito da parte del sistema.

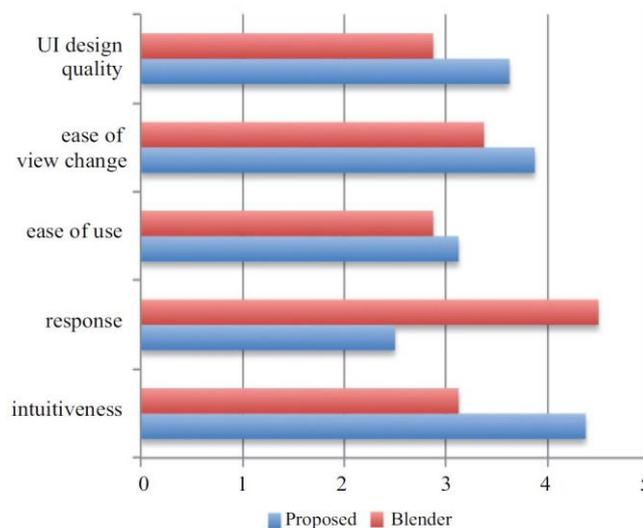


Figura 1-15 - Risultati del confronto tra il sistema proposto e Blender

1.4.3 POL+AR

L'obiettivo di questo progetto, sviluppato nel 2014 da M. Tubio, F. de Paula [24], è quello di valutare l'impatto dell'introduzione di un'applicazione in AR in un contesto universitario, in particolare per la rappresentazione di terreni tramite modelli 3D. Ciò nasce dalla consapevolezza che queste rappresentazioni tridimensionali fossero utili ai fini dell'apprendimento di concetti che altrimenti avrebbero reso necessario un notevole sforzo di astrazione da parte degli studenti.

Per questo motivo la valutazione di un'applicazione AR che assolvesse questo compito è stata lasciata fare proprio a degli studenti di ingegneria, ai quali è stato chiesto di confrontare tre approcci di visualizzazione 3D:

- Tramite visualizzatore SketchUp;
- Tramite 3D pdf;
- Tramite la Realtà Aumentata (Figura 1-16).

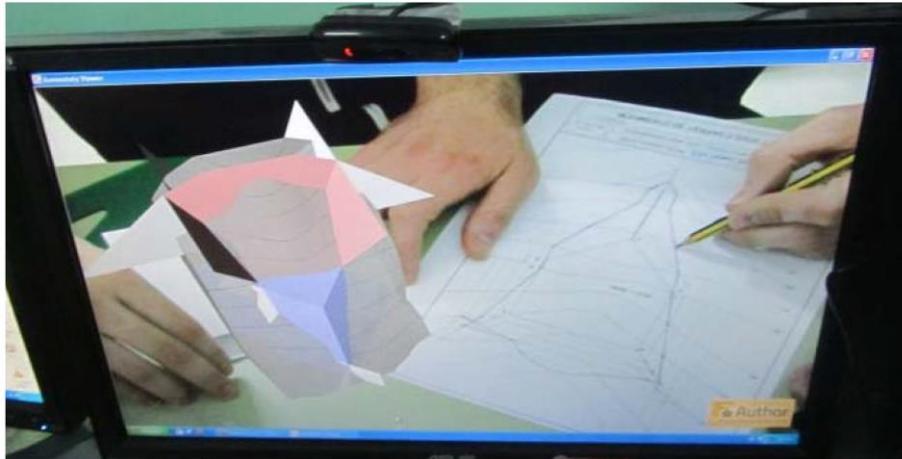


Figura 1-16 - Esempio di visualizzazione di terreni tramite POL+AR

Rispetto ai due casi d'uso analizzati precedentemente l'approccio tramite l'AR non è stato preferito rispetto alle altre metodologie di visualizzazione.

D'altro canto, dai risultati ottenuti (Figura 1-17) che la Realtà Aumentata porta sicuramente un beneficio al processo di apprendimento di concetti che necessitano di un'astrazione di questo tipo, e che la qualità dell'esperienza e l'usabilità del sistema sono principalmente legate alle caratteristiche delle tecnologie impiegate.

1.4.4 Modeling like LEGO

Questo use case, pubblicato nel 2015 da Jeff K.T. Tang, Tin-Yung Au Duong, Yui-Wang Ng, Hoi-Kit Luk [25], presenta delle caratteristiche simili a quelle viste nei primi due progetti. In esso si descrive infatti di un'applicazione (Figura 1-18) per smartphone attraverso la quale è possibile realizzare dei semplici modelli 3D.

USED TECHNOLOGY ASSESSMENT.

TECHNOLOGY USED	AR		3D PDF	
	Mean	SD	Mean	SD
1. GOOD APPEARANCE AND QUALITY.	3.25	0.97	4.33	0.52
2. STABLE. (NOT FREEZING).	2.42	1.00	3.33	1.37
3. NO FLICKERING.	2.42	1.16	3.33	1.37
4. QUICK. INSTANT.	3.00	1.04	3.17	1.17
5. EASY, COMFORTABLE, FAMILIAR.	3.67	1.23	4.33	0.52
6. THE SIZE WASN'T SUITABLE.	3.33	0.98	4.00	0.63
7. LEAVES MY HANDS FREE.	3.50	1.31	4.17	0.41
8. SHOWS VIEWS.	3.58	1.31	4.50	0.55
9. SEEMS USEFUL	3.92	0.51	4.17	0.41
TOTAL VALUES	3.23	0.28	3.92	0.25

Figura 1-17 - Valutazioni di POL+AR nella visualizzazione di contenuti in AR e tramite 3D PDF

Ciò che differenzia questo approccio dai precedenti è il flusso di lavoro e le operazioni possibili per raggiungere un determinato risultato. L'obiettivo dell'applicazione è infatti

quello di realizzare oggetti 3D mediante la composizione e la manipolazione di più primitive, concentrandosi maggiormente sulla manipolazione degli oggetti stessi piuttosto che sui loro vertici. Le primitive diventano quindi blocchi e gli oggetti realizzati sono insiemi di questi blocchi (da qui il riferimento ai LEGO).

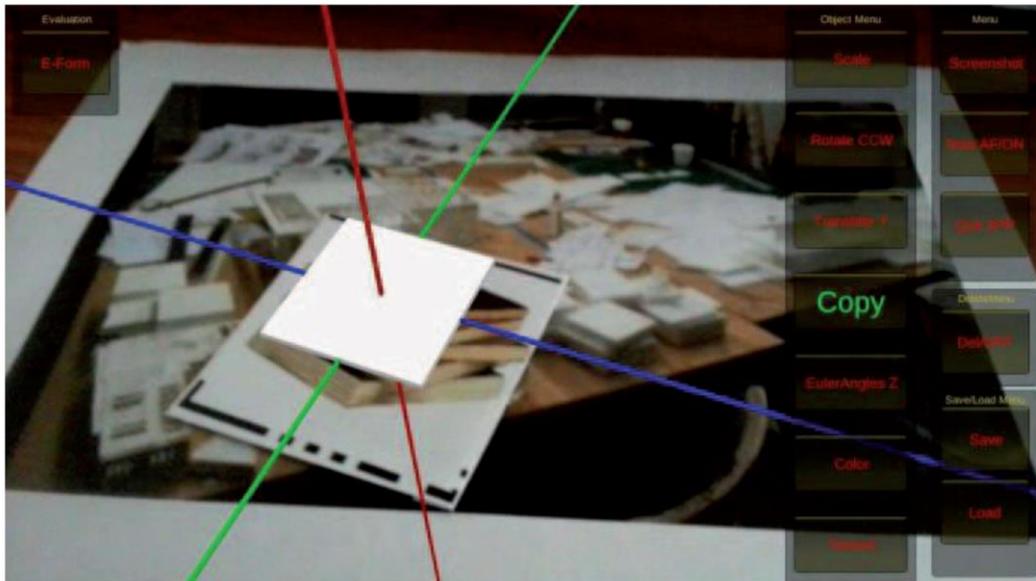


Figura 1-18 - Schermata dell'applicazione

Il confronto di quest'applicazione con un'altra simile su desktop (Figura 1-19) ha evidenziato che quest'approccio è sicuramente più intuitivo e dà proprio la sensazione di stare utilizzando dei veri blocchi LEGO. Le maggiori critiche sono legate principalmente all'aspetto tecnico e alla cura dell'applicazione in sé, come ad esempio l'interfaccia utente e la stabilità del marker che spesso influiva sul risultato finale di alcuni modelli.

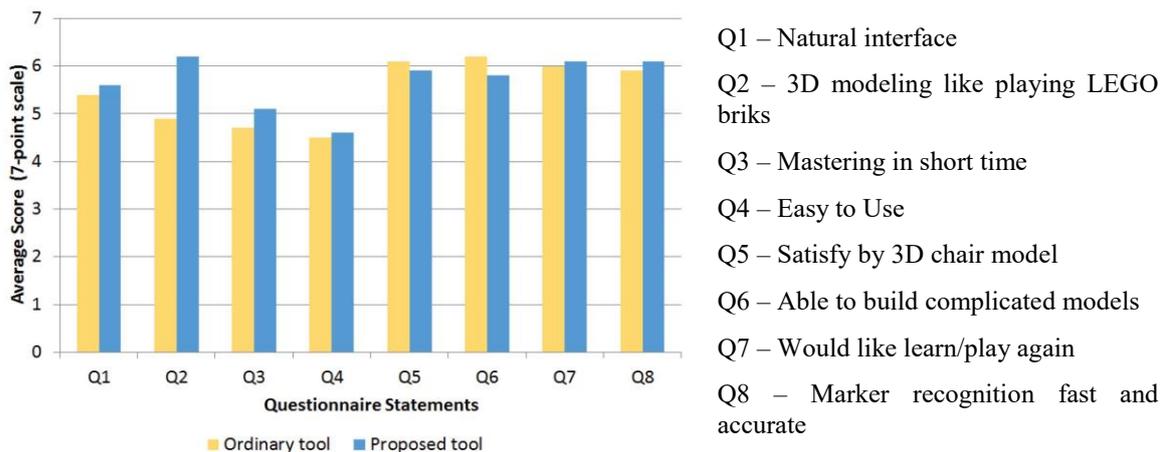


Figura 1-19 - Valutazione dell'applicazione in confronto ad un altro applicativo simile

1.5 SDK per la Realtà Aumentata

Nell'ambito dello sviluppo di progetti che prevedano l'utilizzo della Realtà Aumentata per studiarne le possibili applicazioni senza andare ad intervenire sugli algoritmi di computer vision che possono essere impiegati, è spesso utile utilizzare dei Software Development Kit che permettono di integrare funzionalità AR a tali progetti semplicemente sfruttando apposite funzionalità già sviluppate, e dunque semplificando processi come AR recognition, AR tracking e AR content rendering.

Attualmente sono presenti sul mercato numerosi framework che mettono a disposizione funzionalità relative alla realtà aumentata: alcuni sotto forma di sistemi di gestione dei contenuti, altri sotto forma di applicazioni end-to-end oppure (questi in maggior numero) sotto forma di librerie software. Tra tutte queste soluzioni possibili sono presenti sia piattaforme open source che proprietarie.

Uno studio, effettuato nel 2017 da Fabrício Herpich, Renan Luigi Martins Guarese e Liane Margarida Rockenbach Tarouco [26], prende in esame undici di questi strumenti, basando la scelta su indagini condotte nell'attuale scenario d'utilizzo della Realtà Aumentata, ponendo l'attenzione sui framework più utilizzati e più apprezzati in ambito di ricerca.

1.5.1 SDK analizzati

- ARToolKit: attualmente considerato uno dei framework più utilizzati per lo sviluppo di applicazioni AR, è uno strumento open source, costantemente aggiornato; offre una serie di funzionalità di tracking planare, tracking tramite informazioni geolocalizzate e supporto di target multipli; e permette, inoltre, l'esportazione su altre piattaforme [27].
- Augment: consiste in un visualizzatore di contenuti in Realtà Aumentata, composto da applicazioni per dispositivi mobile ed una piattaforma web, nella quale gli utenti possono registrare i loro marker personalizzati ed associarli a modelli virtuali 3D. Esso infatti offre funzionalità di tracking planare e tracking via cloud storage [28].
- Aurasma: un visualizzatore di contenuti in Realtà Aumentata, Aurasma mette a disposizione un'applicazione mobile ed una piattaforma web attraverso la quale gli utenti possono arricchire oggetti, immagini e ambienti di contenuti grafici, animazioni, video, audio e modelli 3D. Questa piattaforma offre funzionalità di tracking di figure planari, di oggetti geolocalizzati e tramite cloud storage [29].
- BlippAR: è un visualizzatore di contenuti in Realtà Aumentata che offre un'applicazione per smartphone proprietaria ed una piattaforma web attraverso la quale gli utenti possono registrare i propri marker ed agganciarli a diversi oggetti virtuali. BlippAR permette all'utente di effettuare un tracking di target planari attraverso tecnologie cloud. Inoltre questo framework mette a disposizione un modulo di computer vision con algoritmi di intelligenza artificiale e deep learning che conferiscono all'applicazione la capacità di riconoscere oggetti che non sono stati registrati dall'utente come marker [30].
- CraftAR: similmente agli altri framework visti in precedenza, è un visualizzatore di contenuti in Realtà Aumentata che offre un'applicazione mobile ed una piattaforma web tramite la quale gli utenti possono registrare dei loro personali marker ed associare loro dei contenuti 3D, immagini, audio o video. Mette anche a disposizione un SDK supportato da molte piattaforme che rende possibile agli utenti lo sviluppo di proprie applicazioni, che sfruttano tracking di oggetti planari e cloud tracking [31].

- EasyAR: framework a supporto dello sviluppo di applicazioni in AR, include una piattaforma web tramite la quale gli utenti possono registrar i loro progetti e ottenere licenze necessarie per rilasciare e testare le loro applicazioni. Offre funzionalità di tracking multiplo di target planari [32].
- Kudan: framework utile per lo sviluppo di applicazioni in realtà aumentata, offre un SDK che rende possibile l'esportazione per molte altre piattaforme. Sono inoltre inclusi esempi pratici, una fornita documentazione ed un forum di supporto. Offre funzionalità di tracking di target planari e tracking markerless tramite SLAM [33].
- LayAR: browser in Realtà Aumentata, consiste in un'applicazione mobile ed una piattaforma web gestionale nella quale gli utenti possono definire e personalizzare target planari e geolocalizzati ed associare loro contenuto informativo come testo, URL audio e video [34].
- PixLive: classificato come un visualizzatore di contenuti in AR, offre un'applicazione mobile ed una piattaforma web dove gli utenti gli utenti possono definire propri target planari e geolocalizzati. Anche in questo caso è possibile associare ad essi contenuti come immagini, audio, video e contenuti 3D [35].
- Vuforia: uno dei framework per la Realtà Aumentata più utilizzato, mette a disposizione un SDK per diverse piattaforme di sviluppo. È inoltre possibile accedere ad un portale web dove gli utenti possono creare e gestire i loro marker e ottenere le licenze richieste per testare e pubblicare le loro applicazioni. Le funzionalità offerte sono il tracking di target planari, geolocalizzati, multipli, testi e oggetti 3D, a queste si aggiungono la possibilità tracking via cloud e tracking markerless attraverso due strumenti proprietari: Extended tracking smart Terrain [36].
- Wikitude: consiste in un visualizzatore di contenuti 3D che fornisce all'utente un'applicazione mobile ed una piattaforma web gestionale, nella quale gli utenti possono creare i loro marker personalizzati ed associare loro contenuti multimediali come modelli 3D, immagini, audio e video. Inoltre offre un SDK disponibile per diverse piattaforme al fine di sviluppare applicazioni che sfruttano funzionalità di tracking offerte da Wikitude. Tali funzionalità sono il tracking di target planari, target multipli, oggetti 3D, target geolocalizzati e tracking markerless tramite SLAM [37].

La differenza tra le varie alternative sta non solo nella qualità con cui viene fatto il tracking e nella stabilità del marker nella scena una volta riconosciuto, ma anche (e soprattutto) nel numero di funzionalità offerte e del livello di personalizzazione dell'esperienza che si può sviluppare tramite essi.

Secondo questi parametri è stato quindi possibile effettuare una valutazione tutte queste alternative, premiando le soluzioni software che offrono un maggior grado di libertà sui contenuti che possono essere sviluppati, i cui risultati sono mostrati in Figura 1-20.

Vuforia e Wikitude risultano essere le piattaforme che offrono il maggior numero di funzionalità: non è un caso che questi due frameworks non quelli maggiormente impiegati da sviluppatori software; al contrario di altri come Aurasma o EasyAR che offrono meno funzionalità ma sono più facili da utilizzare da utenti che non dispongono di conoscenze in ambito di programmazione.

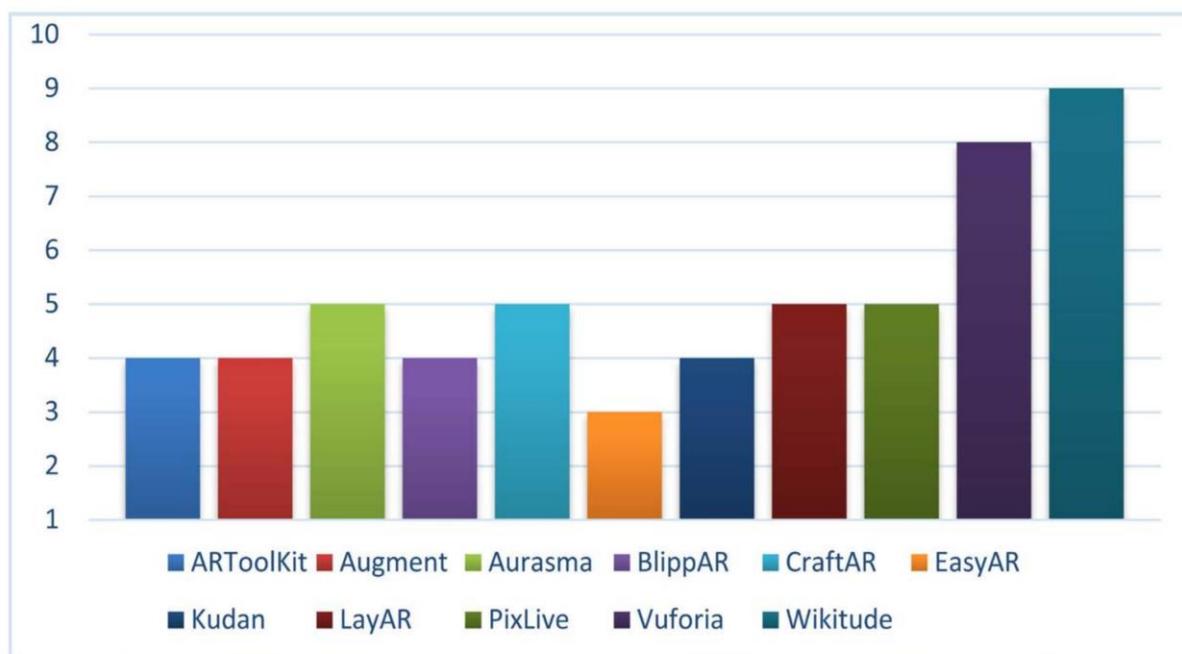


Figura 1-20 - Valutazioni dei principali framework per la realizzazione di contenuti in AR

Esistono inoltre due frameworks che, pur non essendo stati oggetto dell'analisi dello studio di cui sopra, hanno recentemente riscosso particolare interesse per gli importanti risultati che sembrerebbero in grado di raggiungere.

- ARKit: utilizzabile su dispositivi Apple che supportano iOS 11 o superiore;
- ARCore: sviluppato da Google, è il risultato dei progressi dovuti alle sperimentazioni fatte tramite Project Tango.

Sono entrambi SDK sviluppati ponendo particolare enfasi al tracking markerless, rappresentando, in questo specifico ambito, lo stato dell'arte di questa tecnologia.

Questi due frameworks sono ancora oggetto di sperimentazioni da parte di diversi programmatori nel mondo per studiare quali possano essere le possibili aree di sviluppo, difatto ARCore è ancora in versione beta, mentre ARKit ha già una prima implementazione nell'applicativo per IKEA discusso nel paragrafo 1.3.2.

2. Progettazione e sviluppo del progetto

Il progetto sviluppato per questa tesi è stato concepito come la naturale prosecuzione di un'analisi presentata in sede di tesi al Politecnico di Torino nella sessione di Settembre 2017 [38], nella quale, a seguito di un'approfondita analisi delle possibili applicazioni della Realtà Aumentata, viene posta l'attenzione sulle possibilità che questa tecnologia ha da offrire nel campo della formazione, ipotizzando e sviluppando un prototipo di un'applicazione pratica da integrare nel corso di modellazione 3D "Modello Virtuale e Rendering" del Corso di Laurea in Design e Comunicazione Visiva del Politecnico di Torino. Un'applicazione tale da sfruttare i concetti di Edutainment e di Realtà Aumentata al fine di rappresentare un modo per coinvolgere maggiormente gli studenti del corso.

Questa scelta è dovuta dalle caratteristiche di tale scenario, che si presta facilmente a test di verifica dei concetti analizzati e dalle proprietà della materia stessa, in quanto, per molti degli iscritti al corso, rappresenta il primo approccio alla modellazione 3D. Manipolare oggetti virtuali e muoversi all'interno dell'interfaccia grafica di un qualsiasi modellatore software sono operazioni che necessitano una rilevante quantità di tempo da dedicarvi, tempo che si va aggiungere a quello dedicato alle lezioni frontali in aula. L'esecuzione di esercizi a casa diventa quindi fondamentale per assimilare al meglio i concetti appresi e per acquisire le abilità necessarie per eseguire le varie operazioni che saranno indicatori della padronanza degli strumenti in sede d'esame.

In questa tesi il progetto sviluppato sfrutta, dunque, i concetti emersi dalle analisi effettuate, sfruttandole per realizzare un sistema dinamico utile per effettuare dei primi test.

2.1 *Analisi dei requisiti*

Le caratteristiche del prodotto risultante da questo progetto sono frutto dell'analisi del contesto all'interno del quale verrà impiegato e dei potenziali utenti che lo utilizzeranno. Ciò è necessario per avere dei riferimenti concreti e misurabili sulle quali basare le scelte di progetto che altrimenti, basandosi sul solo studio di un contesto generale ed astratto, sarebbero state prive di fondamenta solide.

2.1.1 Contesto di applicazione

Analizzando il processo di apprendimento da parte degli studenti del corso preso in esame è parso subito evidente come questo avesse luogo in due precisi contesti (Figura 2-1): a lezione e a casa.

A lezione avviene quasi per tutti gli studenti il primo vero approccio alla modellazione 3D. In questo contesto il docente spiega in laboratorio ad un gruppo di circa sessanta-ottanta studenti i vari concetti del corso tramite lezioni frontali con l'ausilio di uno schermo che mostra immagini del software utilizzato e dei vari passaggi che i ragazzi dovranno apprendere. Le problematiche principali sono principalmente legate alla presenza di diversi elementi presenti in laboratorio che possono attirare il focus dello studente, che si ritrova quindi con troppi canali d'informazione da cui attingere: elementi come il docente, gli appunti, le slide, il proprio computer, i libri, ecc.

A casa non vengono appresi concetti nuovi ma vengono consolidate le nozioni apprese a lezione, attraverso ripassi ed esercitazioni pratiche. Qui la problematica è molto più evidente in quanto la qualità dello studio, dei ripassi e delle esercitazioni svolte sono tutte responsabilità dello studente. All'interno di questo contesto sono diverse le situazioni emotive nelle quali lo studente si può trovare e che andranno inevitabilmente a incidere sul rendimento di quest'ultimo: non aver compreso appieno un concetto a lezione, non sapere come procedere all'esecuzione di un esercizio, non avere feedback immediati o una guida costante possono essere tutte situazioni che portano allo studente una condizione di frustrazione tale per cui può sentirsi sempre meno motivato ad eseguire una pratica quotidiana al di fuori delle lezioni.

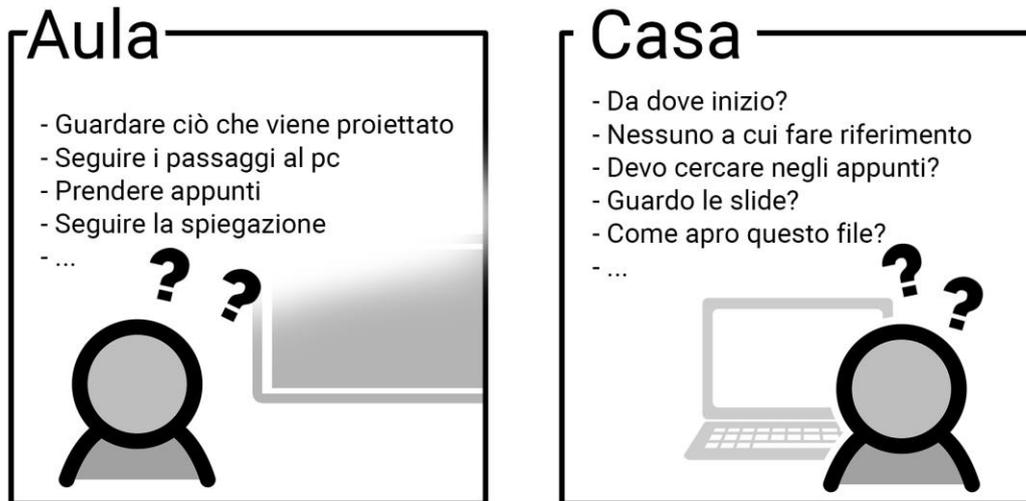


Figura 2-1 - Due rappresentazioni degli scenari d'apprendimento possibili, rispettivamente in aula (a destra) e a casa (a sinistra)

È evidente, quindi, che quest'ultimo è l'ambito di intervento più critico e sul quale è dunque meglio concentrare gli obiettivi di progetto. Soprattutto considerando che in sede di lezione gli studenti hanno comunque la possibilità di chiedere aiuto al docente per tutte le problematiche che possono presentarsi in fase di apprendimento o di esecuzione degli esercizi.

2.1.2 Target di riferimento

Grazie alla definizione del contesto di applicazione è stato possibile fare una prima selezione della tipologia di utenti ai quali si rivolgerà il prodotto. Si considerano infatti studenti universitari, con particolare riferimento ai frequentanti del corso Modello Virtuale e Rendering del corso di laurea in Design e Comunicazione Visiva. A queste caratteristiche va aggiunto che l'utente di riferimento ha delle conoscenze pregresse nel campo della modellazione 3D nulle o minime: tale caratteristica si evidenzia appunto perché le principali lacune che alcuni studenti riportano fanno riferimento ad un'insufficiente pratica, necessaria per far crescere in loro l'esigenza di conoscere e far propri i concetti fondamentali che prescindono da software specifici. È bene fare presente che tale progetto non si limita a tale target di studenti ma si pone l'obiettivo di creare un metodo adattabile ad altre materie che possano trarne beneficio.

2.2 Obiettivi di progetto

Individuati target e contesto si passa allo studio dello scenario in cui lo studente è a casa a svolgere un determinato esercizio assegnato dal professore precedentemente a lezione.

A seguito di una fase di preparazione del materiale utile per la risoluzione dell'esercizio (installazione del software, preparazione degli appunti, ecc.) si procede con l'effettiva esecuzione dell'esercizio. Alla fine di questo processo nel quale lo studente si mette alla prova dimostrando quanto appreso, sono tre le possibili condizioni in cui egli ci si può ritrovare: esercizio completato, risoluzione incompleta, impossibilità a procedere per un errore inconsapevole. Lo schema in Figura 2-2 mostra il percorso tramite il quale si arriva a queste tre condizioni.

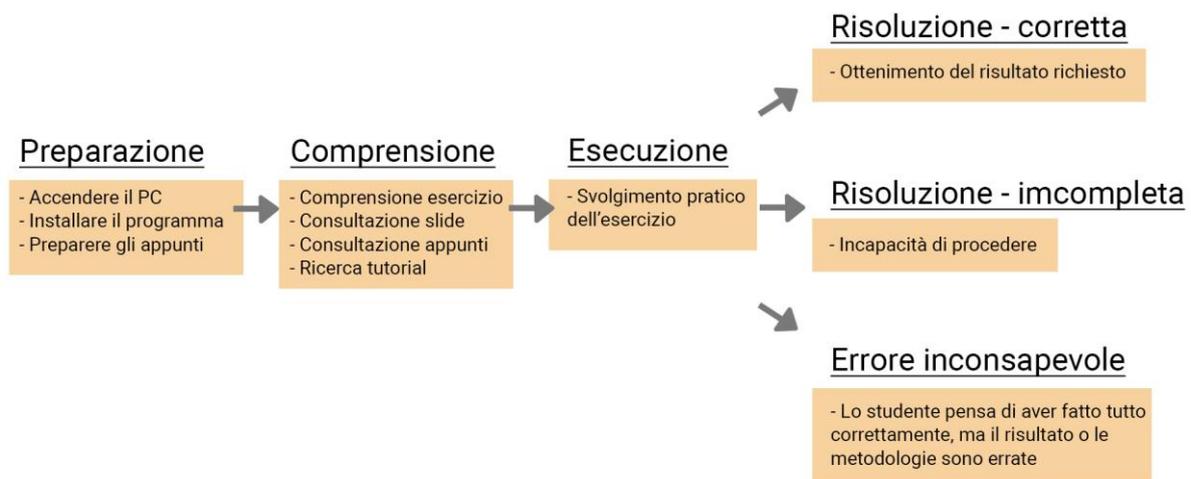


Figura 2-2 - Schema che illustra i possibili scenari che si possono verificare in fase di apprendimento a casa

A questo punto è evidente che l'intenzione da parte di chi progetta la piattaforma di supporto e quella di creare per lo studente una situazione che limiti le possibilità d'errore massimizzando le probabilità che egli giunga ad una situazione di esercizio completato senza errori e minimizzando le probabilità di stallo.

Ulteriori dettagli utili per una definizione più concreta degli obiettivi sono evidenziabili nel momento in cui si analizzano gli stati emotivi dello studente in conseguenza delle situazioni sopra citate.

Come mostrato in Figura 2-3 a seguito di un completamento dell'esercizio allo studente resta l'incertezza relativa al raggiungimento o meno dell'obiettivo preposto. Infatti, anche se si è giunti alla fine di tutti i passaggi necessari allo svolgimento dell'esercizio, il risultato potrebbe essere diverso da quello che il docente si aspetta, portando quindi a illudere lo studente di aver fatto tutto correttamente. In questo caso si rende necessaria la presenza di un feedback diretto che verifichi la qualità dell'oggetto realizzato.

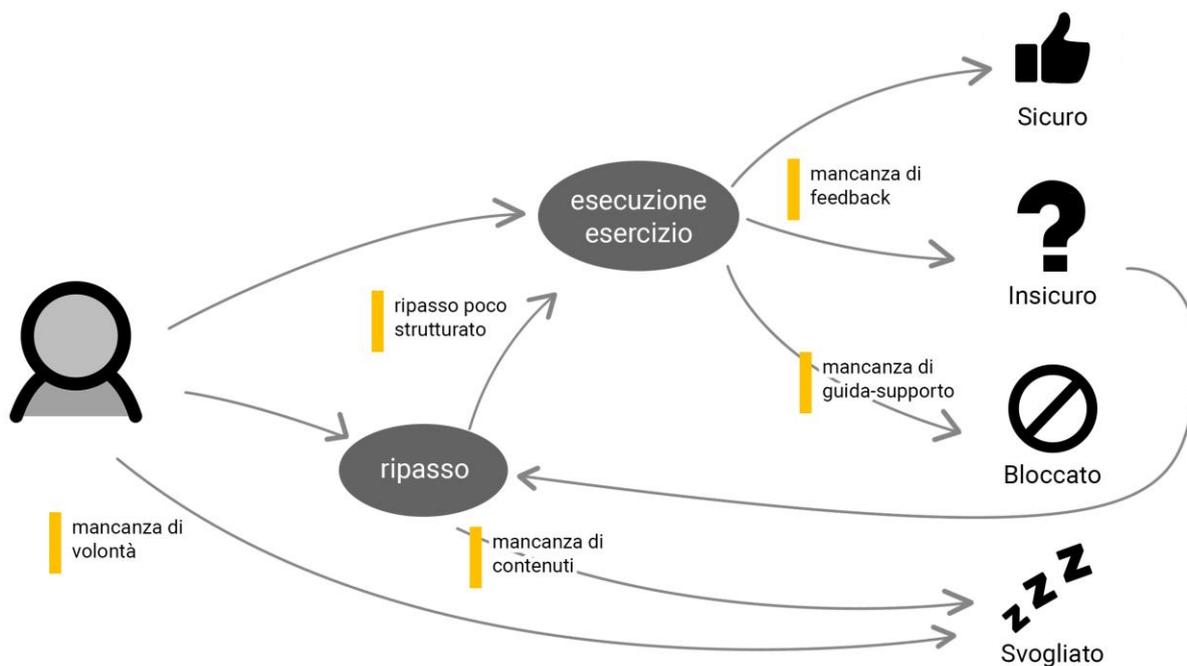


Figura 2-3 - Analisi degli stati d'animo riscontrabili con l'attuale didattica

Condizioni di stallo generano nello studente situazioni di insicurezza, non solo quando ci si blocca in un certo step dell'esercitazione, ma anche lungo tutti i passaggi proposti, domandandosi se si sta procedendo in maniera corretta. L'impossibilità di chiedere sul posto ulteriori chiarimenti al docente può far sentire lo studente incerto sulle scelte da prendere. A questo proposito può essere utile una guida costante che lo accompagni e lo indirizzi sui concetti da sfruttare per essere più consapevole delle scelte che saranno fatte per l'esecuzione dell'esercizio.

Essendo in tema di modelli 3D, tale guida dovrà prevedere anche un supporto alla visualizzazione di tali contenuti in maniera da rendere agevole un confronto tra ciò che si sta ottenendo e ciò che ci si prefigge di ottenere. In questo caso l'uso dell'AR può risultare significativo.

Lo schema in Figura 2-4 riassume le attività che il sistema dovrà dunque mettere a disposizione al fine di migliorare e rendere più soddisfacente l'esperienza di apprendimento.

2.3 Architettura del sistema

A seguito della determinazione degli obiettivi la scelta è stata quella di sviluppare un ecosistema che mettesse in primo piano gli oggetti 3D realizzati dagli studenti a seguito delle esercitazioni. Tra gli obiettivi di tale sistema spiccano quindi quelli di dare la possibilità agli studenti di visualizzare e raccogliere informazioni sugli oggetti di riferimento messi a disposizione dal docente, creare un percorso coinvolgente che li accompagni nello sviluppo del proprio modello, offrire una piattaforma nella quale caricare quest'ultimo e dove potersi confrontare con altri suoi colleghi di corso e verificare attraverso un rating la somiglianza del loro oggetto con quello pubblicato dal docente.

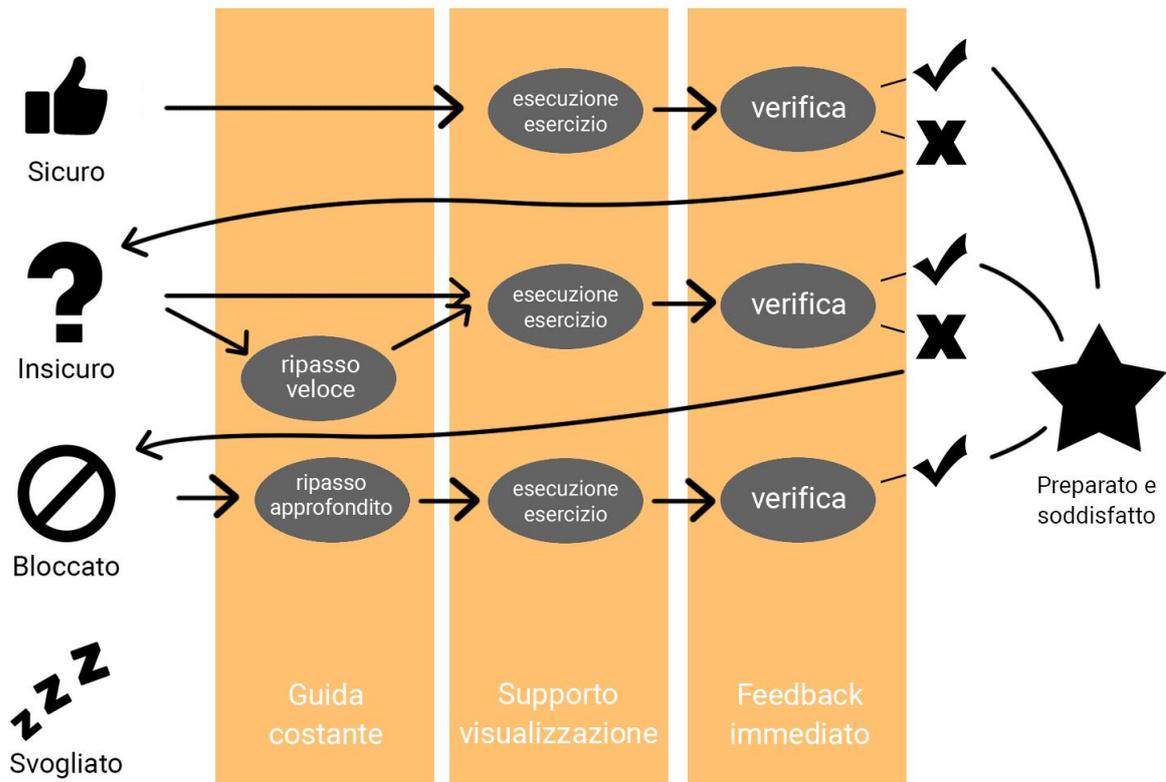


Figura 2-4 - Schema riassuntivo delle attività utili a minimizzare le situazioni di blocco e incertezza da parte dello studente

Alcune di queste proprietà appena descritte evidenziano già concetti di feedback e guida costante citati nel paragrafo precedente. Altre descrivono l'esigenza di fare entrare gli studenti in contatto tra di loro, stimolando quindi il confronto e lo scambio di idee attraverso i loro stessi progetti: questa scelta andrà ad incidere sulla componente motivazionale dello studente, e va a intervenire quindi su coloro che non si sentono stimolati a eseguire nemmeno parzialmente gli esercizi. Attraverso la piattaforma di condivisione, il senso di community e di partecipazione possono avere un effetto molto positivo sul processo di apprendimento perché così facendo i concetti spiegati a lezione si ripresentano al di fuori dell'aula.

Il sistema è quindi costituito da tre piattaforme: un portale web, e due applicazioni mobile di Realtà Aumentata.

2.3.1 Il portale web

Esso rappresenta il nucleo centrale dell'intero sistema, tramite il quale studenti e docente avranno la possibilità di accedere a diverse funzionalità. Gli studenti potranno difatti accedere al sistema tramite credenziali fornitegli dal docente, e potranno caricare e far valutare i lavori svolti, visualizzare gli oggetti realizzati dagli altri colleghi e visualizzare i progetti di riferimento presentati dal docente e tutti gli approfondimenti relativi ad essi.

Il docente avrà invece, oltre al ruolo di fornitore di contenuti di riferimento, un ruolo di controllo su tutti i caricamenti effettuati e, in generale, effettuare tutte le principali attività di gestione del database.

2.3.2 Visualizzatore in AR

Dall'esigenza di un maggior supporto alla visualizzazione, attraverso quest'applicazione mobile sarà possibile visualizzare i caricamenti effettuati, gli oggetti condivisi dagli altri colleghi e i riferimenti del docente. Soprattutto la visualizzazione di questi ultimi può rappresentare un maggior incentivo all'autovalutazione ed all'osservazione critica dei modelli, spingendo lo studente ad ottenere il massimo dai propri progetti.

2.3.3 Applicazione di guida e valutazione

Essa prevede l'utilizzo di tecniche di gamification¹ per imbastire una serie di percorsi che hanno tutti come obiettivo il completamento delle singole esercitazioni. In particolare, tramite quest'applicazione, gli studenti potranno mettersi alla prova tramite domande inerenti agli argomenti svolti a lezione che saranno riferite agli oggetti che andranno realizzati e che saranno contestualmente mostrati in Realtà Aumentata. Alla fine della singola esercitazione allo studente sarà associato un punteggio che andrà a sommarsi ai punteggi ottenuti nelle altre esercitazioni andando a definire un proprio *score* globale.

Nei capitoli successivi verrà spiegato nel dettaglio il funzionamento di tutte le tre applicazioni sopra citate.

2.4 Requisiti tecnologici

Definite le applicazioni da realizzare per il progetto sorge la necessità di decidere le tecnologie da impiegare per svilupparle.

Per il portale web le decisioni da prendere vertono sulla scelta della base di dati all'interno della quale archiviare tutti contenuti di volta in volta caricati e dei sistemi di interfacciamento con il database (back-end) e con l'utente (front-end).

Le alternative sono molteplici per tutti e tre gli aspetti del portale. La scelta è ricaduta su un sistema gestito lato server (back-end) tramite PHP [39] che, alla sua settima versione, risulta essere un linguaggio molto maturo, con un notevole supporto online fornito da una nutrita community e che supporta la programmazione orientata agli oggetti, con tutti i vantaggi che ne conseguono (maggiori dettagli nel capitolo 3).

Inoltre, il linguaggio scelto supporta in maniera molto efficiente database come MySQL [40], sul quale è, dunque, ricaduta la scelta per la gestione dei contenuti e per la gestione delle richieste tramite il linguaggio dichiarativo SQL.

¹ Si intende con tale termine l'utilizzo di elementi mutuati dai giochi e delle tecniche di game design in contesti esterni quelli ludici.

Per quanto riguarda invece le applicazioni di visualizzazione e di guida, essendo basate su tecnologie in Realtà Aumentata, i framework tra i quali scegliere sono riassumibili nell'elenco mostrato nel paragrafo 1.5. Le variabili che hanno influenzato la scelta del framework e dei dispositivi più adatti alle esigenze di progetto si possono riassumere in termini di costo, accessibilità e rapidità di prototipazione.

Sicuramente un framework a pagamento offre, spesso, funzionalità maggiormente avanzate e personalizzabili rispetto ad uno gratuito. In questo caso il miglior compromesso sarebbe restringere il campo a quei framework a pagamento che possono essere integrati gratuitamente all'interno di progetti, al costo della visualizzazione di un watermark sull'applicazione e di alcune limitazioni per funzionalità estremamente avanzate.

L'accessibilità è un concetto maggiormente legato al dispositivo tramite il quale mostrare i contenuti in AR: in questo caso l'utenza di riferimento è una classe di studenti, che quindi non è banale che dispongano di un visore, ma è, d'altro canto, molto più probabile che dispongano di uno smartphone. Ed è proprio su quest'ultimo che è ricaduta la scelta per il dispositivo d'interfacciamento.

La rapidità di prototipazione è importante nel momento in cui si decide di personalizzare in maniera ampia i contenuti 3D da mostrare. Quest'ultimo aspetto si è rivelato determinante per la scelta del framework, che è dunque ricaduta su Vuforia che, oltre a presentare le caratteristiche sopra citate (versione gratuita con possibilità di upgrade e supporto per dispositivi mobili) è ben supportato da Unity [41], un motore di gaming che permette la creazione di applicazioni mobile e supporta una facile gestione di contenuti 3D, anche importandoli da altri software.

2.5 Possibili scenari

In termini di flusso di lavoro le tre applicazioni che vanno a comporre l'intero sistema non sono strettamente vincolate l'una con l'altra. Le informazioni visualizzate in ognuna di esse fanno infatti riferimento ad un unico database e, nel caso del portale e dell'app di guida e gamification, le modifiche che queste possono apportare alle informazioni condivise avvengono in maniera indipendente.

Questa strutturazione ha permesso agli studenti di accedere alle risorse senza dover ricorrere ad un percorso predefinito, ma lasciando ad essi la libertà di esplorare i contenuti presenti nelle diverse piattaforme.

Tuttavia, in un'ottica di percorso di apprendimento che sfrutti appieno le risorse che questo sistema offre, è stato comunque definito un possibile scenario (Figura 2-5) che illustra il flusso di lavoro ideale che lo studente dovrebbe impiegare per il raggiungimento degli obiettivi delle esercitazioni.

(1) Il Portale Web rappresenta il punto di riferimento nel quale sono illustrate le nozioni spiegate a lezione attraverso esempi pratici che sono rappresentati da modelli definiti come Reference. Esso quindi rappresenta un buon punto da cui partire, in modo da avere una precisa idea di qual è l'obiettivo da raggiungere e quali sono i prerequisiti necessari allo studente per poter sostenere e portare avanti l'esercitazione.

(2) Una volta consapevoli di voler procedere con l'esercitazione, lo studente può essere guidato in questo percorso attraverso l'app di gamification in realtà aumentata: le domande servono in questo caso a forzare lo studente al ragionamento, evitando di procedere senza la consapevolezza dei passi eseguiti. In questo caso l'errore non è condannato, ma favorisce la ripetizione dei processi e quindi una miglior memorizzazione degli stessi.

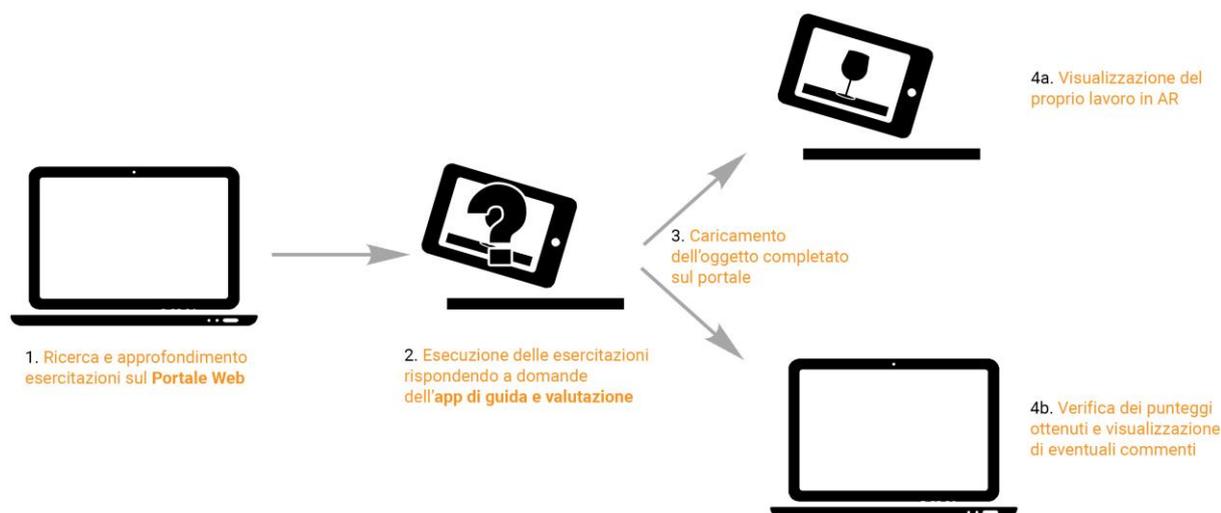


Figura 2-5 - Esempio di flusso ideale di lavoro che sfrutta tutti i tre applicativi del sistema

(3-4) Completata l'esercitazione lo studente si ritroverà ad aver modellato un determinato oggetto 3D. Questo oggetto potrà essere a questo punto caricato sul portale web per poter essere valutato: la valutazione avrà una componente automatica che si occuperà di una valutazione numerica della differenza tra l'oggetto caricato e la reference del docente; d'altro canto per ogni oggetto caricato è possibile lasciare dei commenti che possono favorire la comprensione del lavoro svolto. Parallelamente, una volta caricato l'oggetto, sarà possibile visualizzarlo in Realtà Aumentata tramite l'apposita app mobile.

Come detto all'inizio del paragrafo, questo non è l'unico percorso possibile: infatti può ad esempio essere possibile visualizzare in AR modelli realizzati da altri studenti o le references del docente prima di documentarsi tramite il portale web; oppure usare l'app di gamification prima dello sviluppo vero e proprio dell'esercitazione in modo da valutare esclusivamente le conoscenze acquisite e modellare l'oggetto richiesto solo in un secondo momento.

3. Portale Web

All'interno di tale portale sono presenti tutte le funzionalità che permettono allo studente di caricare i propri materiali e prendere visione degli oggetti di riferimento caricati dal docente, e al docente di gestire l'intero sistema potendo eseguire operazioni sui riferimenti, sulle esercitazioni e sui modelli caricati dai ragazzi, e potendo, inoltre, gestire la parte di profilazione di questi ultimi.

Dovendo gestire i profili di studenti e docente, i materiali caricati coi relativi metadati e tutte le informazioni relative alle esercitazioni è necessario che il portale (come anche le due applicazioni mobile correlate) faccia riferimento ad un database (DB) che contenga tali informazioni e le renda accessibili ed eventualmente modificabili. L'insieme delle tabelle del database sarà discusso nei paragrafi di approfondimento delle singole funzionalità che le utilizzeranno.

3.1 Interfacciamento al DB

Come anticipato nel paragrafo 2.4, il Data Base Management System utilizzato è MySQL, molto utilizzato in ambienti di sviluppo web e al quale il portale si interfaccia tramite tecnologia PHP con paradigma di programmazione orientata agli oggetti. Quest'approccio si distingue dal paradigma procedurale in quanto quest'ultimo va ad eseguire chiamate al database direttamente nella pagina di visualizzazione delle informazioni richieste, mentre con la programmazione ad oggetti si vanno a definire delle classi che rappresentano le tabelle, ed un insieme di funzioni (tra cui le chiamate al database) per ognuna di esse che potranno essere richiamate all'interno delle pagine dedicate alla visualizzazione.

3.1.1 La classe DatabaseObject

Il database di questo sistema prevede tabelle riferite a entità come docenti, studenti, OBJ² caricati e quant'altro, ognuna delle classi definite in base a queste entità necessita di funzionalità proprie dovute alla natura stessa dei dati che rappresentano, ma, essendo tutte derivate da tabelle di un DB, hanno tutte alcune funzionalità in comune. Infatti quando ci si interfaccia con database ci sono quattro operazioni fondamentali che si possono effettuare sulle informazioni contenute in esso: creazione, lettura, aggiornamento ed eliminazione, meglio note come funzionalità CRUD (Create, Read, Update e Delete).

Per evitare di ripetere l'insieme di queste funzionalità in tutte le classi che andranno a rappresentare tutte le tabelle del database è stata definita a tal proposito una classe chiamata DatabaseObject che definisce esclusivamente queste funzionalità. In questo modo un'eventuale classe (ad esempio Studente, derivata dalla tabella 'studenti') sarà un'estensione della classe DatabaseObject per la proprietà di *ereditarietà* (prevista da tutti i linguaggi di programmazione ad oggetti e supportata in PHP dalla versione 5.3) e quindi possiederà già le funzionalità CRUD e potrà affiancare ad esse funzionalità proprie più specifiche (Figura 3-1).

² L'OBJ è un formato di file utile per definire geometrie 3D sviluppato da Wavefront Technologies [42].

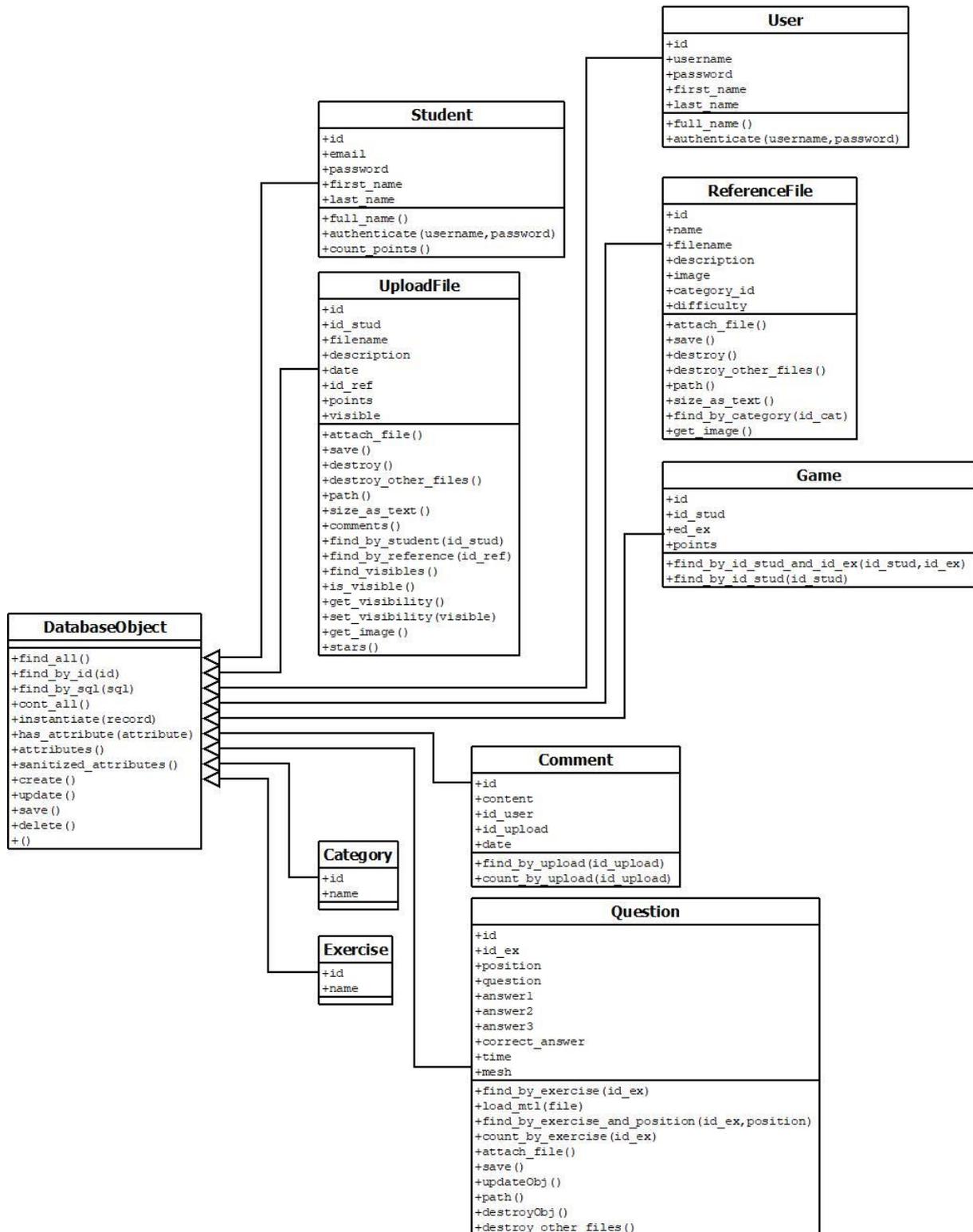


Figura 3-1 - Schema riassuntivo delle classi implementate come estensione di DatabaseObject

Esiste inoltre un'ulteriore proprietà della programmazione orientata agli oggetti chiamata *polimorfismo*: tramite essa, classi figlie hanno la possibilità di riscrivere funzionalità

appartenenti alla classe padre andando ad aggiungere eventuali modifiche necessarie per il loro caso specifico. Ad esempio, se la classe DatabaseObject prevede una funzione di ricerca di nome find_all() di tutti gli elementi della tabella, una classe figlia, può avere la necessità che i risultati della ricerca siano ordinati secondo un determinato attributo: in questo caso, la classe figlia può avere un suo metodo find_all() che effettua una ricerca tenendo conto di questa necessità e, una volta definito, sarà richiamato al posto del metodo della classe padre.

Le funzioni definite nella classe DatabaseObject sono le seguenti:

- find_all(): data una tabella, restituisce tutti gli elementi;
- find_by_id(\$id): restituisce l'elemento di una data tabella corrispondente all'id dato in ingresso;
- find_by_sql(\$sql): restituisce uno o più righe di una tabella secondo una query specificata in sql;
- count_all(): data una tabella, restituisce il numero di righe;
- instantiate(\$record): definisce un'oggetto della classe corrispondente alla tabella a partire dall'array associativo risultante dall'esecuzione delle query;
- has_attribute(\$attribute): funzione booleana che verifica la presenza o meno di un determinato attributo all'interno della tabella considerata;
- attributes(): restituisce l'elenco degli attributi di una data tabella;
- sanitized_attributes(): restituisce l'elenco degli attributi di una data tabella con relativi caratteri di escape, se necessari;
- create(): crea un nuovo elemento di una data tabella;
- update(): aggiorna un elemento di una data tabella;
- save(): esegue la creazione o l'aggiornamento di un elemento di una data tabella in base all'esistenza o meno dell'id;
- delete(): elimina l'elemento dalla tabella.

Data la natura astratta di questa classe, in tutte le sue classi figlie che rappresenteranno le tabelle devono essere definiti i seguenti attributi:

- \$table_name: che indica il nome della tabella in modo che DatabaseObject abbia un'indicazione su dove andare a cercare le informazioni;
- \$db_fields: che elenca gli attributi della tabella stessa, indispensabili per funzioni come has_attribute() e attributes().

3.2 Vista pubblica

Il sito offre un insieme di funzionalità sia nel caso in cui si acceda ad esso come studente sia come docente, ma esiste una parte del portale che è possibile visualizzare senza aver effettuato alcun login. Questa possibilità dà l'occasione di poter visualizzare informazioni sugli oggetti caricati dagli studenti e i modelli messi a disposizione dal docente, che durante lo sviluppo del progetto sono state definite con il termine *reference*.

In Figura 3-2 è descritta la sitemap per i visitatori che non effettuano l'accesso tramite login:

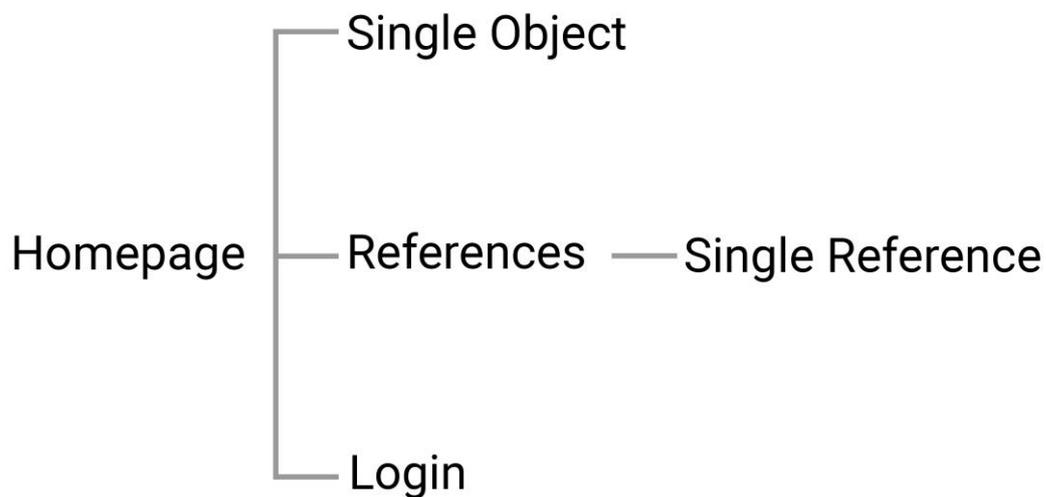


Figura 3-2 - Sitemap della vista pubblica del portale web

3.2.1 Homepage

Accessibile in qualunque momento tramite l'header principale, mostra i caricamenti resi pubblici dagli studenti sotto forma di schede (Figura 3-3).

Questo layout, che verrà usato in maniera analoga in alcune altre pagine, si dimostra particolarmente efficace nel mettere in risalto le immagini corrispondenti ai caricamenti dei ragazzi. Tramite ognuna di queste schede è possibile visualizzare il nome dello studente autore del modello, il punteggio di somiglianza alla reference espresso in stelle, data e ora di caricamento ed il numero di commenti associati. Facendo click sull'immagine è possibile accedere alla pagina specifica del modello.

3.2.2 Singolo modello

Anche in questo caso è messa in evidenza l'immagine che rappresenta il modello creato dallo studente (Figura 3-4).

Inoltre, in questa pagina è possibile notare la presenza di un menù *Breadcrumb*: come si vedrà nella spiegazione delle altre funzionalità questo tipo di menù è presente in tutti i sottolivelli del sito, agevolando la navigazione dando continuamente la consapevolezza del punto della sitemap in cui ci si trova.

Tornando alla pagina del singolo modello, si può notare che al di sotto dell'immagine è presente una sezione che raccoglie i suoi principali metadati, definisce un'area "Descrizione" dove lo studente può fornire ulteriori dettagli del modello realizzato, ed un bottone tramite il quale è possibile scaricare il modello in formato OBJ.

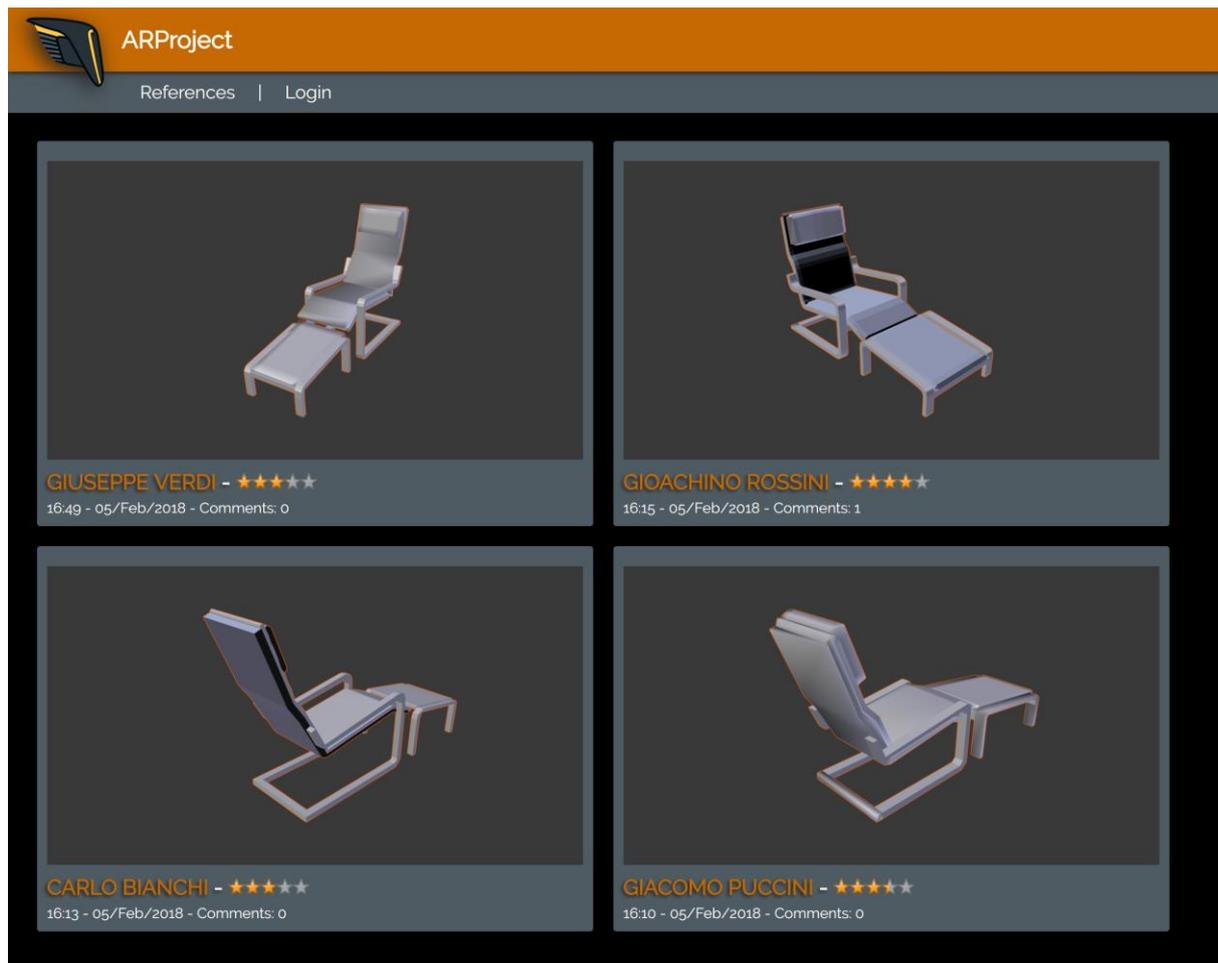


Figura 3-3 - Homepage del portale

3.2.3 Reference

Accessibile attraverso il sub-header, tramite questa pagina è possibile visualizzare l'elenco delle reference caricate dal docente. Come anticipato nel paragrafo 4.1.1 anche questa pagina ha una struttura che presenta contenuti sotto forma di schede (Figura 3-5).

Ovviamente in questo caso si perde l'informazione relativa alla data di caricamento, al nome dell'autore del modello e di eventuali punteggi, lasciando altresì spazio al nome della reference stessa. Fondamentale non solo come riferimento mnemonico ma anche come termine univoco da usare come indicatore nelle pagine degli oggetti caricati dagli studenti.

Facendo click su una delle immagini è possibile accedere alla pagina relativa alla singola reference.

3.2.4 Singola reference

La struttura di questa pagina è simile alla quella relativa al singolo modello caricato dallo studente. Come si può vedere in Figura 3-6 anche in questo caso è presente in primo piano un'immagine del modello di riferimento e, a seguire, una sezione descrittiva.

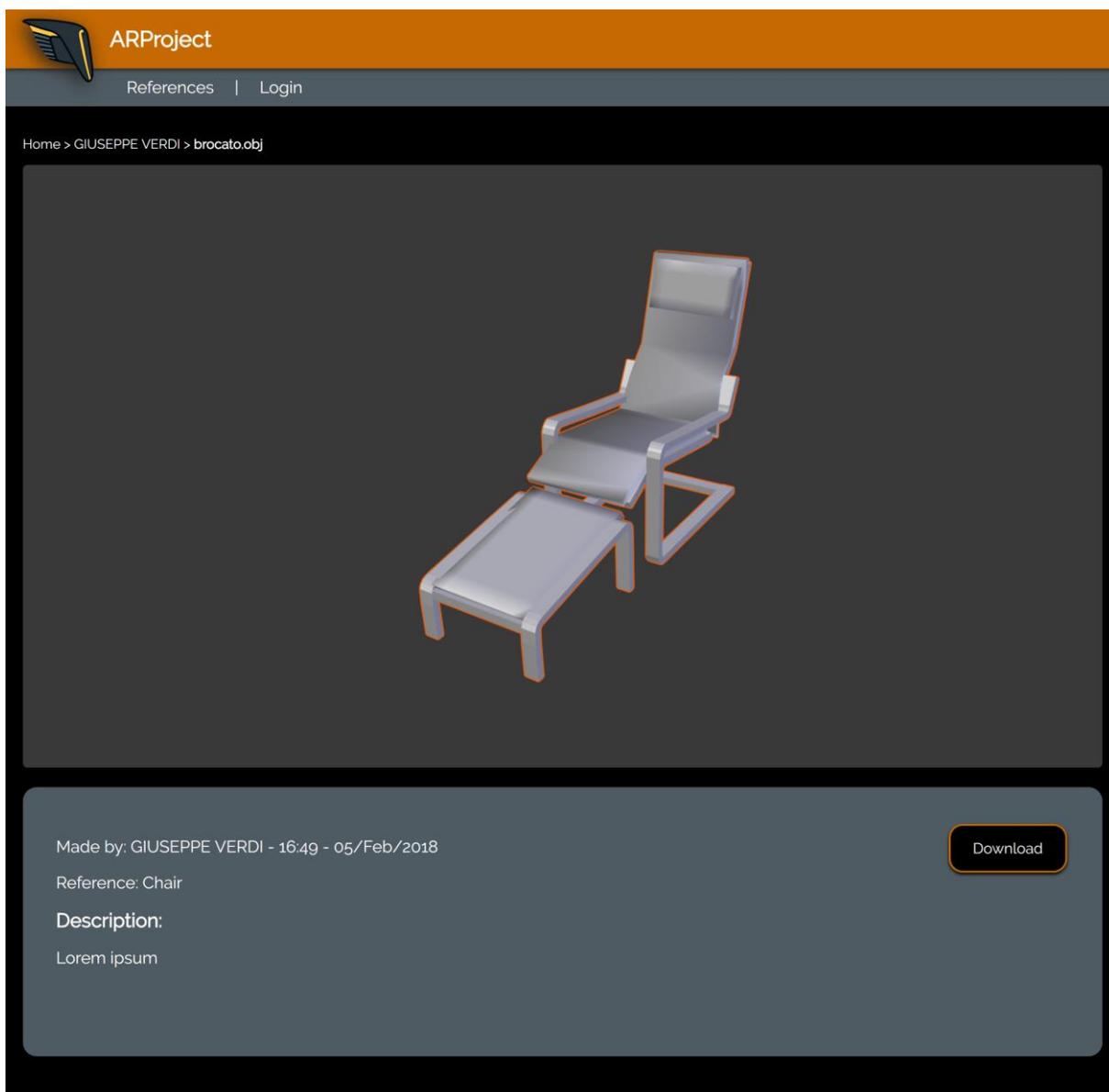


Figura 3-4 - Pagina relativa al singolo caricamento dello studente

All'interno di questa sezione è possibile notare la categoria di appartenenza e la difficoltà stimata dal docente. A seguire è anche qui una descrizione, nella quale il docente può spiegare diversi dettagli del modello ed eventuali suggerimenti su come realizzarlo.

Infine, è possibile, attraverso il bottone "Download", scaricare il modello in formato OBJ.

3.2.5 Fase di login

Ovviamente è possibile in qualsiasi momento passare da "ospite" a "utente autenticato" in qualsiasi momento tramite il processo di login che, come molte altre realtà presenti nel web prevede per l'utilizzo di una combinazione di un Nome Utente con una password (Figura 3-7).

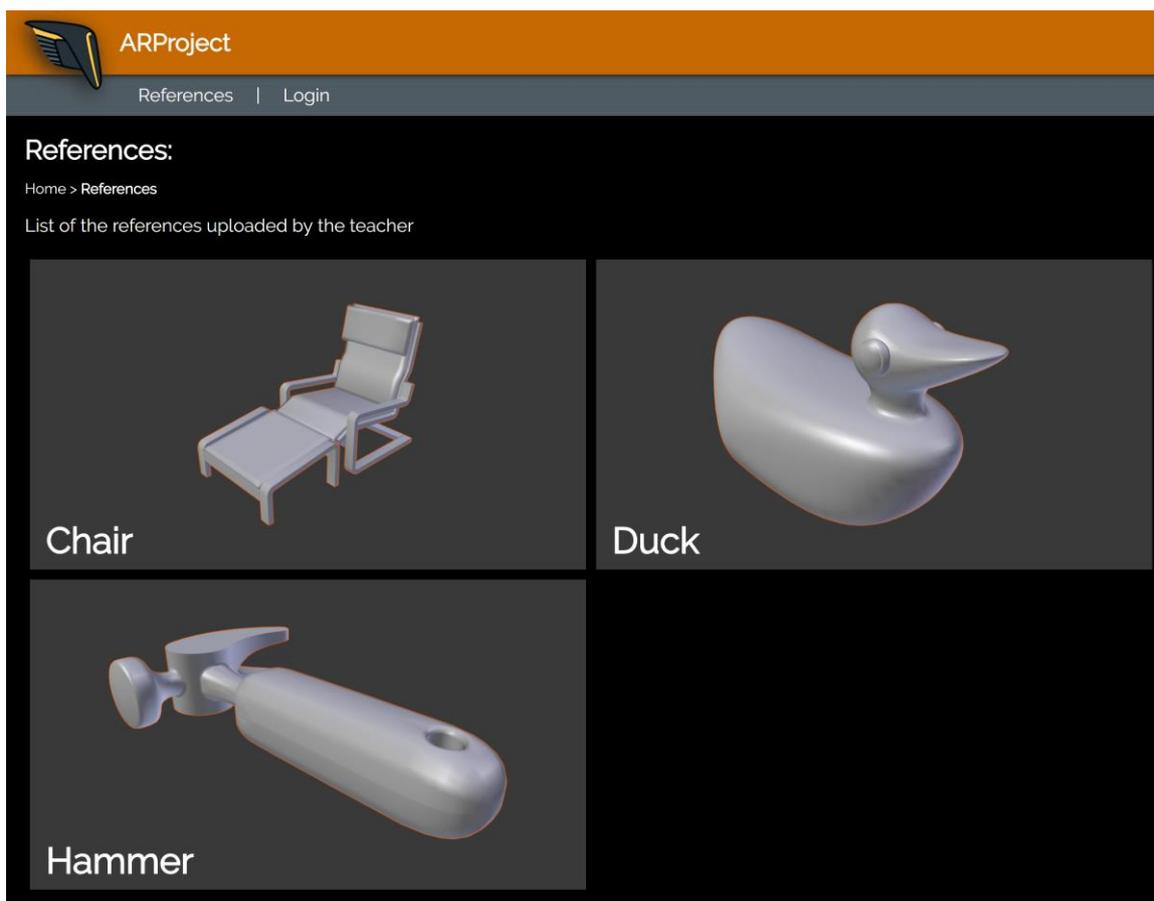


Figura 3-5 - Pagina relativa alla Reference

3.2.6 Tabelle e classi impiegate

A chiunque venga identificato come “ospite” dal portale vengono offerte da quest’ultimo unicamente possibilità di visualizzazione dati. Questo si traduce in termini di Database in operazioni di lettura (Read).

Gli elementi in gioco in questa fase sono i caricamenti degli studenti e le reference del docente. È opportuno quindi definire per essi delle tabelle, dalle quali si svilupperanno delle classi PHP estensioni della classe DatabaseObject (vedi paragrafo 4.1.1).

Le tabelle in questione sono rispettivamente ‘uploads’ e ‘reference_files’. Per ‘uploads’ si definiscono i seguenti attributi:

- id: identificativo unico per il caricamento;
- id_stud: riferimento esterno dell’id dello studente che ha effettuato il caricamento;
- filename: nome del file che è stato caricato;
- description: descrizione del caricamento che verrà visualizzato nella pagina di quest’ultimo;
- date: data di caricamento;
- id_ref: identificativo della reference con la quale va effettuato il confronto;

- points: punti risultanti dal confronto del modello caricato con la reference;
- visible: flag che indica la visibilità o l'invisibilità del modello agli altri visitatori del portale web.

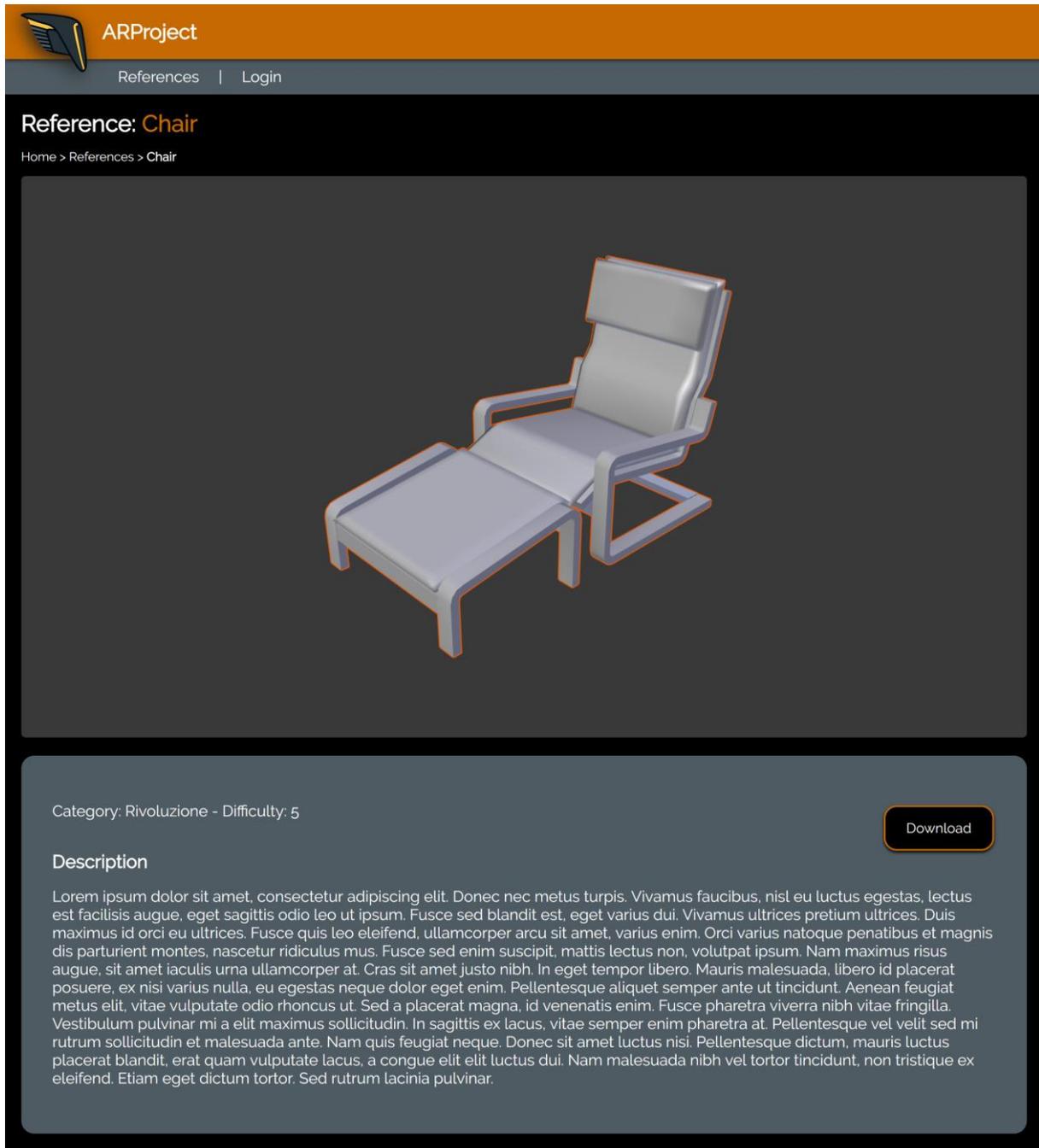


Figura 3-6 - Pagina relativa alla singola Reference

A seguire sono ora elencati gli attributi per la tabella 'reference_files':

- id: identificativo della reference;
- name: nome associato alla reference;
- filename: file OBJ associato alla reference;

- description: descrizione che verrà visualizzata nella pagina relativa al singolo reference;
- category_id: riferimento esterno della categoria alla quale la reference appartiene;
- difficulty: difficoltà del modello stimata dal docente con un punteggio da 1 a 5;

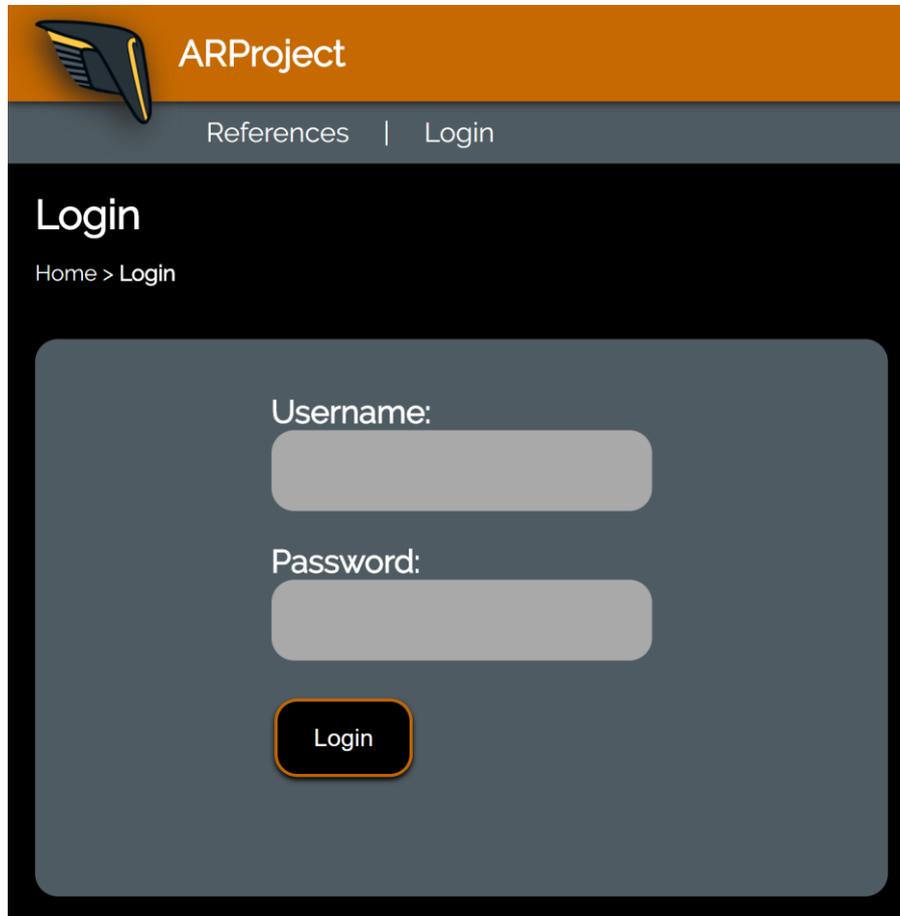


Figura 3-7 - Pagina di Login

Da queste si ricavano le classi PHP 'UploadFile' e 'ReferenceFile' che avranno gli stessi attributi delle tabelle da cui derivano.

Le funzioni principalmente utilizzate per la visualizzazione delle informazioni sono state UploadFile::find_all() e ReferenceFile::find_all() per la homepage e per quella che raccoglie le varie reference; mentre per le visualizzazioni singole sono state impiegate UploadFile::find_by_id(\$_GET['id']) e ReferenceFile::find_by_id(\$_GET['id']) dove l'id in ingresso proviene dalle informazioni passate in URL (ed: "reference.php?id=1"). Tale approccio è utilizzato in molte delle altre funzioni presenti nel portale.

Si osservi inoltre che la presenza di riferimenti esterni denota l'esistenza di altre tabelle come quelle relative agli studenti e alle categorie di modelli: queste verranno spiegate nei paragrafi 4.3 e 4.4 perché strettamente legate alle funzionalità per lo studente e per il docente.

3.3 Funzioni per lo studente

Una volta autenticatosi lo studente ha a disposizione un certo numero di funzionalità, molte delle quali accessibili tramite pagine specifiche. Questo contribuisce a definire una diversa configurazione della mappa del sito che, rispetto alla visualizzazione da “ospite”, viene perlopiù arricchita di ulteriori pagine. La sitemap che ne risulta è quindi la seguente (Figura 3-8):

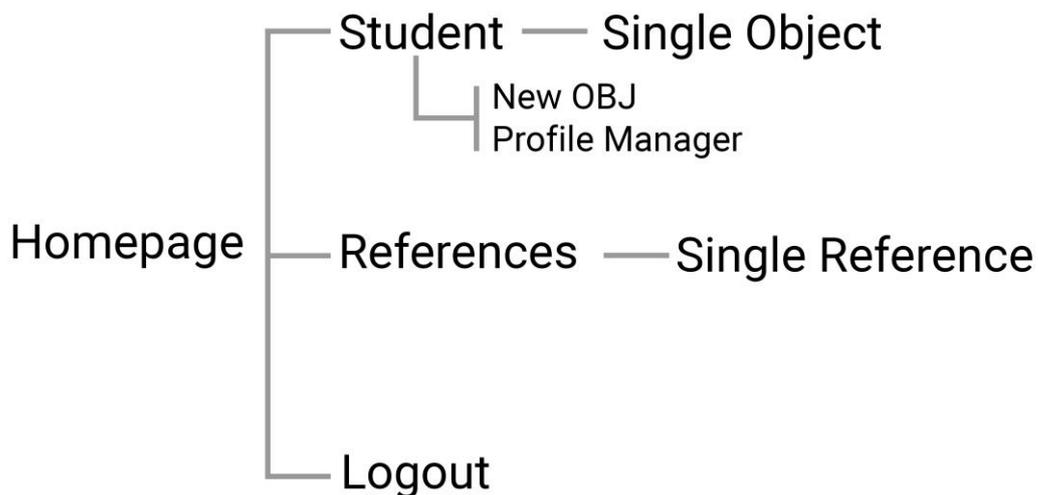


Figura 3-8 - Sitemap della vista Studente

Come si può notare lo studente ha la possibilità di visualizzare oltre alle pagine citate nel paragrafo 4.2 una pagina definita “Student Page” che raccoglie gli oggetti caricati ed il punteggio di un determinato studente.

3.3.1 Student Page

È possibile accedere a questa pagina (Figura 3-9) attraverso la homepage facendo click sul nome di uno studente che ha caricato l’oggetto, oppure, per accedere alla propria, è possibile fare click sul proprio nome in alto nell’header accanto al nome del portale. Questo nome sarà aggiornato in automatico nel momento stesso in cui lo studente effettua l’accesso.

Questa è una pagina che, come altre all’interno del portale, è sensibile al contesto, cioè rende disponibili o meno determinate opzioni a seconda dell’utente che le visita. In questo caso se uno studente visualizza la sua pagina studente, egli avrà a disposizione, oltre all’elenco degli oggetti caricati e visibili tramite visuale a schede (operazione di “Read”) anche due bottoni tramite i quali poter accedere alla pagina di caricamento di un nuovo oggetto (operazione di “Create”) “Upload NEW OBJ” oppure alla pagina di controllo dei vari oggetti caricati “Profile Manager” (operazioni di “Update” e “Delete”).

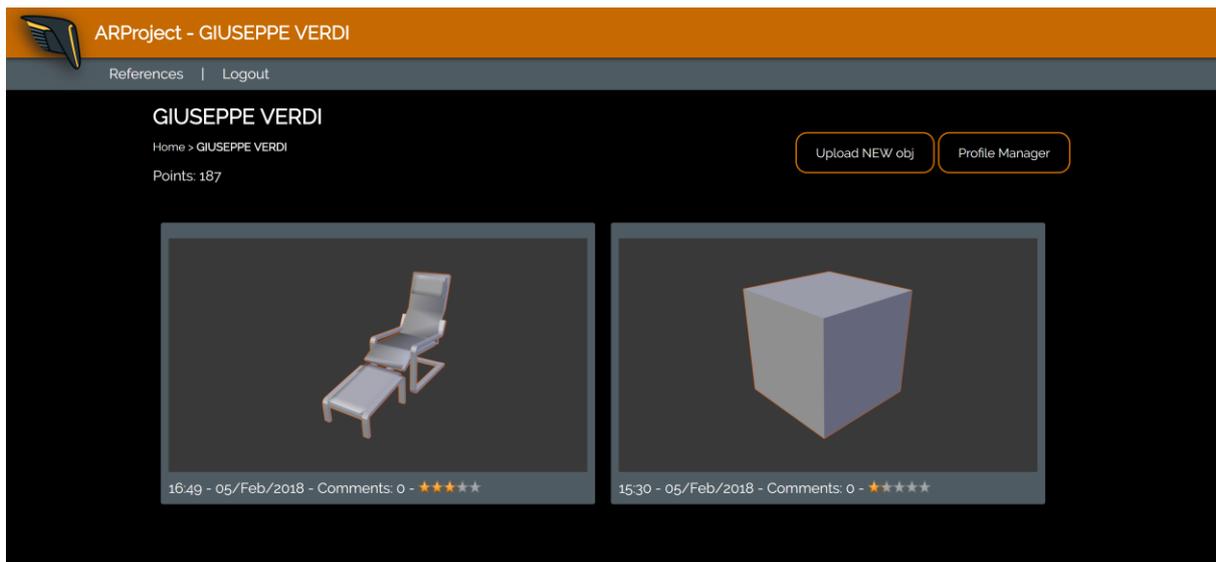


Figura 3-9 - Pagina relativa al singolo studente

3.3.2 Profile Manager

Come si può vedere in Figura 3-10 anche in questa pagina è presente un riassunto di quello che sono i propri caricamenti indipendentemente dalla loro visibilità, con la differenza rispetto alla pagina dello studente che, tramite una tabella, è possibile accedere a comandi di “Delete” che rimuove l’oggetto e il record del database ad esso relativo e di aggiornamento della visibilità tramite checkbox.

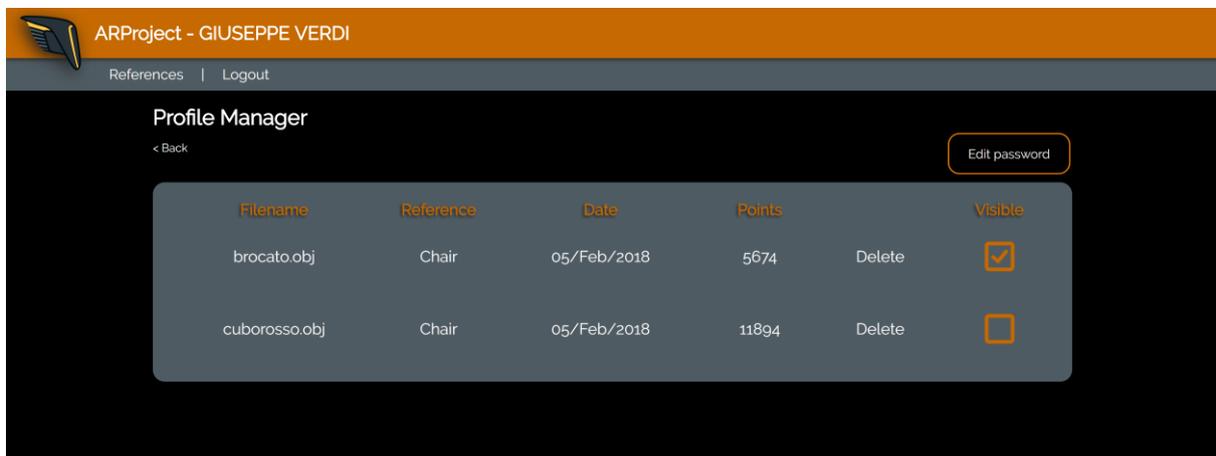


Figura 3-10 - Pagina di gestione profilo

Inoltre, è possibile da questa pagina modificare la password tramite una pagina apposita nella quale si procede con l’inserimento della vecchia password e definizione a doppia conferma della nuova, come mostrato in Figura 3-11:

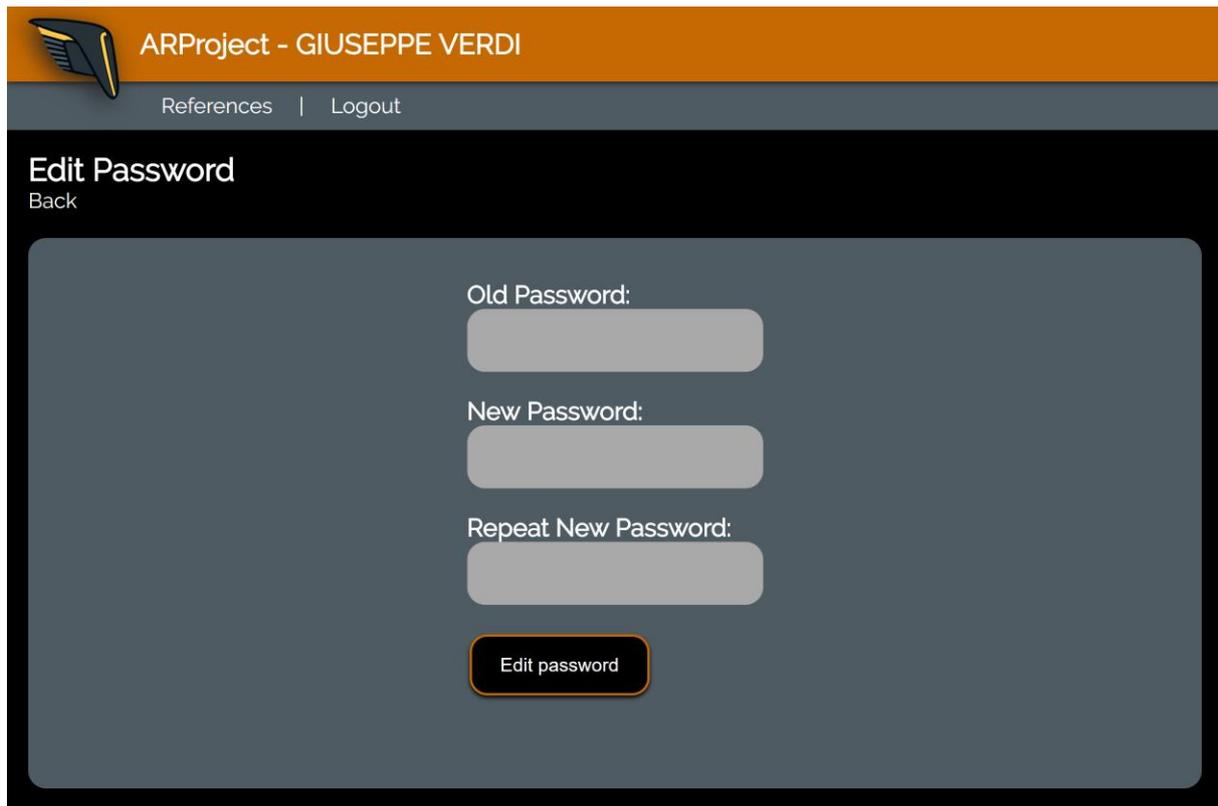


Figura 3-11 - Pagina di modifica password

3.3.3 Upload New OBJ

Una delle operazioni più importanti per lo studente è sicuramente quella di caricare i suoi nuovi oggetti 3D, verificare tramite punteggio la somiglianza di questi con le reference da cui attingono e infine poterli vedere in realtà aumentata.

Per l'operazione di caricamento è stata quindi dedicata una pagina specifica (Figura 3-12) attraverso la quale lo studente seleziona il file da caricare ed associa ad esso dati utili alla sua valutazione.

In riferimento al paragrafo 4.2.6 si può notare che non tutti gli attributi della tabella sono personalizzati dallo studente: questo perché alcuni di essi (in particolare tutti gli "ID", "Data" e "Points") saranno calcolati o dedotti in automatico dal sistema.

Come si può vedere in Figura 3-12 i campi messi a disposizione sono:

- File: dal quale si può selezionare il file .OBJ da caricare;
- Reference: dal quale si può selezionare una reference tra quelle messe a disposizione dal professore;
- Description: in cui si descrive il lavoro svolto.

Una volta definiti tutti i campi sarà possibile fare click su "Upload" e verranno effettuate due macro operazioni: si creerà un nuovo oggetto di tipo UploadFile con campi compilati secondo i dati inseriti precedentemente e verrà lanciata la funzione "save()" che si occuperà prima della creazione dei file utili per la visualizzazione sul sito e sull'app di realtà aumentata e poi, se tali operazioni sono avvenute con successo, della registrazione del record sul DB.

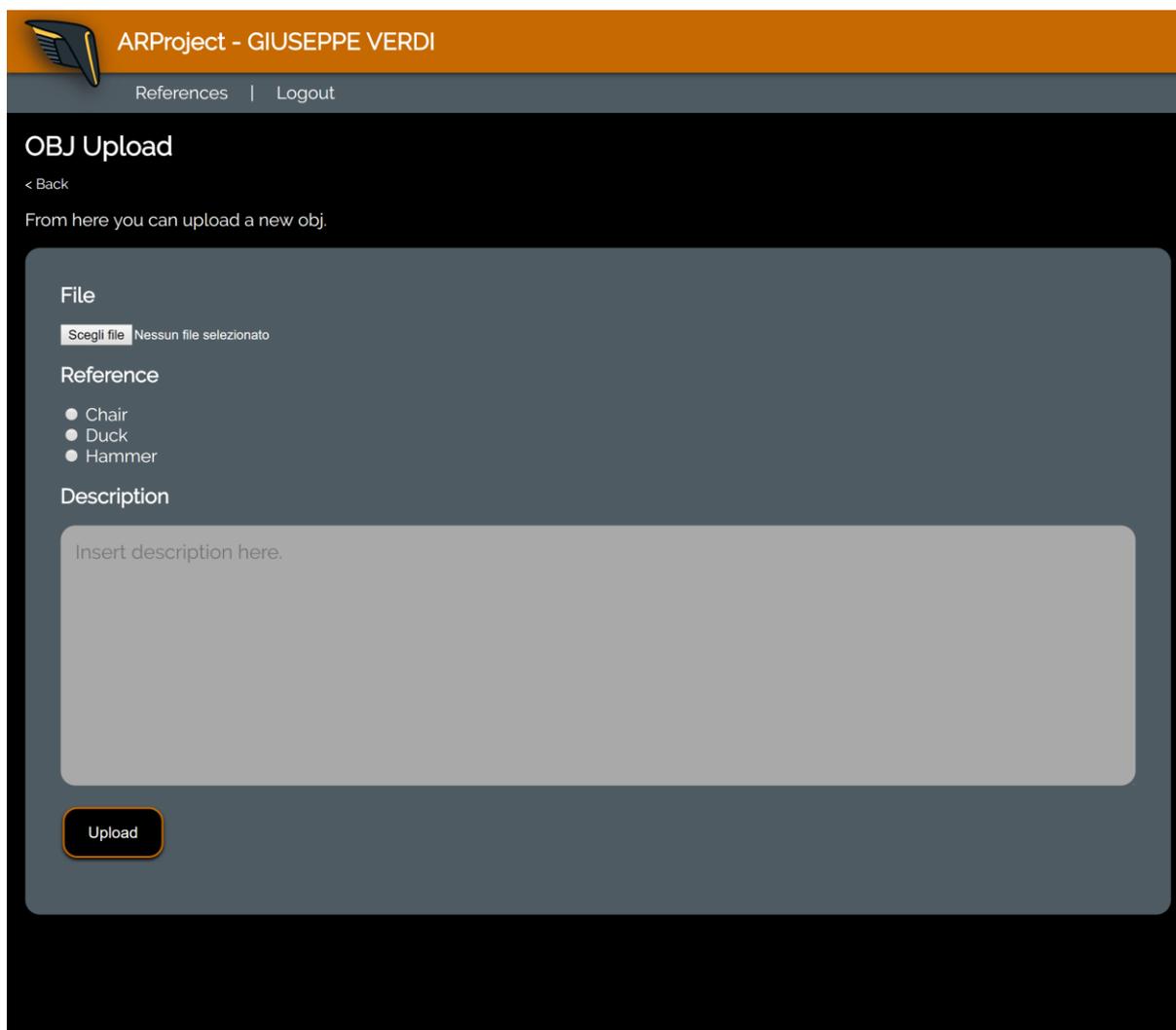


Figura 3-12 - Pagina di Upload di un nuovo OBJ

3.3.4 Funzione “save()”

La classe UploadFile aggiunge a DatabaseObject diverse funzioni specifiche per il tipo di dato che in questo caso si intende rappresentare. Tra queste una delle più importanti è sicuramente quella di “save()” che, sovrascrivendo quella della classe madre, effettua il caricamento dell’oggetto, calcola un valore che esprime numericamente la differenza tra esso e la reference selezionata, crea i file utili per la visualizzazione in realtà aumentata e “scatta una fotografia” dell’oggetto in modo da estrarre da esso un’immagine di anteprima (definita anche come “thumbnail”) utile per la visualizzazione a schede prevista in diverse pagine del portale. A seguire analizziamo nel dettaglio questi passaggi.

Il caricamento effettivo del file OBJ avviene tramite la funzione PHP `move_uploaded_file`, che riceve in ingresso il nome del file e la destinazione e restituisce un valore booleano che indica la riuscita o meno dell’operazione.

Se tale operazione è stata effettuata con successo si procede col calcolo del valore di scostamento tra l’oggetto caricato e la reference selezionata nella pagina di upload. L’algoritmo utilizzato per questo valore deriva da un’applicazione sperimentale sviluppata nel

2003 all'interno del Dipartimento di informatica e ingegneria dell'informazione dell'Università nazionale di Taiwan [43], eseguibile da linea di comando specificando le directory dei due file da confrontare. Il dato in uscita da questa operazione setterà l'attributo "points" della classe UploadFile.

A seguire vengono creati i file per la visualizzazione in realtà aumentata: dato che l'ambiente di sviluppo AR sfrutta il motore grafico Unity, verranno generati dei file di tipo AssetBundle, che conterranno l'oggetto definito come GameObject e che verranno caricati da remoto dall'applicativo (maggiori dettagli nel paragrafo 4.3.5).

Infine, per la creazione dei thumbnail viene lanciato blender, sempre tramite riga di comando, che esegue uno script in python in cui:

- Vengono eliminati tutti gli oggetti dalla scena tranne la camera;
- L'OBJ viene importato all'interno della scena;
- La funzione blender camera_to_view_selected() viene impiegata per orientare la camera sull'oggetto;
- Si aggiunge un po' di spazio tra l'oggetto e i bordi dell'inquadratura andando a ridurre la lunghezza focale;
- Si salva il frame da visualizzazione OpenGL.

3.3.5 Creazione degli AssetBundle

La generazione degli AssetBundle utili per la visualizzazione degli oggetti caricati in AR necessita di una serie di passaggi da eseguire tramite Unity Editor. Il progetto aperto da riga di comando è chiamato AssetBundlesCreator, al cui interno è definita una funzione che esegue i seguenti passaggi:

- Tramite il plugin "OBJLoader" trasforma l'OBJ in un GameObject e lo carica direttamente all'interno della scena;
- Definisce per esso dei nuovi materiali associati da un set predefinito;
- Definisce per esso un Prefab³, in modo che l'oggetto possa essere istanziato;
- Utilizza il Prefab appena creato per creare un insieme di file all'interno di una cartella che insieme costituiranno gli AssetBundles, che potranno essere caricati in tempo reale dall'applicazione AR

3.3.6 Opzioni aggiuntive alla pagina del singolo modello

Come detto precedentemente parlando della pagina dello Studente, diverse sono le pagine del portale che sono "sensibili al contesto": quando lo studente è loggato, infatti, la pagina relativa al singolo modello acquisisce delle funzionalità in più (Figura 3-13):

³ <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>

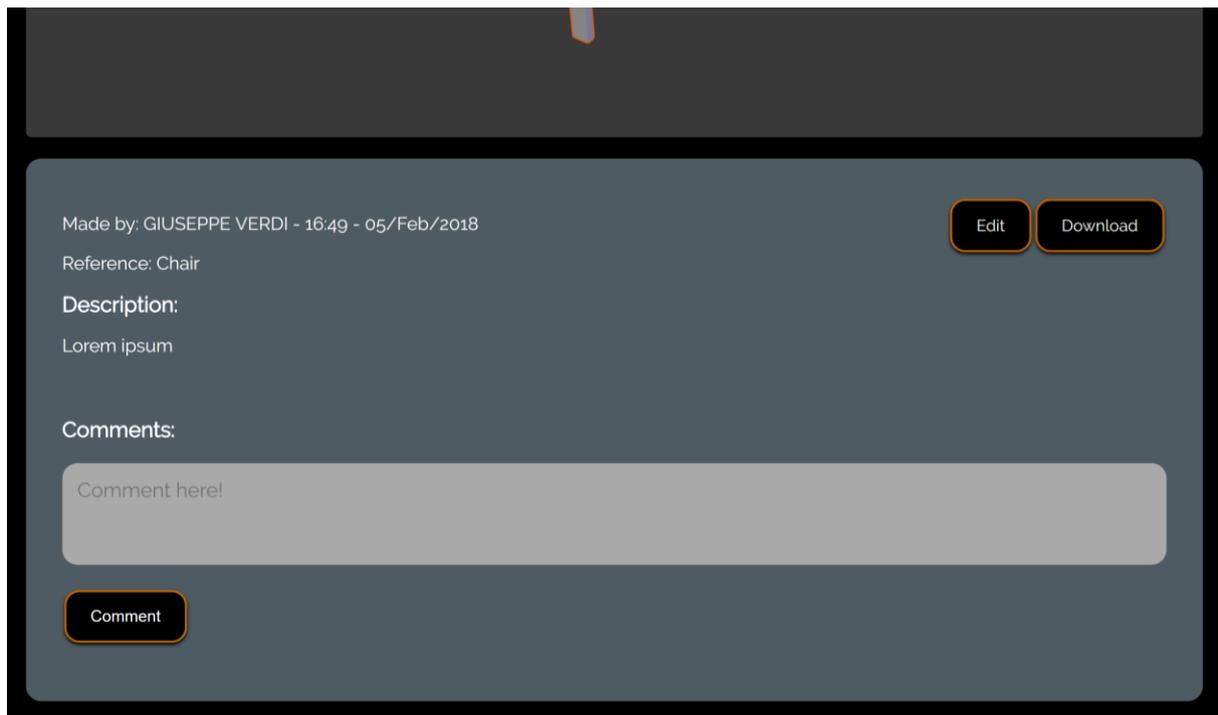


Figura 3-13 - Sezioni aggiuntive presenti nella pagina del singolo modello

Come si può notare è presente dopo la descrizione un'area "Comments": tramite essa è possibile visualizzare e postare commenti utili per approfondire i vari aspetti dell'oggetto caricato ed eventualmente suggerire possibili modifiche o miglioramenti per lavori successivi. A questa funzionalità, se lo studente sta visualizzando un suo oggetto, ha inoltre una possibilità di "Edit", tramite la quale può modificare in qualsiasi momento la descrizione dell'oggetto senza doverlo ricaricare (Figura 3-14).

3.4 Funzioni per il docente

Come nel caso dello studente, il docente, una volta autenticatosi ha a disposizione un certo numero di funzionalità, molte delle quali accessibili tramite delle pagine specifiche. Questo contribuisce a definire una diversa configurazione della mappa del sito che quindi sarà come mostrato in Figura 3-15:



Figura 3-14 - Area di modifica della descrizione

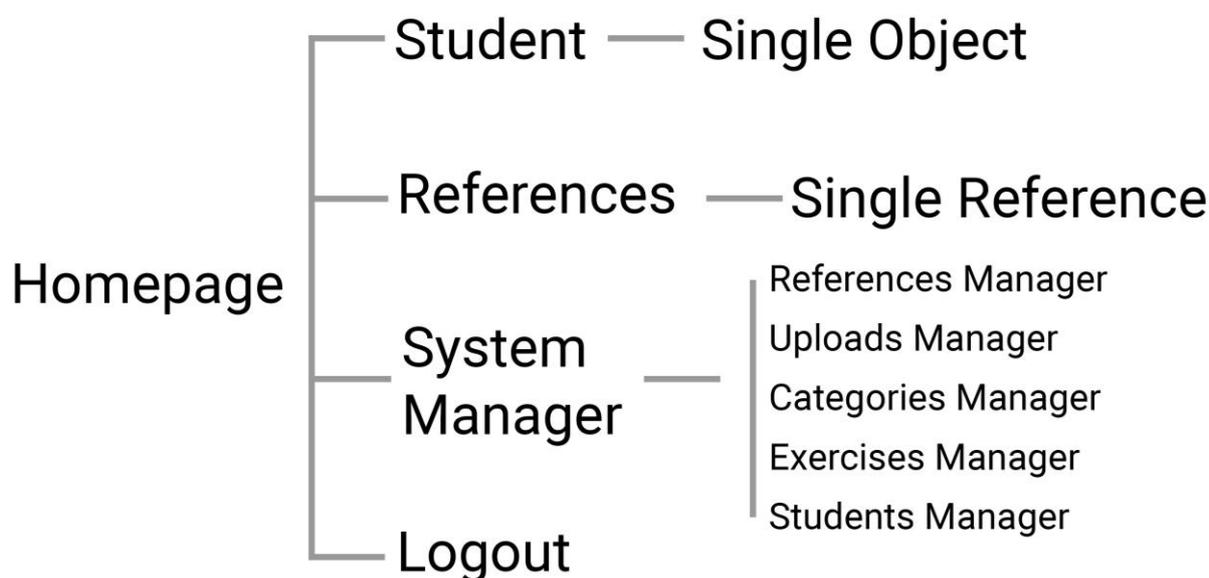


Figura 3-15 - Sitemap della vista del Docente

In questo caso le funzionalità dedicate specificamente alla figura del docente sono presenti all'interno di una nuova area chiamata "System Manager", accessibile dal sub-header e dalla quale poter effettuare operazioni diverse rispettivamente nelle aree relative alle reference, agli upload degli studenti, agli esercizi che vengono mostrati nell'applicativo mobile di guida e verifica e all'elenco degli studenti (Figura 3-16).

3.4.1 References manager

Come si può vedere in Figura 3-17 questa pagina mostra una tabella attraverso la quale vengono mostrate tutte le reference caricate dal docente stesso: in particolare si evidenziano un'immagine di anteprima, il nome, la categoria d'appartenenza e le funzioni di "Download", "Edit" e "Delete".

Facendo click sull'immagine di anteprima è possibile accedere alla pagina della singola reference selezionata, per visualizzare tutti gli altri dettagli non mostrati nella tabella riassuntiva.

Le funzionalità di "Download" e "Delete" non danno l'accesso a pagine di livello più basso ma permettono rispettivamente di scaricare sul proprio dispositivo il file OBJ corrispondente oppure di eliminare dal database e dal server il record e i file associati non solo all'OBJ selezionato, ma anche a tutti i caricamenti degli studenti associati ad esso.

Tramite la funzione "Edit", invece, si accede ad un'altra pagina (Figura 3-18) che elenca tutti i valori settabili della reference, modificati gli attributi (compreso, eventualmente, il file OBJ) basterà fare click sul bottone "Edit" per applicare le modifiche.

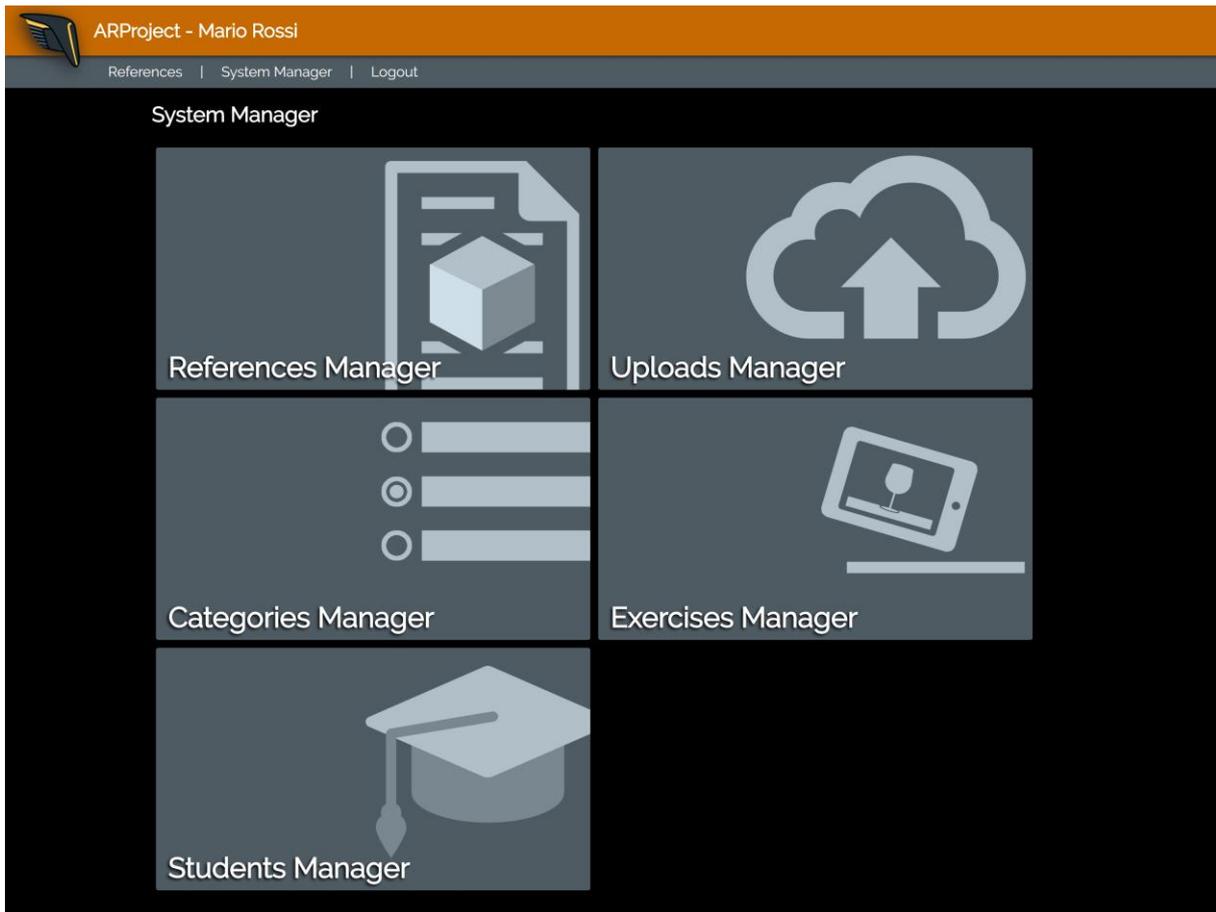


Figura 3-16 - Pagina relativa al System Manager

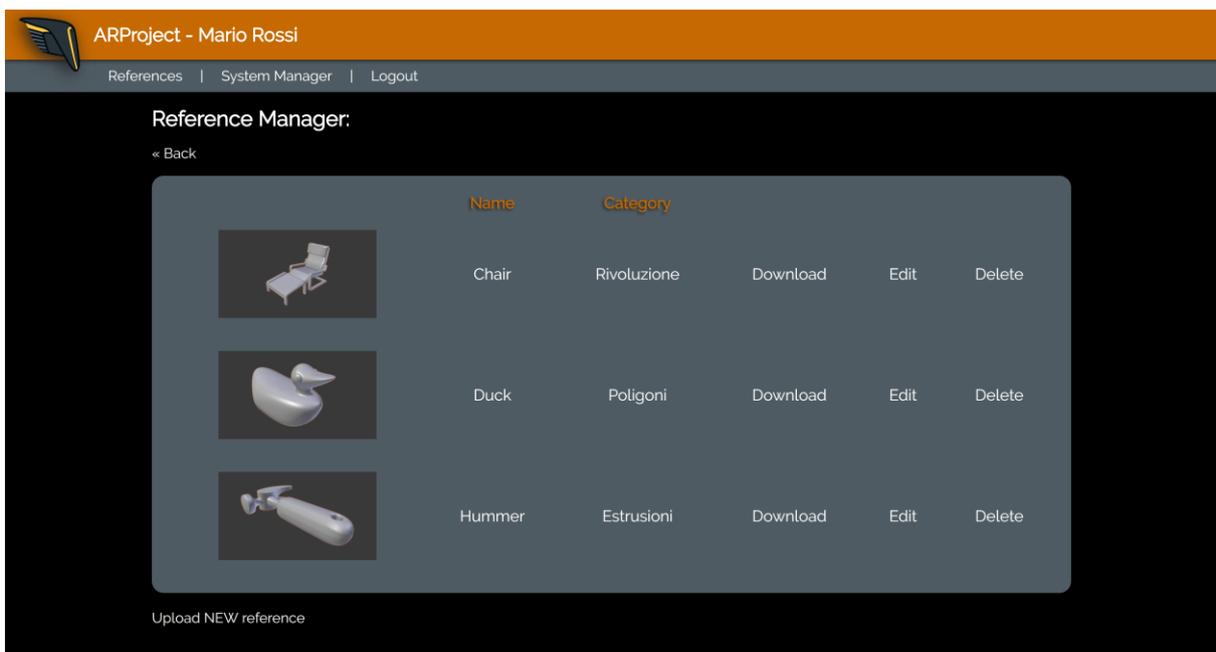


Figura 3-17 - Pagina relativa al Reference Manager

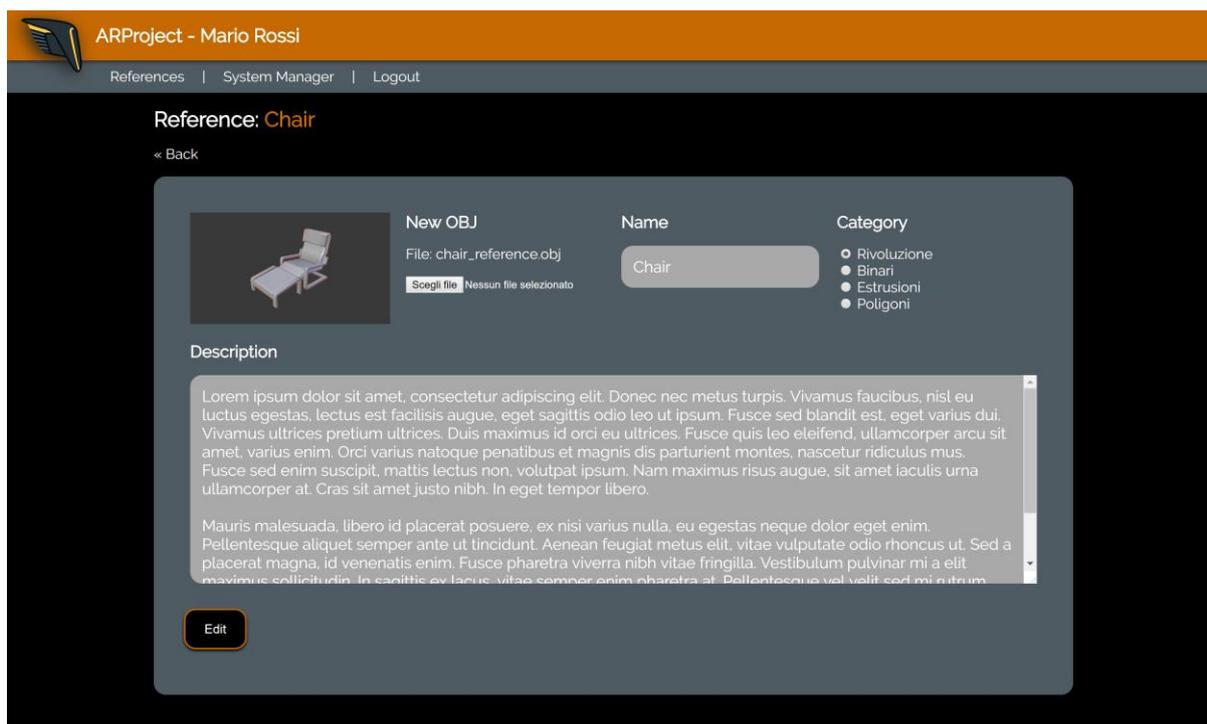


Figura 3-18 - Pagina dalla quale è possibile modificare una Reference

Infine, è ovviamente presente la funzionalità di caricamento di una nuova reference (Figura 3-19): il principio di funzionamento è del tutto analogo alla procedura descritta per il caricamento degli OBJ da parte dello studente l'unica differenza che non viene calcolato alcun punteggio in quanto si sta caricando una reference che quindi sarà a sua volta oggetto di confronto per i futuri caricamenti da parte degli studenti.

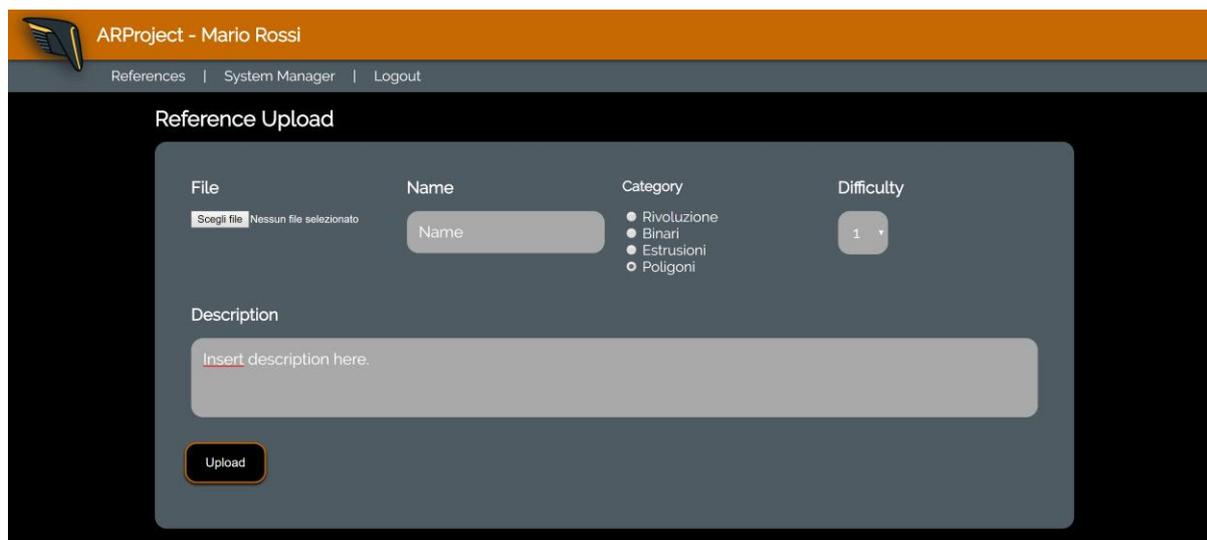


Figura 3-19 - Pagina dalla quale è possibile il caricamento di una nuova Reference

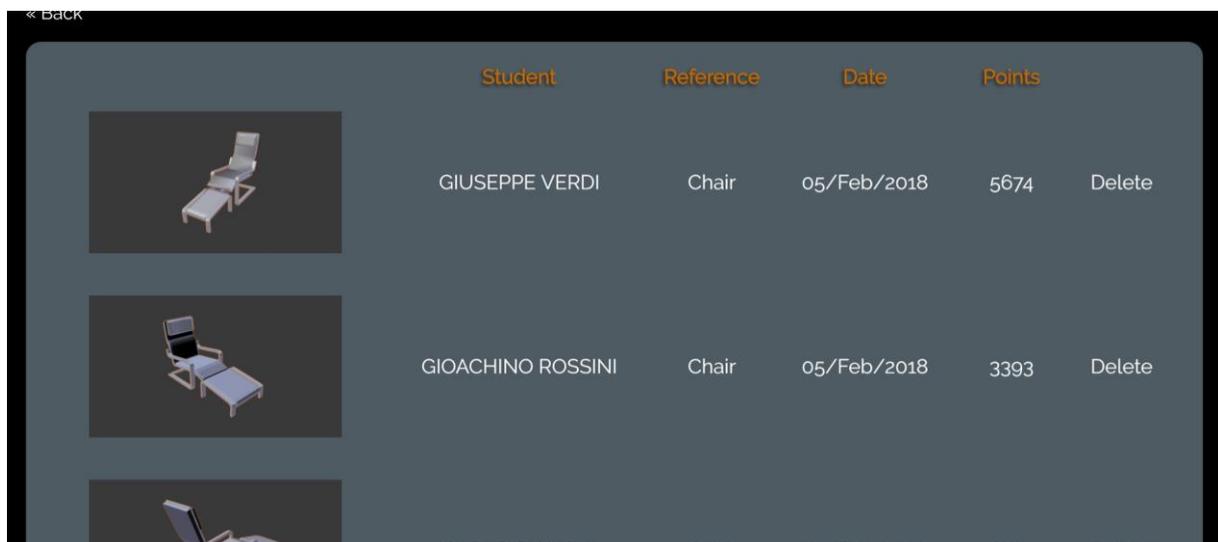
3.4.2 Uploads manager

Molto simile alla pagina analizzata in precedenza, attraverso l'Uploads Manager, è possibile gestire tutti gli upload effettuati dagli studenti. Come si può vedere in Figura 3-20 oltre alla possibilità di visualizzare una panoramica dei caricamenti, è presente una funzione di "Delete" in grado di eliminare il record dell'upload selezionato dal database ed i file ad esso associati.

3.4.3 Categories Manager

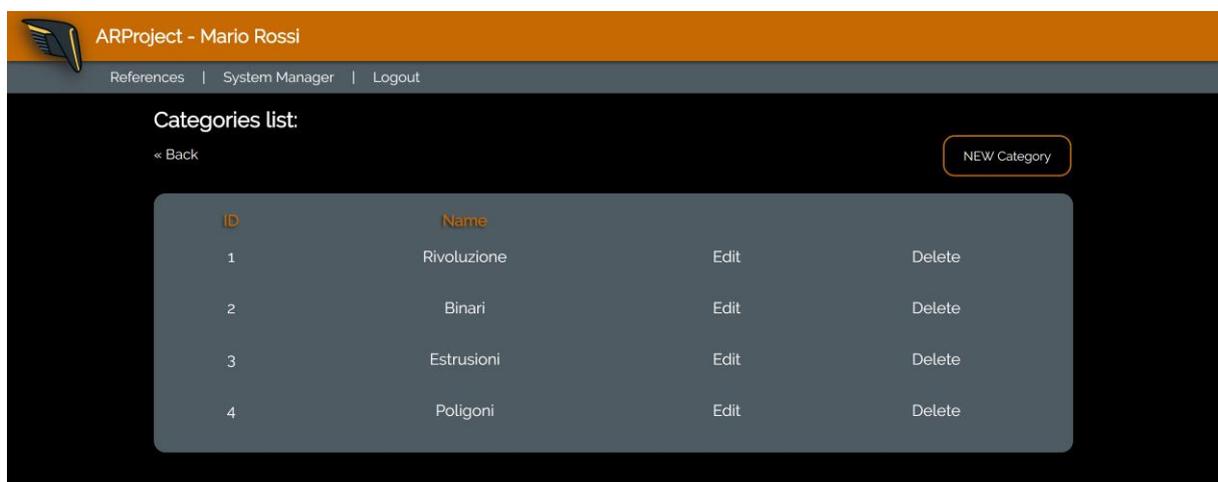
Attraverso questa pagina (Figura 3-21) è possibile visualizzare le possibili categorie d'appartenenza delle reference caricate dal docente. Oltre alla visualizzazione è possibile modificare una certa categoria, eliminarla o crearne una nuova.

L'unico attributo associato al tipo di dato "Categoria" è il nome, che quindi sarà l'oggetto di eventuali modifiche (Figura 3-22) e dovrà essere definito in fase di creazione (Figura 3-23).



	Student	Reference	Date	Points	
	GIUSEPPE VERDI	Chair	05/Feb/2018	5674	Delete
	GIOACHINO ROSSINI	Chair	05/Feb/2018	3393	Delete
	CARLO BIANCHI	Chair	05/Feb/2018	6100	Delete

Figura 3-20 - Pagina relativa all'Upload Manager



ARProject - Mario Rossi

References | System Manager | Logout

Categories list:

« Back NEW Category

ID	Name	Edit	Delete
1	Rivoluzione	Edit	Delete
2	Binari	Edit	Delete
3	Estrusioni	Edit	Delete
4	Poligoni	Edit	Delete

Figura 3-21 - Pagina relativa al Categories Manger

Come sempre è prevista una funzione di “Delete” che permette la rimozione di una certa categoria dalla tabella “categories”.



Figura 3-22 - Pagina dalla quale è possibile inserire una nuova categoria

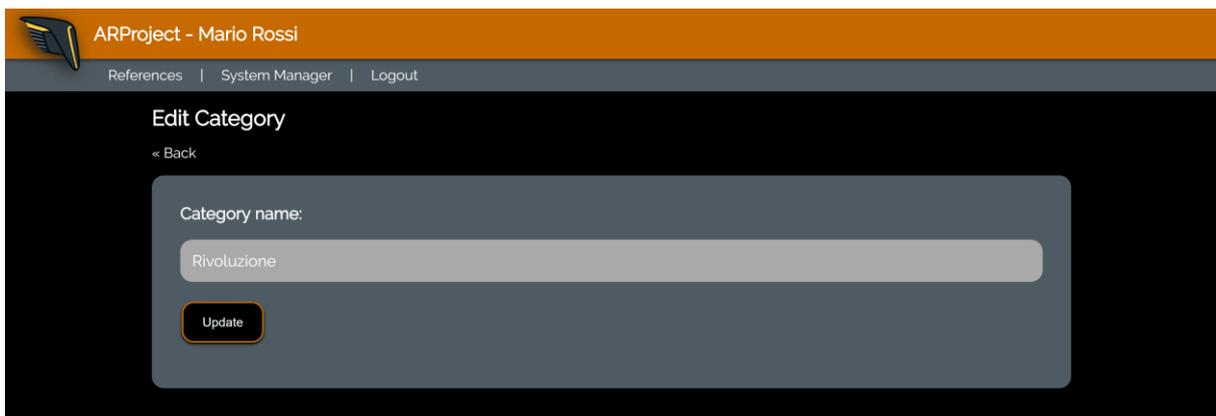


Figura 3-23 - Pagina dalla quale è possibile modificare il nome di una categoria

3.4.4 Exercises Manager

Questa pagina gestisce la parte relativa agli esercizi presenti all’interno dell’applicativo di guida e verifica. Prima di andare a spiegarne il contenuto e i sottolivelli è bene approfondire la logica con cui sono gestiti gli esercizi.

Come spiegato in Figura 3-24 si distinguono due entità: “Exercise” e “Question”. Un “Exercise” è costituito da diverse “Question” e queste ultime sono costituite da diversi attributi che costituiranno gli elementi saranno visualizzati nell’applicativo mobile preposto.

Tale predisposizione logica necessita quindi di una definizione all’interno del database che prevede pertanto due tabelle. Una prima tabella “exercises” con i seguenti attributi:

- id: identificativo dell’esercizio;
- name: nome dell’esercizio.

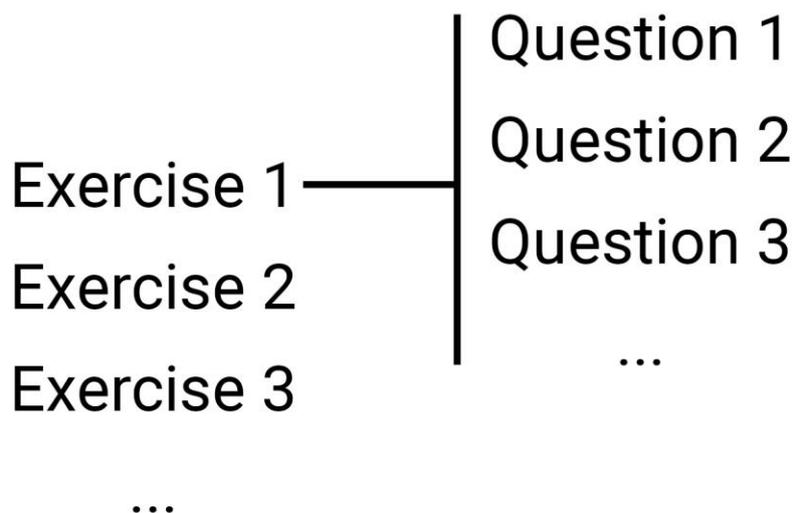


Figura 3-24 - Rappresentazione schematica del rapporto tra "Exercise" e "Question"

Alla quale segue una seconda tabella “questions” con i seguenti attributi:

- id: identificativo della domanda;
- id_ex: riferimento esterno all’esercizio a cui la domanda appartiene;
- position: posizione della domanda secondo l’ordinamento interno;
- question: corpo della domanda;
- answer1: prima risposta;
- answer2: seconda risposta;
- answer3: terza risposta;
- correct_answer: risposta corretta;
- time: tempo a disposizione;
- mesh: oggetto 3D da associare alla domanda.

Tornando al portale web, una volta acceduti alla pagina “Exercises Manager” dal menù “System Manager” è possibile visualizzare l’elenco degli esercizi creati (Figura 3-25).

Attraverso questa tabella è possibile accedere all’elenco delle domande associate ad un singolo esercizio facendo click sul nome di uno di essi, oppure è possibile modificarne il nome tramite la funzione “Edit” o eliminare l’intero esercizio con le relative domande facendo click su “Delete”. A queste si aggiunge la possibilità di creare un esercizio nuovo definendone il nome e che, appena creato, non avrà alcuna “Question” all’interno.

ARProject - Mario Rossi

References | System Manager | Logout

Exercises list:

<< Back NEW exercise

Name	Number of questions	Edit	Delete
Polyline e Rivoluzione	6	Edit	Delete
Archi - Cerchi - Snap - Estrusione	2	Edit	Delete
Trim - Fillet - Join	0	Edit	Delete
Revolve	0	Edit	Delete
Boat	0	Edit	Delete
Rearview mirror	0	Edit	Delete

Figura 3-25 - Pagina relativa all'Exercises Manager

Accedendo alla pagina del singolo esercizio si visualizza una pagina simile alla precedente (Figura 3-26) nella quale però sono presenti l'elenco delle domande e sulle quali è possibile fare le seguenti operazioni: riordino all'interno dell'elenco tramite apposite frecce direzionali; eliminazione tramite funzione "Delete"; modifica della domanda tramite click sul nome e creazione di una nuova domanda. Queste ultime due funzionalità sono applicabili tramite form appositi.

ARProject - Mario Rossi

References | System Manager | Logout

Questions list:

<< Back NEW question

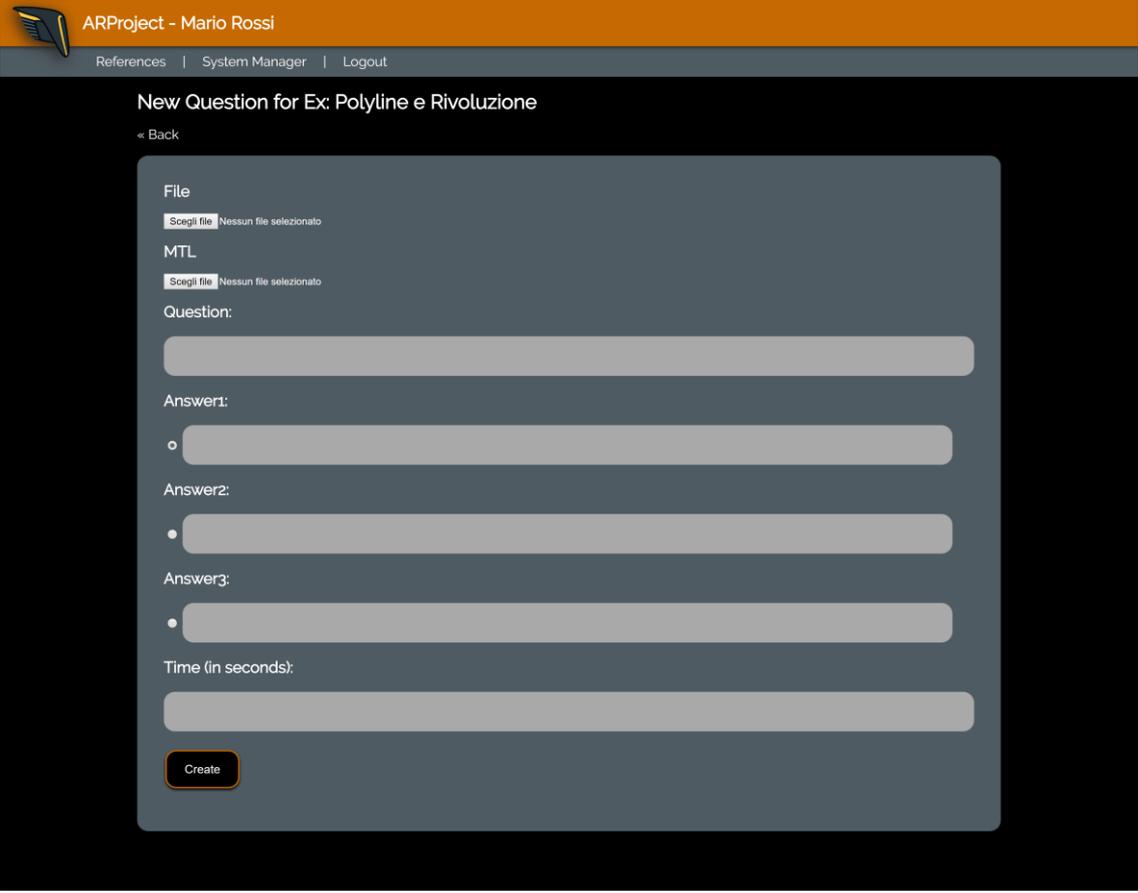
	Question	Correct answer	Delete
1	↕ - This is the object you will model. Is it symmetrical?	Yes	Delete
2	↑ ↓ - Select the correct axis of symmetry/rotation:	Green	Delete
3	↑ ↓ - Which of these profiles is the most efficient for creating the object?	Yellow	Delete
4	↑ ↓ - Which tool should be used to create the object profile?	Spline	Delete
5	↑ ↓ - Which of these angle rotation allow you to create the complete object?	360	Delete

Figura 3-26 - Pagina che elenca le domande del singolo "Esercise"

La creazione di una nuova domanda avviene in una pagina specifica (Figura 3-27) nella quale si definiscono il corpo della domanda, le tre risposte possibili con relativi radio button tramite i quali selezionare la risposta corretta, il tempo a disposizione per rispondere a questa domanda e l'oggetto 3D associato con relativo MTL: quest'ultimo dato è utile per visualizzare nei contenuti di Realtà Aumentata oggetti con specifici attributi pittorici, utili per focalizzare l'attenzione su specifiche aree dell'oggetto (esempi di tale applicazione sono visibili nel Capitolo 5). Per la modifica di una domanda il form è del tutto simile a quello descritto precedentemente: la differenza principale è che i campi sono già compilati con i valori attuali e che questi possono essere modificati, compresi i file OBJ e MTL associati. Il caricamento effettivo dei file, a differenza della procedura prevista per le reference del docente e upload degli studenti, prevede come unico processamento, la conversione in AssetBundle per la visualizzazione in AR (Paragrafo 4.3.5).

3.4.5 Students Manager

Oltre alle aree sopra elencate, il docente ha la possibilità di eseguire funzioni sull'insieme degli studenti che frequentano il corso attraverso la pagina "Students Manager" (Figura 3-28). In questa pagina è presente l'elenco completo degli studenti registrati, due funzionalità di aggiunta di nuovi studenti (studente singolo o gruppi), una funzione "Summary" che offre una panoramica delle informazioni su un determinato studente, una funzione "Edit" per l'eventuale modifica del nome e una funzione "Delete" per la cancellazione dello studente dal database.



The screenshot displays the 'ARProject - Mario Rossi' web interface. At the top, there is a navigation bar with 'References', 'System Manager', and 'Logout' links. The main content area is titled 'New Question for Ex: Polyline e Rivoluzione' and includes a '< Back' link. The form contains several input fields: 'File' and 'MTL' (both with 'Scegli file' buttons and 'Nessun file selezionato' text), a 'Question:' text area, three 'Answer' sections (labeled 'Answer1:', 'Answer2:', and 'Answer3:') each with a radio button and a text input field, and a 'Time (in seconds):' text input field. A 'Create' button is located at the bottom of the form.

Figura 3-27 - Pagina dalla quale è possibile caricare una nuova "Question"

È possibile inserire un nuovo studente facendo click sul pulsante “New Student”. Questo farà accedere il docente ad una pagina (Figura 3-29) con tre campi da compilare: “First Name”, “Last Name”, “ID”; che indicano rispettivamente il nome, il cognome e la matricola. Compilati questi campi è possibile fare click sul pulsante “Create” e sarà così definito un nuovo studente con le relative credenziali d’accesso.

Oltre a questa opzione è possibile inserire un gruppo di studenti tramite la pagina “Load CSV” (Figura 3-30) nella quale è presente una textarea dove è possibile inserire un certo numero di studenti formattati secondo il formato CSV che usa il carattere “;” come separatore. Ecco un esempio di testo CSV accettato dal sistema:

```
111111;ROSSI;MARIO
111112;BIANCHI;ALBERTO
111121;VERDI;GIUSEPPE
```

In questo esempio sono elencati tre studenti (separati tra loro tramite interlinea “\n”) e per ognuno di essi sono elencati nell’ordine la matricola, il cognome e il nome.

Basterà fare click su “Load” e il testo verrà processato al fine di caricare l’insieme degli studenti appositamente inseriti.

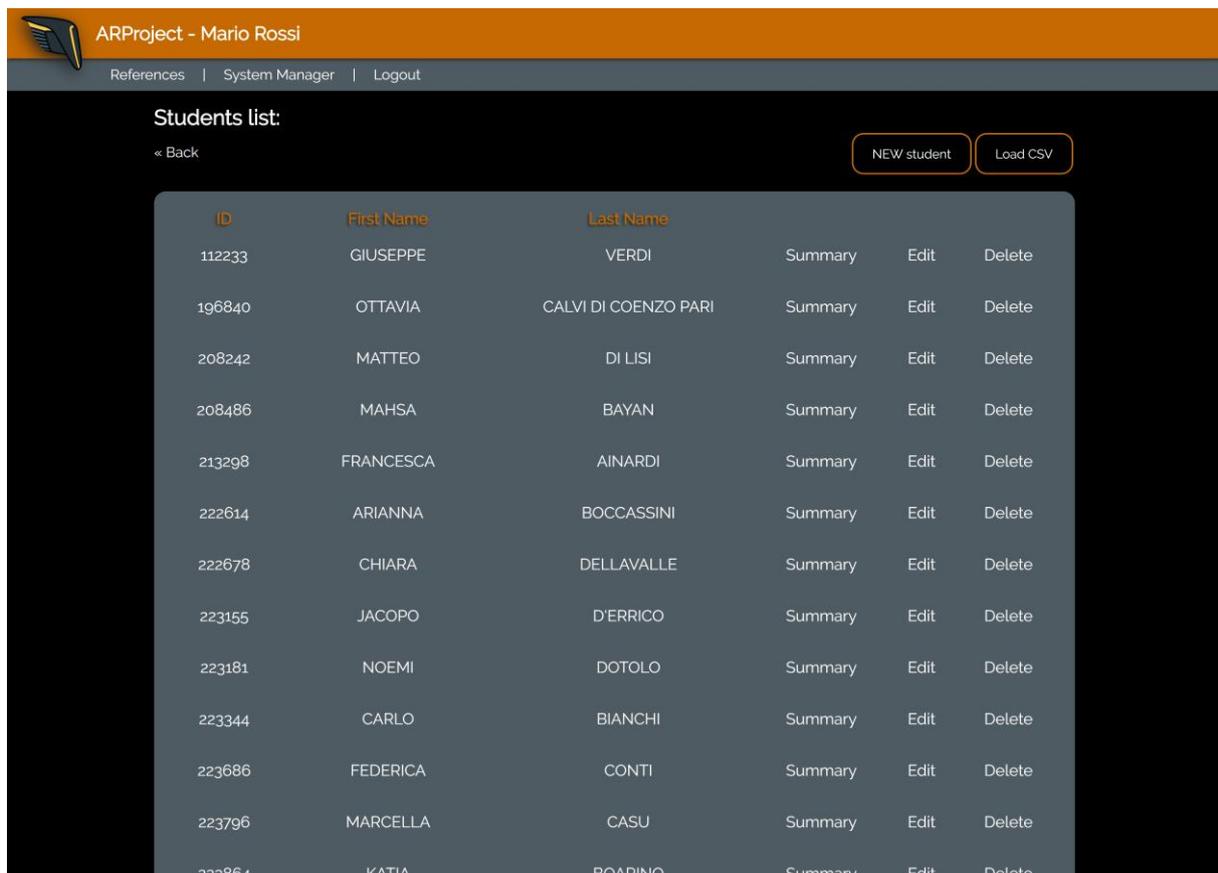


Figura 3-28 - Pagina relativa allo Students Manager

ARProject - Mario Rossi

References | System Manager | Logout

New Student

[« Back](#)

First name:

Last name:

ID:

Create

Figura 3-29 - Pagina dalla quale è possibile inserire un nuovo studente

ARProject - Mario Rossi

References | System Manager | Logout

Load CSV

[« Back](#)

CSV:

Insert CSV here.

Load

Figura 3-30 - Pagina dalla quale è possibile caricare un'elenco di studenti tramite formato CSV

Precedentemente si era fatto accenno alla funzionalità “Summary”: come suggerito dal nome, grazie ad essa si potrà accedere ad una pagina (Figura 3-31) in cui sono riassunti i caricamenti e le sessioni di esercitazioni effettuate dallo studente con relativo punteggio.

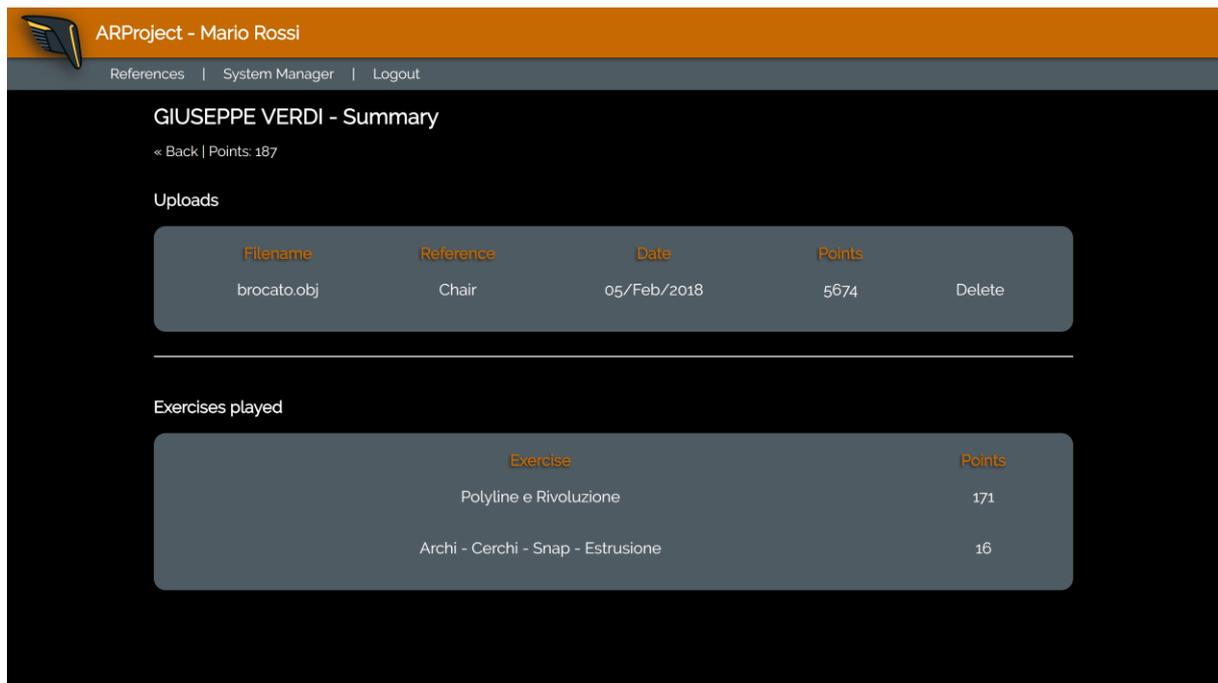


Figura 3-31 - Pagina che riassume i caricamenti e le esercitazioni effettuate di un singolo studente

3.5 Visualizzazione del portale web su dispositivi mobile

Data la possibilità, offerta da ormai parecchi anni, che i dispositivi mobile danno di poter accedere a pagine web è stata considerata l'idea di impiegare per il portale un'interfaccia che si adatti non solo ai canonici monitor dei computer ma anche a quelli di dimensione minore e con diversi rapporti d'aspetto. A tal proposito è possibile visionare in Figura 3-32 alcuni esempi di pagine del portale visualizzate tramite dispositivi mobile.

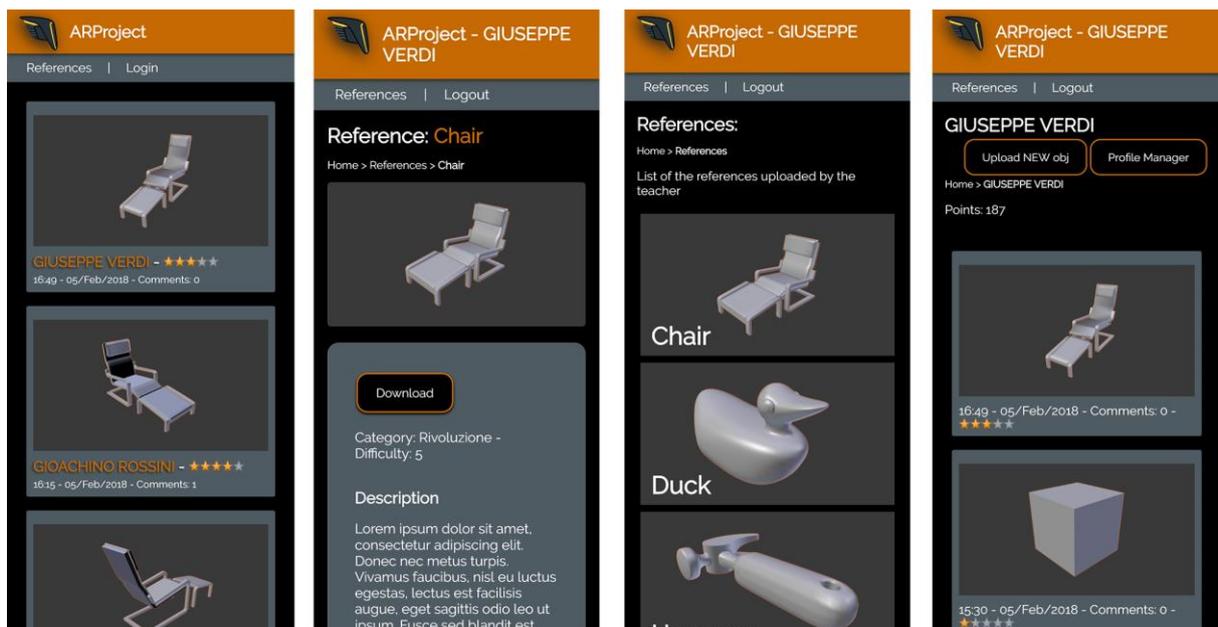


Figura 3-32 - Alcune pagine del portale viste da un dispositivo mobile

4. Applicazioni mobile

A differenza del portale web, nel quale si raccolgono tutte le funzionalità più importanti relative all'elaborazione delle informazioni presenti nel database di progetto, le applicazioni mobile hanno lo scopo di rendere visibili i modelli realizzati dal docente e dagli studenti e di coinvolgere questi ultimi attraverso un'applicazione di edutainment al fine di assimilare i concetti spiegati a lezione. Come anticipato nei capitoli precedenti il sistema mobile prevede due applicazioni: un visualizzatore in AR e un'applicazione di guida e valutazione. Per comodità, in sede di sviluppo del progetto, queste due applicazioni sono state definite rispettivamente *ARViewer* e *ARGame*.

4.1 *ARViewer*

Attraverso quest'applicazione mobile è possibile visualizzare in Realtà Aumentata tramite un dispositivo mobile i modelli caricati dagli studenti o le reference messe a disposizione dal docente.

Per sviluppare tale applicazione è stato impiegato Vuforia come Software Development Kit (vedi Paragrafo 2.5), che è stato integrato all'interno del motore grafico Unity, utile per la definizione e l'inserimento dei modelli all'interno dell'applicazione e per la realizzazione dell'applicazione stessa in termini di visualizzazione degli elementi e di comunicazione con il server. Ciò che nel portale web era definita come *pagina*, in Unity può essere definita *scena*: ogni scena è quindi una vista su un determinato ambiente 3D nel quale sono presenti oggetti poligonali, immagini e testi. È inoltre possibile combinare questi due ultimi elementi per andare a comporre interfacce 2D tramite le quali costruire, ad esempio, dei menù come alcuni di quelli creati per quest'applicazione.

4.1.1 Struttura dell'applicazione

Il visualizzatore presenta un'architettura abbastanza semplice: come mostrato in Figura 4-1 esso prevede un menù iniziale dal quale è possibile scegliere se visualizzare i caricamenti degli studenti o le reference del docente (Figura 4-2); scegliendo uno di questi si accederà ad un'altra vista che presenterà l'elenco dei modelli disponibili; selezionando il modello lo si potrà poi visualizzare in AR.

4.1.2 Accesso al server

Nel momento in cui diviene necessaria la visualizzazione sia della lista dei modelli sia del modello stesso in AR è necessario che l'applicazione acceda alle informazioni contenute nel database. Come un comune client l'applicazione deve dunque fare delle richieste al server di specifiche pagine che contengono le informazioni relative ai modelli.

Lato server sono dunque state create delle pagine ad hoc che possono essere richieste tramite Unity. Per il visualizzatore le pagine sono:

- `ref_list.php`, che visualizza l'elenco delle reference caricate dal docente;

- up_list.php, che visualizza l'elenco degli upload effettuati dagli studenti,

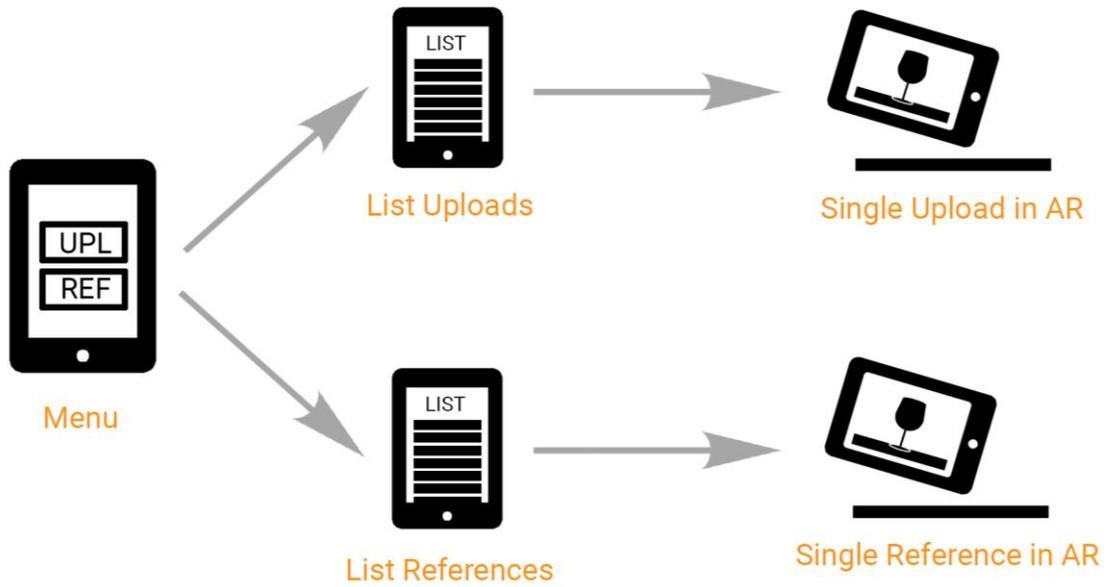


Figura 4-1 - Architettura del visualizzatore in AR

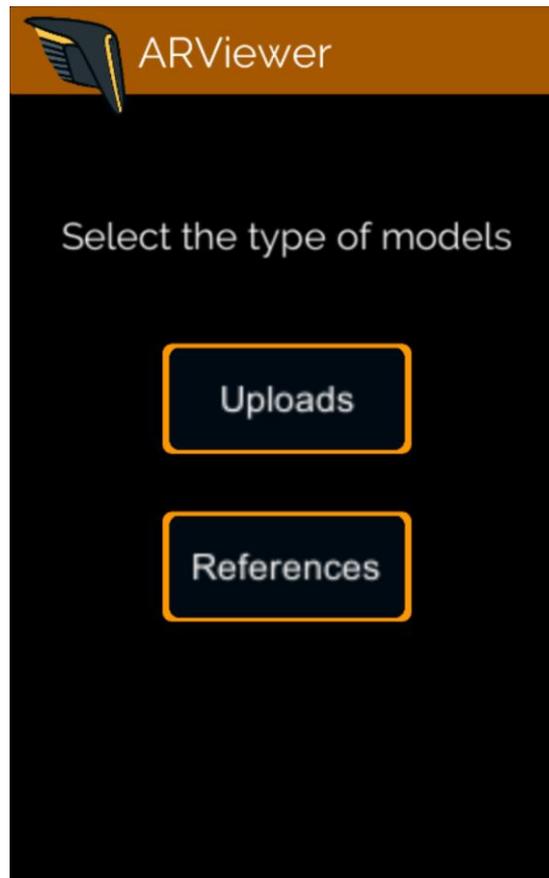


Figura 4-2 - Menù iniziale del visualizzatore AR

Lato client viene sfruttata la classe WWW di Unity [44], la cui funzione è proprio quella di fare semplici accessi a pagine web. Basta infatti creare un'istanza di questa classe inserendo l'url proprio come dato d'ingresso al costruttore. Qui di seguito ad esempio:

```
WWW mypage = new WWW("http://www.mysite.com");
```

L'oggetto conterrà quindi l'intera pagina scaricata dal server e i diversi elementi presenti possono essere estratti tramite metodi messi disponibili questa classe.

Gli elenchi restituiti in output dalle pagine `ref_list.php` e `up_list.php` sono informazioni di tipo testuale formattate in maniera specifica affinché possano essere "lette" dalle funzioni Unity: in particolare ogni voce dell'elenco è separata dalla successiva tramite un ";" e per ogni attributo è presente sia la chiave che il valore (es. "ID:1|Name:Chair|.."). Il testo viene quindi processato e le informazioni estratte andranno a popolare lo spazio dedicato all'elenco dei modelli tramite tanti "button" quanti sono i modelli presenti nel sistema (Figura 4-3).

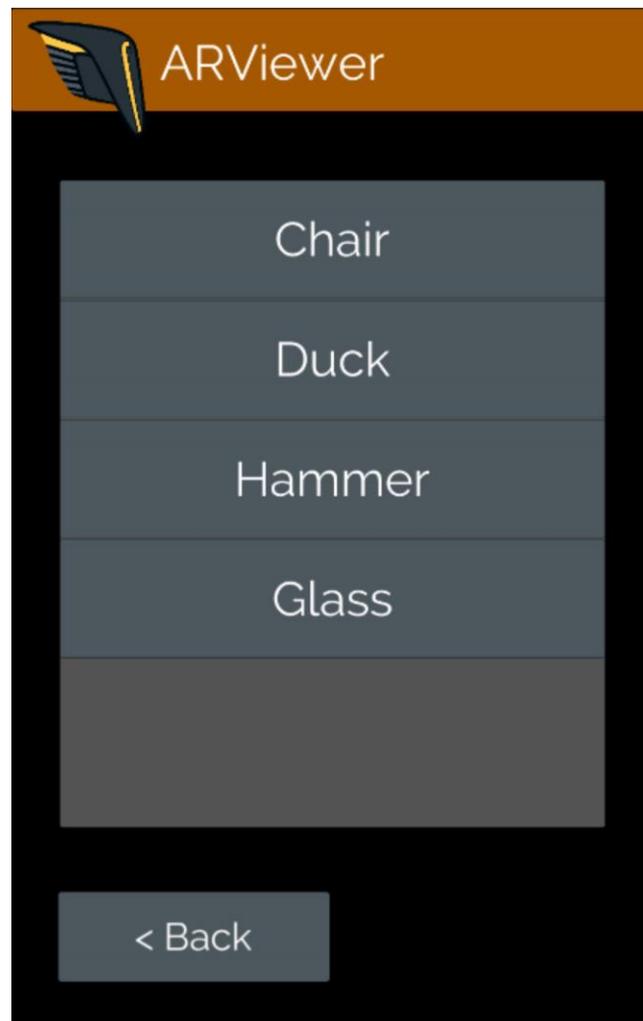


Figura 4-3 - Lista delle Reference del visualizzatore

Selezionato un modello si passa alla visualizzazione in realtà aumentata di quest'ultimo: a tutto schermo verranno visualizzate le immagini acquisite in tempo reale dalla fotocamera del dispositivo; basterà quindi inquadrare un marker specificato precedentemente e si potrà visualizzare il modello scelto come "poggiato" sul marker stesso (Figura 4-4).

Il caricamento del modello è, anche in questo caso, un processo dinamico che prevede l'impiego di una richiesta al server: a differenza del processo precedente, in questa situazione le informazioni richieste non sono di tipo testuale, ma è richiesto il vero e proprio modello da visualizzare ed agganciare al marker. Per fare questo si utilizza ancora una volta un'istanza della classe WWW che a sua volta conterrà la risposta da parte del server dalla quale però questa volta verrà estratto un AssetBundle: esso non è altro che un contenitore all'interno del quale possono essere inseriti diversi tipi di Asset⁴. Ogni modello ha quindi un AssetBundle che contiene al suo interno un modello poligonale compatibile con l'ambiente Unity, ed è quest'ultimo che sarà visualizzato a schermo nell'applicazione.

Come si può notare in Figura 4-4, è presente inoltre nell'interfaccia uno slider sul fondo: esso dà la possibilità di modificare le dimensioni del modello in quanto diversi modelli possono avere dimensioni diverse; questa scelta di utilizzo degli slider può essere estesa ad altre trasformazioni o traslazioni che possono risultare utili per la visualizzazione del modello.

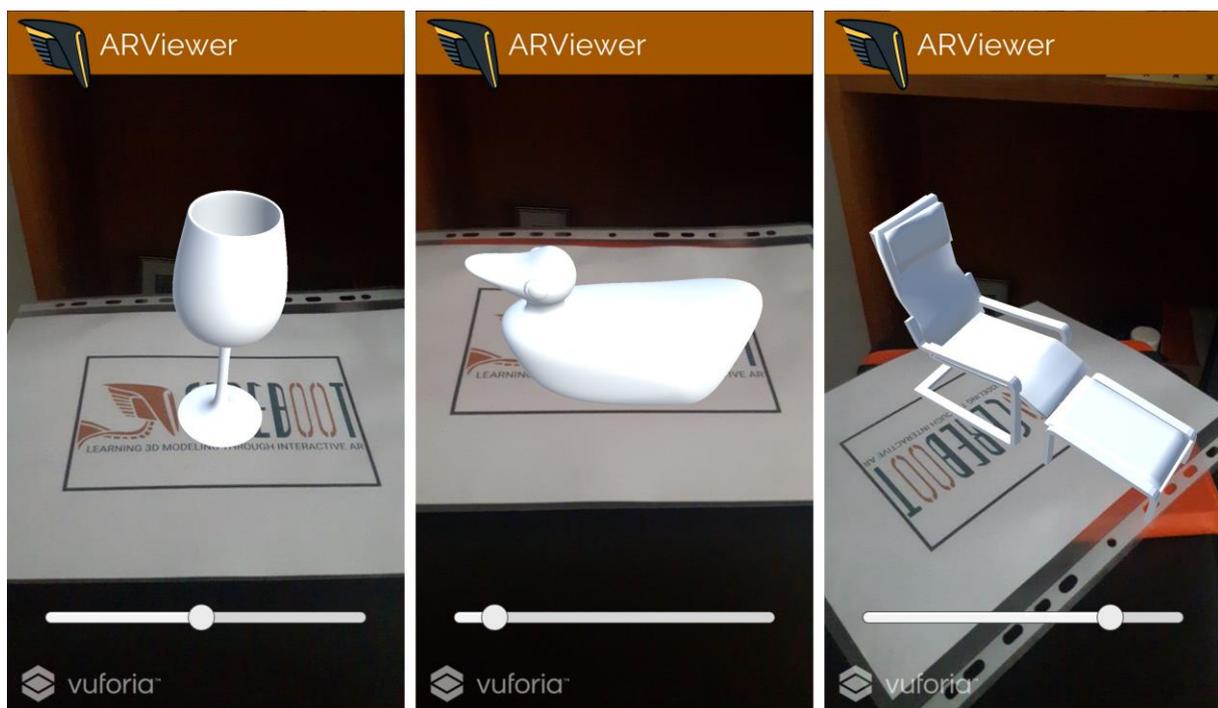


Figura 4-4 - Alcune schermate di visualizzazione degli oggetti realizzati in Realtà Aumentata

⁴ Si intende per *Asset* un qualsiasi elemento grafico o script che può essere utilizzato all'interno dell'ambiente di Unity.

4.2 ARGame

Tramite quest'altra applicazione è possibile accedere ad una piattaforma tramite la quale gli studenti possono "mettersi in gioco" facendo delle esercitazioni, ognuna delle quali prevede un insieme di domande relative ad un determinato oggetto mostrato in Realtà Aumentata.

Anche in questo caso vengono utilizzati Vuforia come SDK e Unity come ambiente grafico. Questa scelta ricalca le motivazioni già citate nel paragrafo precedente, in quanto le necessità in termini di funzionalità sono perlopiù simili a quelle del visualizzatore, se non per il fatto che a seguire vi sarà una fase in cui nuove informazioni verranno inserite all'interno del database, invece che la semplice attuazione di un accesso in lettura.

Come mostrato in Figura 4-5 all'accesso all'applicazione è prevista una fase di Login (Figura 4-6) nella quale lo studente dovrà inserire le sue credenziali (le stesse utilizzate per accedere al portale web): questo perché, a differenza del visualizzatore, sono necessarie delle informazioni relative allo studente, in particolare quelle relative alle partite giocate ed ai punteggi ottenuti. L'informazione di Login effettuato viene memorizzata per accessi futuri grazie alla classe Unity PlayerPrefs [45] che è in grado di archiviare informazioni all'interno del dispositivo sul quale l'applicazione è lanciata semplicemente definendo per tale informazione un nome identificativo univoco per quell'informazione e utilizzando due tipologie di metodi: metodi SET che associano l'identificativo al valore da salvare, e metodi GET che, dato un certo identificativo, restituiscono il valore corrispondente. A seguire due esempi dei rispettivi metodi per la memorizzazione di dati di tipo testuale:

Associazione della variabile myString alla chiave myKey:

```
string myString = "This is a value";  
PlayerPrefs.SetString("myKey", myString);
```

Estrazione del valore associato alla chiave a myKey:

```
PlayerPrefs.GetString("myKey", "No value found");
```

Il secondo valore in ingresso alla funzione GetString è un valore di default nel caso in cui non si trovasse alcun valore per la chiave selezionata.

Per memorizzare l'informazione relativa al Login dello studente è stato definito un identificativo "Id_stud" al quale, effettuato l'accesso, viene associato il valore della matricola dello studente. Negli accessi successivi verrà controllato se tale valore è ancora presente alla voce "Id_stud".

A seguito della fase di Login si accede alla vista principale (Figura 4-7), una sorta di homepage nella quale sono presenti il nome dello studente che ha effettuato l'accesso e il punteggio ottenuto dall'insieme delle esercitazioni effettuate. Da questa schermata è inoltre possibile accedere all'elenco delle esercitazioni messe a disposizione dal docente tramite il portale web.

Il principio di funzionamento della visualizzazione dinamica dell'elenco delle esercitazioni (Figura 4-8) è del tutto simile agli elenchi degli uploads e delle reference visti nel paragrafo precedente: anche in questo caso si sfrutta la classe WWW per fare una richiesta al server. In

questo caso la pagina richiesta sarà `ex_list.php` che restituisce l'elenco delle esercitazioni definite dal docente.

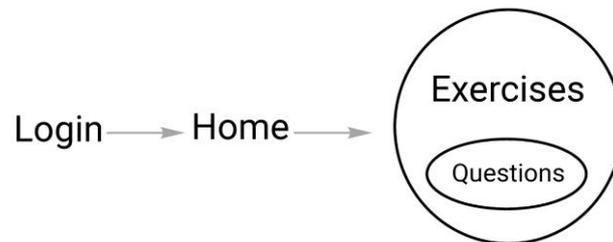


Figura 4-5 - Flusso di visualizzazione delle varie viste di ARGame

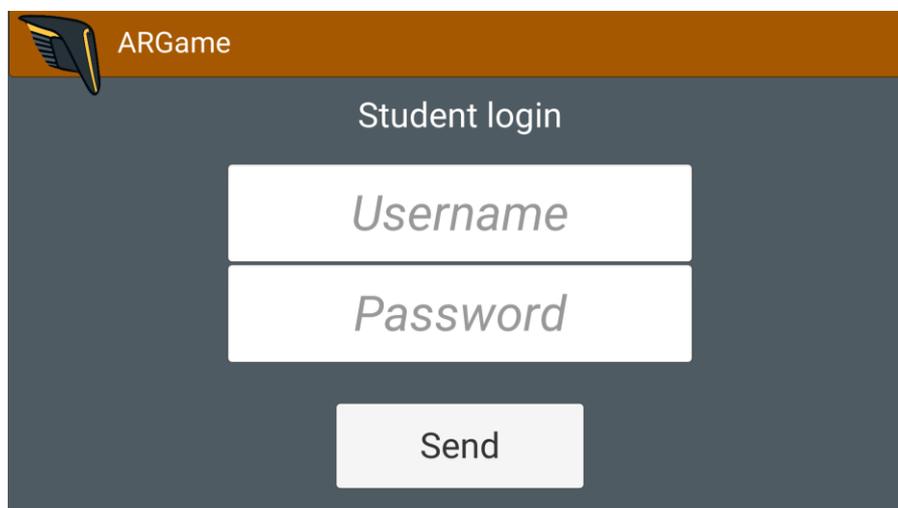


Figura 4-6 - Schermata di Login di ARGame

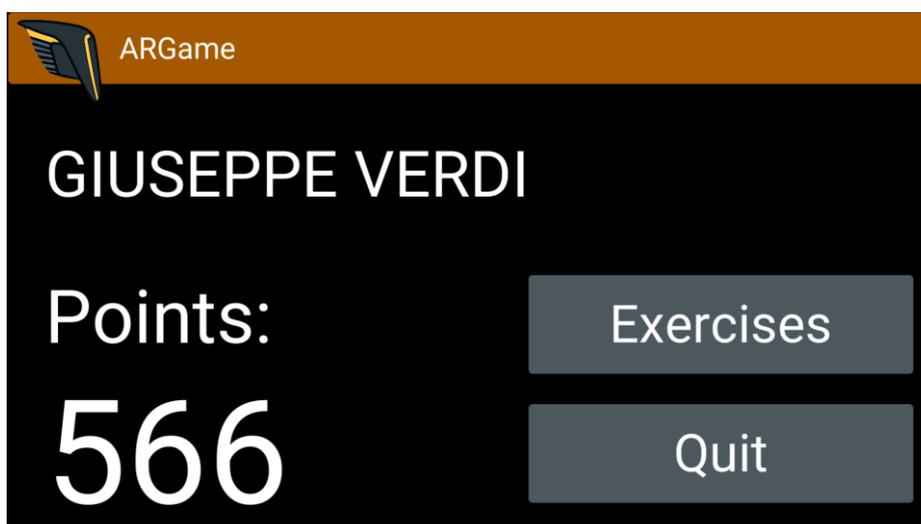


Figura 4-7 - Schermata principale dell'applicazione



Figura 4-8 - Schermata che elenca le esercitazioni disponibili

Una volta selezionato l'esercizio si passerà alla schermata del singolo esercizio (Figura 4-9), in cui verranno proposte le domande ad esso relative e al quale lo studente dovrà rispondere. A differenza delle viste su elenchi che sono state introdotte precedentemente, in questo caso, a seguito del recupero delle informazioni tramite richiesta al server web, è necessaria un'ulteriore elaborazione delle informazioni: questo perché è necessario che sia visualizzata una domanda per volta scorrendo l'elenco a seguito della risposta data.

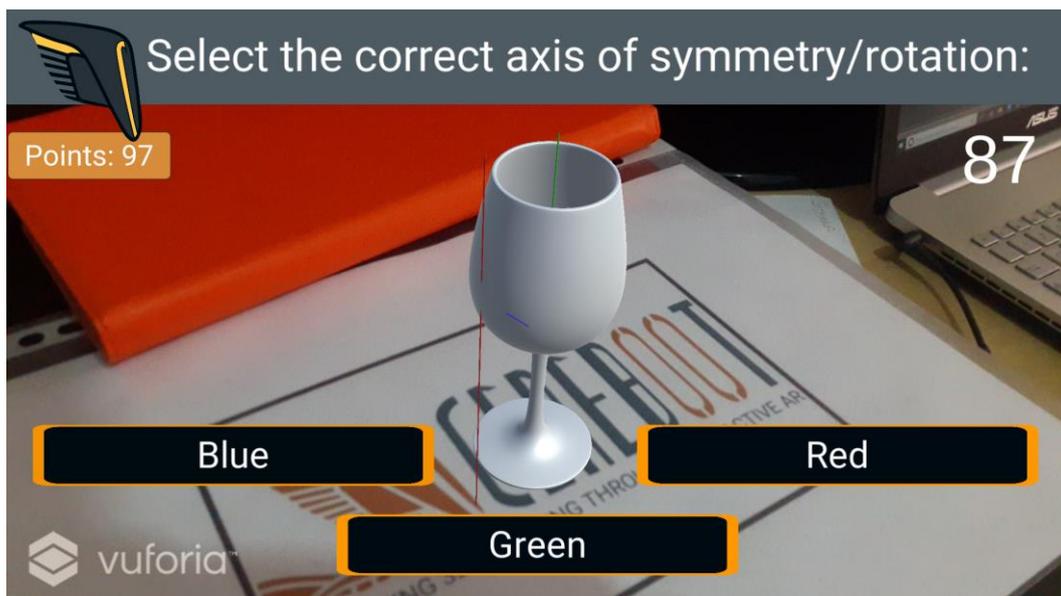


Figura 4-9 - Schermata di un singolo esercizio di ARGame

Per fare ciò è stata definita per la scena una variabile globale count che funge da indice indicativo per la domanda mostrata a video: mentre le informazioni relative a tutte le domande sono all'interno di un array, l'accesso viene effettuato tramite l'indice globale, ciò significa che la domanda visualizzata (con il relativo oggetto in AR) è la domanda corrispondente all'indice count che verrà aggiornato nel momento in cui verrà data la risposta. Per la fase di visualizzazione della nuova domanda è stato appunto definito un metodo specifico per l'aggiornamento dei valori dei testi degli elementi dell'interfaccia (metodo UpdateQuestion()) prendendo i nuovi valori dall'array di output della richiesta al server e dal nuovo valore di count aggiornato secondo gli eventi previsti.

Come anticipato nel Paragrafo 4.4.4 le domande, oltre ad essere composte dal testo della domanda stessa, le tre alternative di risposta, la risposta esatta e l'oggetto 3D associato, prevedono la presenza di un valore numerico che sta ad indicare il tempo massimo entro il quale dare la risposta. Per questo motivo l'applicazione prevede inoltre una variabile timer alla quale è associato il valore numerico sopra citato e decrementato ogni secondo. Allo scadere del tempo si passa automaticamente alla domanda successiva senza guadagnare alcun punto. Questo succede anche se si risponde in tempo ma in maniera errata. Altrimenti, se entro il tempo definito si risponde correttamente i secondi avanzati vengono accumulati come punti in una variabile a parte.

Finita la sessione di domande si procede con l'aggiornamento del database con il punteggio ottenuto: questa, a differenza delle altre richieste al server, è un'operazione in scrittura. Se per le richieste delle singole pagine era necessario l'impiego della classe WWW, per corredare le pagine di informazioni in ingresso si utilizza in aggiunta la classe WWWForm: creando un'istanza di questa classe è possibile creare una struttura dati che associa dei valori (in questo caso il punteggio ottenuto, i dati dello studente e dell'esercizio) a dei nomi che fungeranno da chiave come se si stesse compilando un form HTML [46]. Queste informazioni inserite nell'istanza di WWWForm saranno dunque date in ingresso insieme alla pagina richiesta nel costruttore dell'oggetto della classe WWW, e verranno interpretate dal server come informazioni provenienti da un metodo POST [47]. La pagina richiesta avrà quindi delle funzionalità specifiche per il recupero delle informazioni e l'aggiornamento del database, in particolare della tabella 'game' che contiene i seguenti attributi:

- id: identificativo della singola riga della tabella;
- id_stud: riferimento allo studente;
- id_ex: riferimento all'esercizio;
- points: punteggio ottenuto.

5. Valutazione dell'usabilità delle applicazioni AR

Al fine di poter creare un prodotto che risponda alle necessità per le quali è stato creato è necessario verificare che gli obiettivi posti in fase di progettazione siano stati raggiunti.

Risulta dunque necessario effettuare tale verifica su coloro che rappresenteranno gli utilizzatori finali del prodotto, i quali presentano esigenze uniche che potrebbero essere non emerse in fase di sviluppo, ma che potrebbero essere determinanti per un corretto e ripetitivo utilizzo dell'applicazione.

Generalmente si tende a utilizzare il termine *usabilità* per indicare quanto bene l'utente di riferimento riesca ad utilizzare l'applicazione proposta [48].

Nel caso specifico di questo progetto di tesi è dunque necessario, a seguito della realizzazione di un prototipo funzionante, definire delle sessioni di test dell'applicazione al fine di raccogliere feedback e commenti utili per migliorare quella che sarà l'esperienza utente.

Dal punto di vista dei contenuti, questi test verteranno principalmente su quella che è l'usabilità delle applicazioni in Realtà Aumentata, in quanto, come visto nel Capitolo 1, è evidente da diverse ricerche e pubblicazioni scientifiche che non è ancora definito un vero e proprio standard per quanto riguarda le interfacce utente che sfruttano la Realtà Aumentata. A seguito di questi test si avranno non solo informazioni utili a migliorare l'esperienza d'uso delle applicazioni sviluppate, ma si potranno anche raccogliere dati utili per la futura definizione di uno standard, che si andranno a sommare a quelli delle ricerche sopra citate.

Restando in tema di pubblicazioni, la necessità di dover effettuare una scelta delle domande da effettuare in fase di test e di un metodo per la successiva valutazione di queste ha portato alla ricerca di standard metodologici sull'argomento AR. Di fatto non esiste un metodo universalmente riconosciuto per misurare l'usabilità di un'applicazione mobile in Realtà Aumentata, ma esistono diversi approcci sperimentali, tra i quali, per questo progetto, è stato scelto il modello *Handheld Augmented Reality Usability Scale* (meglio noto come HARUS, [48]), i cui dati risultanti emergono da specifici scenari che si verificano solo nell'interfacciamento con applicazioni mobile di Realtà Aumentata che altri test non evidenziano.

5.1 *Handheld Augmented Reality Usability Scale*

L'obiettivo di questa ricerca effettuata presso il Nara Institute of Science and Technology è quello di trovare un possibile standard per tutte quelle applicazioni di Realtà Aumentata che si interfacciano all'utente tramite un dispositivo tascabile (definito nella pubblicazione come *Handheld Augmented Reality – HAR*), come ad esempio smartphone o tablet.

Questo nasce dalla necessità di andare a sostituire metodi applicati precedentemente (e, spesso, ancora utilizzati) che presentano però un approccio più generico come la *System Usability Scale* (SUS, [50]) che nasce con l'intento di poter fare una veloce valutazione su sistemi di diversa natura (compresi hardware, software, dispositivi mobile, siti web e applicazioni); oppure il *NASA Task Load Index* (NASA-TLX, [51]), che valuta un determinato prodotto in base al carico di lavoro necessario per effettuare determinati compiti.

Nell'articolo è inoltre citato un altro test definito come Mobile Phone Usability Questionnaire (MPUQ, [52]) che presenta come specificità quella di rivolgersi alla valutazione di applicazioni per dispositivi mobili. Anche in questo caso, si evidenzia una lacuna per quanto riguarda i casi d'uso delle applicazioni di Realtà Aumentata, nelle quali il dispositivo stesso non è limitato a trasmettere dei contenuti, ma funge da interfaccia tra l'utente e la realtà nella quale quest'ultimo è situato.

5.1.1 Questionario

La scelta delle domande da includere all'interno del test è frutto dell'analisi delle principali problematiche relative all'utilizzo di applicazioni in Realtà Aumentata. Lo studio di diverse ricerche scientifiche ha portato alla definizione di due tipologie problematiche: di natura *percettiva* e di natura *ergonomica*.

Possibili problematiche di natura percettiva:

- Tracking instabile risultante da un'illuminazione dinamica dell'ambiente, o una "difettosa" integrazione con il sensore.
- L'applicazione presenta una latenza intollerabile.
- Il contenuto è eccessivo o di bassa qualità.
- I contenuti mostrati tramite display inducono a un eccessivo carico cognitivo.
- Il download del contenuto è troppo lento.
- Il display non è leggibile per via della luce ambientale esterna.
- La profondità è stimata in maniera non corretta.

Possibili problematiche di natura ergonomica:

- L'applicazione causa fatica dopo un uso prolungato.
- Il dispositivo è troppo ingombrante o pesante.
- L'applicazione non è reattiva o non fornisce alcun feedback.
- I pulsanti di input sono troppo piccoli.

Una volta definite le problematiche è facile intuire che un alto livello di usabilità dell'applicazione e della conseguente esperienza utente è dovuto ad una bassa o nulla incidenza delle problematiche sopra citate.

Per far sì che tali questioni emergano in fase di test è stato seguito un approccio simile a quello impiegato dal metodo SUS, ovvero tramite l'utilizzo di affermazioni sulle quali l'utente che effettua il test dovrà esprimere un punteggio in base a quanto egli sia in accordo (o in disaccordo) con quanto detto.

Come è stata fatta una separazione tra le problematiche di natura percettiva e di natura ergonomica, una distinzione simile è stata fatta per le affermazioni proposte, distinguendo quelle relative alla *comprensione*, che puntano a rilevare gli sforzi cognitivi necessari per

l'utilizzo dell'applicazione e quelle relative alla *manipolazione*, nelle quali si evidenziano gli sforzi fisici necessari all'utilizzo dell'applicazione.

Affermazioni sulla *comprensione* dell'applicazione:

- Quest'applicazione richiede un notevole sforzo mentale.
- La qualità delle informazioni mostrate sullo schermo è appropriata.
- Le informazioni mostrate a schermo sono difficili da leggere.
- Le informazioni mostrate a schermo rispondono in maniera sufficientemente rapida.
- Le informazioni mostrate a schermo sono confuse.
- Parole e simboli sullo schermo sono facili da leggere.
- Il display presenta un flickering eccessivo.
- Le informazioni mostrate a schermo sono consistenti.

Affermazioni sulla *manipolazione* dell'applicazione:

- L'applicazione richiede un notevole sforzo fisico.
- L'applicazione risulta comoda per le braccia e per le mani.
- Il dispositivo è scomodo da tenere durante l'esecuzione delle operazioni.
- Risulta facile inserire informazioni nell'applicazione.
- Le mani o le braccia risultano affaticate dopo l'utilizzo dell'applicazione.
- L'applicazione è facile da utilizzare.
- A un certo punto c'è stata la sensazione di perdere la presa del dispositivo.
- Le operazioni sul dispositivo sono semplici e non complicate.

Ogni affermazione è valutata con un valore tra 1 e 7, dove 1 corrisponde a "Sono pienamente in disaccordo" e 7 corrisponde a "Sono completamente d'accordo". Successivamente i valori vengono manipolati nel seguente modo: se l'affermazione rientra tra quelle "positive" si sottrae il valore 1 al punteggio che le è stato assegnato, se l'affermazione è tra quelle "negative" il punteggio associato viene sottratto al valore 7. Così facendo i valori delle risposte saranno mappati nell'intervallo [0-6].

Per ogni categoria (*comprensione e manipolazione*) si sommano i punteggi ottenuti per ogni affermazione. Da questi si ottiene un valore percentuale normalizzando il valore ottenuto per 48, cioè il punteggio massimo ottenibile. Moltiplicando successivamente per 100 si ottiene il valore finale dell'HARUS score, che va da un minimo di 0 ad un massimo di 100.

6. Sviluppi futuri

I test per la valutazione dell'usabilità delle applicazioni AR inizieranno nel mese di ottobre 2018, conseguentemente all'inizio del corso di Modello Virtuale e Rendering dell'anno accademico 2018/2019. Verrà data quindi la possibilità agli studenti di accedere al portale web tramite il quale poter usufruire delle funzionalità descritte nel capitolo 3 e scaricare le applicazioni di realtà aumentata e il relativo marker (Figura 6-1).



Figura 6-1 - Marker impiegato per le applicazioni AR

6.1 Dati di interesse

Come ripetuto più volte all'interno di questa tesi, dalle ricerche effettuate nel campo della Realtà Aumentata applicata all'edutainment non emerge alcuno standard al quale fare riferimento per la progettazione delle interfacce, per il flusso di operazioni applicabili per una corretta fruizione dei contenuti o per l'utilizzo di determinati framework a differenza di altri. Questo fatto accresce notevolmente l'importanza dei dati che saranno raccolti a seguito dell'inserimento dell'ecosistema di applicazioni sviluppato in questo progetto all'interno delle lezioni canoniche.

Prima di tutto vi è la valutazione dell'usabilità: a seguito di alcuni giorni di prova i ragazzi saranno invitati a compilare il questionario relativo all'HARUS test (capitolo 5), tramite il quale si evidenzieranno i punti di forza e di debolezza delle due rispettive applicazioni AR proposte, raccogliendo dati utili per un futuro miglioramento dell'esperienza utente e arricchendo il numero di informazioni utili per lo sviluppo di una buona interfaccia che supporti contenuti in realtà aumentata.

Oltre a questi dati vi sarà una anche valutazione del sistema nella sua interezza, al fine, ancora una volta, di migliorare l'esperienza di utilizzo da parte degli studenti, modificando ed eventualmente aggiungendo funzionalità utili per stimolare l'utilizzo continuativo delle applicazioni.

Sono inoltre molti i dati che si possono raccogliere senza considerare ulteriori test:

- numero di accessi da parte degli studenti;
- quantità di materiale caricato sul portale;
- punteggi ottenuti sul materiale caricato;
- numero di commenti e feedback sui propri progetti e su quelli degli altri studenti;
- numero di esercitazioni praticate;
- punteggi ottenuti sulle esercitazioni;
- verifica di eventuali collaborazioni o competizioni tra gli studenti.

Questi sono solo alcune delle informazioni utili che si possono ricavare da questo sistema, ai quali se ne possono aggiungere altri la cui utilità potrebbe emergere in un secondo momento a seguito delle prime valutazioni.

Le analisi fatte su questi dati non faranno altro che mettere in relazione i vari elementi o considerare tipologie singole e vedere come cambiano nel tempo una volta che il corso è iniziato.

Ad esempio, nel primo caso, potrebbe essere utile confrontare i valori dei due tipi di punteggi conseguibili: uno relativo ai modelli finiti e uno relativo alle esercitazioni eseguite su ARPractice. Entrambi i punteggi osservano rispettivamente diversi aspetti dell'apprendimento dei ragazzi: nel primo valuta le competenze relative alla modellazione, mentre il secondo valuta le conoscenze teoriche acquisite. Quindi valori eventualmente discordanti potrebbero essere un interessante oggetto di studio che potrebbe dar luogo ad ulteriori analisi più approfondite.

Nel caso delle analisi effettuate nel tempo, si potrebbe osservare la variazione della qualità dei modelli importati man mano che si continua con la pratica. Inoltre, lo stesso ragionamento si potrebbe applicare anche nel caso delle esercitazioni, evidenziando come variano le competenze sugli aspetti teorici.

Infine, tutto ciò che riguarda il numero di accessi e di operazioni effettuate è legato al livello di coinvolgimento degli studenti, i cui valori saranno quindi utili per migliorare gli aspetti di interazione con gli applicativi.

6.2 Espandibilità e trasportabilità del progetto

Nel paragrafo precedente si è notato come siano molte le variabili da osservare per un costante e continuo miglioramento del sistema sviluppato in questo progetto di tesi. I dati risultanti dalle analisi sopra citate hanno l'importante compito non solo di focalizzare l'attenzione su quali siano gli aspetti da migliorare, ma anche su quali siano gli aspetti che risultano ottenere un feedback positivo, costituendo così i punti di forza del sistema.

Uno degli aspetti più importanti del considerare quali siano i fattori positivi che portano al raggiungimento degli obiettivi di progetto è che essi rendono possibile l'espandibilità del sistema sviluppato, aggiungendo nuove funzionalità che siano sia d'ausilio agli studenti, come la valutazione dei rendering degli oggetti modellati, che per i docenti, come la visualizzazione e lo studio di eventuali statistiche.

Oltre a questo, diversi dei punti di forza riscontrati potrebbero essere impiegati in altri ambiti didattici. Basti pensare che, dato che una struttura tecnologica di base è stata creata, la progettazione di un sistema simile applicato ad un altro corso sarebbe concentrata più sulla concezione di nuovi modi di rappresentare le informazioni attraverso elementi 3D a scopo didattico, potendo sfruttare il sistema già presente per eventuali test preliminari. La sfida sarebbe quindi dare una spinta all'innovazione nel campo della visualizzazione di contenuti anche di natura astratta come quelli provenienti dall'informatica o dalla matematica, migliorando così l'esperienza di apprendimento degli studenti.

Ringraziamenti

Giunto a termine di questo percorso formativo desidero ringraziare tutte le persone che ho conosciuto durante questo mio percorso, condividendo con me momenti che mi hanno fatto crescere e maturare.

Ringrazio il Professore *Andrea Sanna* per avermi guidato lungo la realizzazione di questo progetto di tesi, sempre in maniera puntuale e professionale. Grazie per avermi dato la possibilità di realizzare un prodotto che, con molta probabilità, potrà essere impiegato e migliorato in un reale contesto didattico come quello del Politecnico di Torino.

Un ringraziamento particolare va anche al Professore *Fabrizio Valpreda* che mi ha permesso di conoscere l'importanza del *design* dell'esperienza utente all'interno di diversi contesti di sviluppo.

Vorrei ringraziare tutti i miei colleghi del corso di Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, che ho avuto modo di conoscere e stimare nei tanti lavori di gruppo svolti insieme.

Grazie a tutti i miei amici, soprattutto a quelli lontani che, nonostante la distanza, non mancano mai di farmi sentire il calore del loro affetto.

Grazie a *Debora*, senza la quale non avrei potuto affrontare questa sfida con la stessa forza e determinazione.

Infine, un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, ed in particolare, a mia madre e a mia sorella, che hanno sempre saputo guidarmi con saggezza nelle mie scelte, che hanno sempre creduto nelle mie potenzialità e che sempre saranno un punto di riferimento fondamentale nella mia vita.

Bibliografia

- [1] Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). OBJECT tracking: A survey. *Acm computing surveys (CSUR)*, 38(4), 13.
- [2] Bostanci, E., Kanwal, N., Ehsan, S., & Clark, A. F. (2013). User tracking methods for augmented reality. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 5(1), 93.
- [3] Sanna, A., & Manuri, F. (2016). A survey on applications of augmented reality. *Advances in Computer Science: an International Journal*, 5(1), 18-27.
- [4] Barfield, W. (Ed.). (2015). *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. CRC Press.
- [5] microsoft.com/en-us/hololens (consultato il 3/10/2017)
- [6] magicleap.com/stories/blog/a-small-reveal (consultato il 21/12/2017)
- [7] theverge.com/2018/2/5/16966530/intel-vaunt-smart-glasses-announced-ar-video (consultato il 5/2/2018)
- [8] x.company/glass/ (consultato 17/10/2017)
- [9] Reed, S. E., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L. H., Schladow, G., Yikilmaz, M. B., ... & Sato, E. (2014, December). Shaping watersheds exhibit: An interactive, augmented reality sandbox for advancing earth science education. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- [10] Natan Linder, Pattie Maes (2010, October) LuminAR: portable robotic augmented reality interface design and prototype. In *the Proceedings of UIST2010*.
- [11] Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1), 36-38.
- [12] Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6), 34-47.
- [13] Furness III, T. A. (1986, September). The super cockpit and its human factors challenges. In *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting (Vol. 30, No. 1, pp. 48-52)*. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- [14] Yohan, S. J., Julier, S., Bailiot, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., & Rosenblum, L. (2000). Bars: Battlefield augmented reality system. In *In NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military Systems*.
- [15] Henderson, S., & Feiner, S. (2011). Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17(10), 1355-1368.
- [16] re-flekt.com (consultato il 5/01/2018)
- [17] Doil, F., Schreiber, W., Alt, T., & Patron, C. (2003, May). Augmented reality for manufacturing planning. In *Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003 (pp. 71-76)*. ACM.
- [18] Steinhaus, H. (1938). Sur la localisation au moyen des rayons x. *Comptes Rendus de L'Acad. des Sci*, 206, 1473-1475.

- [19] Clark, A., & Dünser, A. (2012, March). An interactive augmented reality coloring book. In 3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium on (pp. 7-10). IEEE.
- [20] Techakosit, Somsak & Nilsook, Prachyanun. (2015). Using Augmented Reality for Teaching Physics. In The Proceedings of International e-Learning Conference 2015
- [21] Mesia, N. S., Sanz, C., & Gorga, G. (2016, October). Augmented Reality for Programming Teaching. Student Satisfaction Analysis. In Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2016 International Conference on (pp. 165-171). IEEE.
- [22] Do, T. V., & Lee, J. W. (2010). 3darmodeler: a 3d modeling system in augmented reality environment. International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering, 4(2), 145-154.
- [23] Eitsuka, M., & Hirakawa, M. (2013, August). Authoring animations of virtual OBJects in augmented reality-based 3d space. In Advanced Applied Informatics (IIAIAAI), 2013 IIAI International Conference on (pp. 256-261). IEEE.
- [24] Álvarez, A., Javier, F., Parra, B., Beatriz, E., Tubio, M., & de Paula, F. (2014, October). From 2D to 3D: Teaching terrain representation in engineering studies through Augmented reality: Comparative versus 3D pdf. In Frontiers in Education Conference (FIE), 2014 IEEE (pp. 1-4). IEEE.
- [25] Tang, J. K., Duong, T. Y. A., Ng, Y. W., & Luk, H. K. (2015, December). Learning to create 3D models via an augmented reality smartphone interface. In Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 2015 IEEE International Conference on (pp. 236-241). IEEE.
- [26] Herpich, F., Guarese, R. L. M., & Tarouco, L. M. R. (2017). A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications. Creative Education, 8(09), 1433.
- [27] artoolkit.org
- [28] augment.com
- [29] aurasma.com
- [30] blippar.com/en
- [31] catchoom.com/product/craftar/augmented-reality-and-image-recognition
- [32] easyar.com
- [33] kudan.eu
- [34] layar.com
- [35] vidinoti.com
- [36] vuforia.com
- [37] wikitude.com
- [38] L. Cuniglio, J. Destefanis, A. Mantovani. Nuove tecnologie e prospettive educative: imparare a modellare in 3D con la Realtà Aumentata. Settembre 2017.
- [39] php.net/manual/en/intro-what-is.php
- [40] mysql.com
- [41] unity3d.com

- [42] en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_Technologies
- [43] Chen, D. Y., Tian, X. P., Shen, Y. T., & Ouhyoung, M. (2003, September). On visual similarity based 3D model retrieval. In *Computer graphics forum* (Vol. 22, No. 3, pp. 223-232). Blackwell Publishing, Inc.
- [44] docs.unity3d.com/ScriptReference/WWW.html
- [45] docs.unity3d.com/ScriptReference/PlayerPrefs.html
- [46] w3schools.com/html/html_forms.asp
- [47] w3schools.com/tags/ref_httpmethods.asp
- [48] Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Elsevier.
- [49] Santos, M. E. C., Polvi, J., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C., & Kato, H. (2015). Toward standard usability questionnaires for handheld augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 35(5), 66-75.
- [50] Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.
- [51] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183). North-Holland.
- [52] Ryu, Y. S., & Smith-Jackson, T. L. (2006). Reliability and validity of the mobile phone usability questionnaire (MPUQ). *Journal of Usability Studies*, 2(1), 39-53.