INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

Il MUVISS, MUseo VIrtuale di Scienze Spaziali, dell'IAPS

Report anni 2018-2019

Livia Giacomini, INAF-IAPS; Giulia Mantovani, INAF-IAPS;
Emanuele Scalise, INAF-IAPS; Federico Ciampi;
Laura Daricello, Osservatorio Astronomico di Palermo

Abstract

Il progetto della costituzione di un **MUseo VIrtuale di Scienze Spaziali (MUVISS)** dell'INAF - Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS) è nato nel 2018, con l'obiettivo di **far vivere al pubblico l'esperienza della scienza e dell'esplorazione spaziale grazie a tecnologie quali la realtà virtuale e aumentata,** strumenti estremamente efficaci per la comunicazione, divulgazione e didattica dell'Astronomia e in particolare per l'esplorazione del Sistema Solare e dello spazio. Nel 2018/2019, il **MUVISS** è stato avviato con una prima dotazione hardware e software e la sperimentazione di alcuni progetti multimediali all'interno dei locali dell'IAPS, includendo anche progetti preesistenti come **Pianeti in una stanza**. I primi due anni di attività per il pubblico, raccontati in questo report, hanno incluso sia attività in sede che in manifestazioni esterne e hanno raggiunto un pubblico di circa **6000 persone**. Come studio per la realizzazione del primo prototipo del **MUVISS** è stata anche pubblicata una tesi del Master in Scienza e Tecnologia Spaziali dell'Università di Roma Tor vergata, riportata come allegato a questo Report.

Il background del MUVISS

L'IAPS (Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali) produce e gestisce una grande quantità di dati planetologici e spaziali attuali grazie alle missioni spaziali in corso e future e conserva dati storici, per esempio con **la Fototeca della NASA** ospitata nell'Istituto. L'IAPS annovera inoltre tra i propri obiettivi, quello di presentare al pubblico la ricerca spaziale e i suoi risultati in progetti didattici e divulgativi innovativi.

Il **MUVISS, MUseo VIrtuale di Scienze Spaziali** dell'IAPS nasce da un'idea dell'Ufficio Comunicazione dell'Istituto - **COMET -** con l'obiettivo di **far vivere al pubblico un'esperienza legata ai temi di ricerca dell'IAPS**, utilizzando l'esperienza pregressa e progetti sviluppati precedentemente, come **Pianeti in una Stanza**, e sfruttando le potenzialità delle nuove tecnologie come la realtà virtuale (RV) e aumentata (RA), per comunicare in modo interattivo e immersivo contenuti scientifici legati al Sistema Solare e allo spazio a fini di divulgazione e didattica. All'interno del museo i visitatori possono "toccare con mano" il Sistema Solare, camminare sulla superficie dei pianeti, accarezzandone le lune; possono smontare satelliti e seguire le ultime missioni spaziali nelle loro traiettorie. Inoltre il pubblico può esplorare in modo immersivo ambienti spaziali che un tempo potevano solo essere considerati come degni del miglior film di fantascienza. Il **MUVISS** sfrutta

le nuove tecnologie per potenziare la comprensione e l'apprendimento della scienza, sperimentando nuove forme di comunicazione, divulgazione e didattica, dense di contenuti scientifici, con costi contenuti e contemporaneamente appassionanti per il pubblico.

Allestito in un ambiente reale all'interno dell'Istituto, il **MUVISS** non nasce come un museo che contiene oggetti, ma come contenitore di esperienze. Questa sua caratteristica fa sì che molte delle dotazioni hardware/software del **MUVISS** possano essere spostate in altri luoghi per far vivere le stesse esperienze ad un pubblico più vasto, nell'ambito di manifestazioni nazionali ed internazionali, come la **European Researchers Night**, la **Notte della Scienza** o la **Settimana dell'INAF**, mostre e fiere. In questo senso il **MUVISS** può essere considerato un museo diffuso.

Sulla base di queste premesse e grazie alla proficua collaborazione con l'**Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Matematica e Fisica** e con l'associazione **Speak Science**, il **gruppo COMET** nel 2018 ha dato il via alla costituzione di un primo prototipo del MUVISS realizzando, nel primo biennio di attività, alcuni sistemi e progetti sperimentali di realtà virtuale e testandoli nelle attività con le scuole e con il pubblico.

Il prototipo del MUVISS

Le attività sono iniziate con la costituzione di un gruppo di lavoro in IAPS interessato alla Realtà Virtuale (RV) e Realtà Aumentata, costituito da Livia Giacomini, Giulia Mantovani, Emanuele Scalise. Oltre a continuare le pre-esistenti collaborazioni, il gruppo si è da subito interfacciato con il personale delle altre sedi INAF coinvolto nella sperimentazione e nell'uso della RV, collaborando a livello nazionale con il nascente **Gruppo delle tecnologie emergenti** della D&D nazionale INAF, coordinato da Laura Daricello.

Lo step successivo è stato lo studio preliminare della RV e delle sue possibili applicazioni alla divulgazione e alla didattica, portato avanti con il coinvolgimento diretto di Federico Ciampi, studente del Master in Scienze e Tecnologie spaziali dell'Università di Roma Tor Vergata che ha svolto il suo lavoro di tesi sull'argomento, con relatore Livia Giacomini (vedi Allegato 3). Facciamo riferimento alla tesi in allegato per ogni dettaglio tecnico sulle tecnologie 3D, sulla realtà virtuale e aumentata.

Il primo prototipo del **MUVISS** è stato quindi realizzato in un'aula dei laboratori IAPS allestita per la didattica. La stanza si trova al secondo piano dell'edificio F e ha una dimensione molto limitata, di circa 30 metri quadrati. Visti gli spazi ridotti e dal momento che l'IAPS organizza molte attività didattiche e divulgative in esterna, si è scelto di puntare a delle soluzioni ibride e/o combinate con altre attività pre-esistenti che

ottimizzassero la fruizione e permettessero l'utilizzo delle risorse per attività sperimentali anche in luoghi diversi dall'istituto.

Si è quindi proceduto all'acquisto (finanziato da una call interna all'IAPS) dei materiali necessari per lo sviluppo di un primo ambiente dove testare la RV applicata alla didattica e alla divulgazione dell'astrofisica. Tra i materiali selezionati è stato inoltre acquistato e implementato (grazie alla collaborazione dell'associazione **Speak Science** e di un precedente finanziamento del progetto **Europlanet**) un sistema Pianeti in una stanza, proiettore sferico low-cost per simulare i pianeti [1].



Due immagini della stanza del MUVISS

A fine 2019, fanno parte dell'equipaggiamento del MUVISS, per una spesa globale di circa 8600 euro, i seguenti materiali (vedi allegato 1 per i materiali acquistati):

- Un computer di ultima generazione per la produzione di contenuti 3D e la visualizzazione di contenuti RV
- Un sistema di visore di realtà virtuale con casco, sensori e controller (OCULUS)
- Un sistema di visore di realtà virtuale con casco, sensori e controller (VIVE)
- Un sistema di videoproiezione 3D su grande schermo con occhialini 3d per la visualizzazione (EPSON)
- 15 visori di realtà virtuale (JUSTPLAY)
- 4 visori di realtà virtuale stand-alone e controller (OculusGo)
- Un sistema Pianeti in una stanza completo di proiettore e lenti

Le attività prototipali del MUVISS nel biennio 2018-2019

Nel biennio 2018-2019 sono stati realizzati diversi progetti prototipali che sperimentano l'uso della RV, aumentata e/o di attività legate al 3D per raccontare il Sistema Solare. L'utilizzo di questi progetti prototipali

nell'ambito delle visite delle scuole e delle attività con il pubblico presso festival, fiere e altre manifestazioni, per l'anno 2018 e 2019 ha portato a un totale di contatti che stimiamo **in circa 6000 persone** (Vedi allegato 2 per lista di scuole ed eventi).

In particolare in questo biennio, sono state realizzate e testate con il pubblico diverse proposte, che hanno portato alla scelta di tre tipologie consolidate di interazioni con le scuole e il pubblico:

- **Lezioni e conferenze con il Simulatore di pianeti "Pianeti in una Stanza"**

Pianeti in una Stanza è un progetto divulgativo/didattico sperimentale dell'Associazione **Speak Science**, di **INAF-IAPS** e **dell'Università degli Studi Roma Tre** (Dipartimento di Matematica e Fisica). Pianeti in una Stanza è un proiettore sferico low cost e in kit che gli insegnanti possono costruire e usare in classe. Nel **MUVISS**, Pianeti in una Stanza è utilizzato con dei contenuti specifici sul Sistema Solare per una classe di elementari/medie/licei su temi specifici. Oltre ad essere utilizzato all'interno del **MUVISS**, Pianeti in una stanza viene portato con contenuti specifici anche in esterna (in aule diverse, ma anche presso altre strutture per festival e altre manifestazioni), dove è utilizzato per lezioni e conferenze sul Sistema Solare.





A sinistra, Pianeti in una stanza usato in una lezione conferenza con le scuole nel 2018; Pianeti in una stanza nello stand allestito per la Notte dei Ricercatori 2019

- **Aula di realtà virtuale immersiva con l'Astroquiz "In viaggio nel Sistema Solare"**

Nel **MUVISS** è presente un'aula per la realtà virtuale immersiva con circa 20 posti dove gli studenti possono assistere alla proiezione di filmati 3D. In occasione delle visite delle scuole al **MUVISS**, a causa delle dimensioni ristrette dell'aula, della durata della visita che non deve superare l'ora e delle limitazioni sull'uso di visori e altri sistemi di RV per gli studenti più piccoli [2], è stata ideata una modalità di fruizione ibrida delle risorse didattiche in RV denominata Astroquiz "In viaggio nel Sistema Solare". Questa soluzione, pensata

appositamente per il **MUVISS**, prevede che gli studenti guidino un operatore che si muove in realtà virtuale nel Sistema Solare, risolvendo i quesiti di un quiz sui pianeti e l'astronomia. Gli studenti vedono in tempo reale sullo schermo quello che vede e fa l'operatore che indossa un casco di realtà virtuale immersiva e usa dei controller, ed è così immerso in un ambiente che ne rileva il movimento, potendo quindi avvicinarsi e interagire con gli oggetti astronomici. Questa soluzione, pur sacrificando la caratteristica immersiva della RV - gli studenti non indossano i visori e non sono immersi in un ambiente virtuale - garantisce invece l'interattività e l'autonomia del processo di apprendimento degli studenti che guidano le azioni dell'operatore attraverso una serie di domande, compiti e indovinelli, e vedono sullo schermo quello che l'operatore vede in soggettiva. Per questa attività è stata utilizzata l'applicazione "Spacetours VR - Ep1 The solar System" acquistata nello store dell'Oculus. Altre applicazioni, come "Space Explorer" e "Space Walker", sono state testate ma scartate in quanto non adeguate.





A sinistra l'Astroquiz In viaggio nel Sistema Solare durante una visita delle scuole nel 2018. A destra una rappresentazione dell'operatore dell'astroquiz immerso in ambiente virtuale.

- **Presentazioni di astrofisica con visori per il 3D**

Un terzo uso della RV sperimentato nel **MUVISS** è l'uso dei visori 3D per permettere ai visitatori/studenti l'immersione in contenuti astrofisici divulgativi selezionati come il video "l'Universo caldo e violento" prodotto all'interno del progetto Europeo **AHEAD**. [3]

A tale scopo, in occasione di manifestazioni per il pubblico o per le visite delle scuole, si procede ad installare una postazione di realtà virtuale in cui il visitatore viene guidato da un ricercatore in un viaggio attraverso un tema di astrofisica; su un monitor viene riproiettato la visione in soggettiva dell'utente, per dare modo anche al pubblico che non fa l'esperienza in prima persona di acquisire le informazioni scientifiche e dialogare con il ricercatore .




Due installazioni con Visori 3D per la Notte dei Ricercatori 2019

Nella tabella riassuntiva presentata di seguito, sono evidenziati pro e contro dei tre progetti attuati nel MUVISS nel primo biennio di attività.

	Pianeti in una stanza	**Astroquiz**	**Presentazioni con Visori**
Descrizione	Lezioni/conferenze interattive con il simulatore di Pianeti "Pianeti in una stanza"	Quiz interattivo in cui 20 ragazzi guidano un operatore che compie un Viaggio nel Sistema Solare in RV	Uso di visori 3D per la fruizione di contenuti astrofisici di RV
Numero massimo studenti e durata	40 studenti, circa 1 ora	20 studenti, 30/40 min	1 studente per volta, <10min
Luogo in cui può essere realizzato	Ovunque (semplice da trasportare)	Aula MUVISS	Aula MUVISS o in esterna (ma con trasporto e allestimento complesso)
pro	- facile trasportabilità - costo molto contenuto - contenuti modificabili	-approccio ludico	-totale immersività -esistono contenuti già pronti
contro	- non prevede attività immersive, ma solo interazione - necessità di creare contenuti ad hoc	-immersività limitata -costo elevato - necessità di creare contenuti ad hoc	-difficile trasportabilità -fruibile da una persona alla volta -costo molto elevato
Occasioni in cui viene utilizzato in preferenza	Visite delle scuole /Manifestazioni fuori sede	Visite delle scuole in IAPS	Manifestazioni fuori sede

Conclusioni e ulteriori sviluppi

Sono previsti futuri sviluppi e in particolare i primi step presi in considerazione sono:

- Valutare la possibilità di implementare e utilizzare nel **MUVISS** contenuti in VR e AR già sviluppati all'interno di INAF o realizzati ad hoc dal gruppo delle tecnologie emergenti della D&D INAF;

- Studio di fattibilità per elaborare nuove soluzioni di uso della realtà virtuale che permettano una maggiore immersività degli studenti;

- Sviluppo di Tour virtuali dei laboratori per permettere ai visitatori di navigare in modo virtuale all'interno dell'IAPS;

- realizzazione di uno studio con i Green screen per realizzare progetti multimediali che integrino le riprese dal vivo in ambienti virtuali, eventualmente coinvolgendo anche gli studenti;

- Integrazione di Pianeti in una stanza con un sistema di proiezione 3D per mostrare contenuti legati al sistema solare e allo spazio, da fruire con gli appositi visori 3D;

- Sperimentazione di uso didattico dei visori lowcost per smartphone, per dare la possibilità a bambini e ragazzi di apprezzare la RV usando il proprio cellulare.

Riferimenti bibliografici

[1] https://www.planetsinaroom.net/

[2] Indicazioni dei produttori che limitano l'uso della RV: Samsung indica che Gear VR non è adatto ai minori di 13 anni; Oculus e Google indicano Rift e Daydream View non adatti ai minori di 13 anni; Sony indica il limite minimo di 12 anni; HTC indica la sua tecnologia come "non adatta ai più piccoli".

[3] Video VR: https://www.youtube.com/watch?v=7TA8XxU_YO0.

Video full dome https://www.eso.org/public/videos/ahead-xray/

Bibliografia

Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2013). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. Journal of Science Education and Technology, 22(4), 449–462.

Christou C (2010) Virtual reality in education. In: Affective, interactive and cognitive methods for e-learning design: creating an optimal education experience, IGI Global, pp 228–243

Martín-Gutiérrez J, Mora CE, Añorbe-Díaz B, González-Marrero A (2016) Virtual technologies trends in education. EURASIA J Math Sci Technol Educ 13(2):469–486.

Munnerley, D., Bacon, M., Wilson, A., Steele, J., Hedberg, J., & Fitzgerald, R. (2012). Confronting an augmented reality. Research in Learning Technology, 20 (suppl.), 39-48.

Osborne, J. & Hennessy, S. (2006). Literature review in science education and the role of ICT: promise, problems and future directions. Bristol: Futurelab report 6.

Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. Personal and Ubiquitous Computing, 18(6), 1533–1543.

Wu, H., Lee, S.W., Chang, H. & Liang, J. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & Education, 62, 41-49

Allegato 1 – Lista dei materiali presenti nel MUVISS a fine biennio 2018/2019

PRODUTTORE	CODICE PRODOTTO	DESCRIZIONE PRODOTTO	QUANTITA'
EPSON	EH-TW5650	Videoproiettore Lcd Home Cinema Wireless 2.500 A.L. HD 1080 1920x1080 15.000:1	1
EPSON	ELPGS03	Occhialini 3D (RF) plastica colore Nero	10
LG	49UK6400	TV Ultra HD 49'' Smart Tv 4K Active HDR	1
OCULUS	RIFT + TOUCH	Kit bundle include: visore Oculus Rift, 2x sensori Oculus, 2x controller Touch, tutti i cavi di collegamento richiesti e sette app VR gratuite	1
OCULUS	SENSOR	Sensore aggiuntivo. Include: 1x sensore Oculus. Include cavo di prolunga da 5m	1
MICROSOFT	COMBAT TECH	Controller wireless per Xbox	1
MICROSTORAGE	MS-SSD-SATAIII-240GB	Hard Disk interno 2.5" SATA III 240GB SSD 7mm	1
VIVE	VIVE	Headset only - Dotazione base include: Vive headset, two wireless controllers, two base stations, link box, earbuds, Vive accessories, safety guide and warranty card, code in the box to redeem free content on vive.com/code	1
VIVE	FACE CUSHION	Set of 2 face cushions	1
VIVE	STRAP	Deluxe Audio Strap	1
LUXBURG	PS-MN-30x30-FG-01	Schermo 170" 300x300cm 1:1 Manual Pull Down Fiber Glass Fabric (118"x118")	1
LUXBURG	PS-TR-20x15-MW-01	Schermo portatile 100" 203x152cm 4:3 with Tripod Matt White Fabric (80"x60")	1
JUSTPLAY	718002	Visore Realtà Virtuale 3D, colore Nero	15
DELL	ALIENWARE AURORA	Workstation Intel Core i7 8700 Win10Home 64bit 32GB Nvidia Geforce GTX1080Ti 11GB GDDR5X-1Y CAREPACK	1
OCULUS	OculusGo	Visori Oculus Go da 64Gb	4

Allegato 2- LISTA delle attività MUVISS con le scuole e con il pubblico nel biennio 2018/2019

16-21 Aprile 2018
partecipazione alla XIX Settimana nazionale dell'astronomia, organizzata dalla Sait, lezioni/conferenze presso ARTOV con l'uso di **Pianeti in una Stanza**
con: Livia Giacomini, Giulia Mantovani
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 4 classi per un totale di 100 studenti

11-14 Ottobre 2018
partecipazione alla Maker Faire Roma presso la **Fiera di Roma**
presentato **Pianeti in una Stanza**
con: Francesco Aloisi, Stefano Capretti, Ilaria De Angelis, Simone Di Filippo, Livia Giacomini, Giulia Mantovani, Gianpaolo Nieto, Michele Pollastrini, Adriana Postiglione, Vanessa Sterpone, Marco Ziggiotti
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 1000 persone

28 Settembre 2018
partecipazione alla Notte Europea dei Ricercatori, organizzata dall'Associazione Frascati Scienza nell'ambito del progetto BEES.
Oltre che in ARTOV, **Pianeti in una Stanza** e' stato presentato a Frascati, alle mura Valadier, nel Dipartimento di Matematica e Fisica di Roma Tre e presso il Comune di Ariccia
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 1200 persone

15 Novembre 2018
per LIGHT IN ASTRONOMY, Settimana aperta dell'INAF, presso ARTOV
Lezioni per le scuole con **Pianeti in una Stanza** per la Scuola I.C. Bruno Munari di Roma
Con: Livia Giacomini, Valentina Galluzzi
Astroquiz con il sistema di realtà virtuale del MUVISS per Scuola I.C. Bruno Munari di Roma
Con: Giulia Mantovani, Federico Ciampi, Emanuele Scalise
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 2 classi per un totale di 50 studenti

15 Febbraio 2019
per la manifestazione **Occhi su Marte** presso il Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tre, spettacoli con **Pianeti in una Stanza**
Con: Giulia Mantovani, Martina Cardillo, Francesca Altieri
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 800 persone

6 Marzo 2019
Visita di una scuola presso ARTOV, lezioni nel MUVISS con **Pianeti in una Stanza** per le classi III media della IC via dei Sesami.
Con: Livia Giacomini, Giulia Mantovani
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 2 classi per un totale di 40 studenti

16-30 Aprile 2019
partecipazione alla XIX Settimana nazionale dell'astronomia, organizzata dalla Sait, lezioni/conferenze presso ARTOV con l'uso di **Pianeti in una Stanza**
con: Livia Giacomini, Giulia Mantovani, Martina Cardillo
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 4 classi per un totale di 100 studenti

7 Giugno 2019
per la manifestazione **Occhi sulla Luna** presso il Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tre, spettacoli con **Pianeti in una Stanza**
Con: Giulia Mantovani, Martina Cardillo, Maria Pia di Mauro
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 800 persone

29 Settembre 2019
partecipazione alla Notte Europea dei Ricercatori organizzata da **ScienzaInsieme**
In ARTOV sono stati presentati:
lo spettacolo di realtà virtuale **Looking AHEAD:** L'universo delle alte energie sfruttando i visori di realtà virtuale
Con: Lorenzo Natalucci, Simone Lotti, Gabriele Minervini, Ruben-Sanchez, Giulia Mantovani
lo spettacolo del Sistema Solare con **Pianeti in una Stanza**
con: Livia Giacomini, Giulia Mantovani
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 300 persone

18 Ottobre 2019
Partecipazione alla Maker Faire Roma 2019 presso la **Fiera di Roma** con i progetti:
Pianeti in una Stanza
con: Francesco Aloisi, Stefano Capretti, Simone Di Filippo, Livia Giacomini, Giulia Mantovani
presentato lo spettacolo di realtà virtuale **Looking AHEAD:** L'universo delle alte energie sfruttando i visori di realtà virtuale
con: Giulia Mantovani, Emanuele Scalise, Simone di Filippo
Partecipanti stimati alle attività IAPS dell'evento: 1500 persone

11 Novembre 2019
Partecipazione all'evento Transito di Mercurio a Tor Vergata, co-organizzato con l'Università di Tor Vergata per le scuole, conferenza con Pianeti in una Stanza
Con: Martina Cardillo
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 100

18-22 Novembre 2019
percorso di PCTO **Pianeti in una classe** attivato dal Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tre con la collaborazione dell'INAF-IAPS, Ufficio Comet e dell'Associazione Speak Science.
Il progetto prevede lo sviluppo di materiali didattici per il proiettore **Pianeti in una Stanza.**
Con: Livia Giacomini, Giulia Mantovani, Adriana Postiglione, Ilaria de Angelis.
Studenti partecipanti alle attività IAPS: 8 studenti

Allegato 3- Tesi "Il 3D, la realtà aumentata, immersiva e virtuale: nuove tecnologie per la comunicazione, divulgazione e didattica dell'Astrofisica", Master di II Livello Scienza e Tecnologia Spaziali, Dipartimento di Matematica, Università degli studi di Roma Tor Vergata - Candidato Federico Ciampi, Relatore: Livia Giacomini

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA TorVergata

Master di II livello

Scienza e Tecnologia Spaziale

Dipartimento di Matematica

Macroarea Scienze MM.FF.NN.

Il 3D, la realtà aumentata, immersiva e virtuale:

nuove tecnologie per la comunicazione, divulgazione e didattica dell'Astrofisica.

Candidato: Federico Ciampi

Relatore: Dott.ssa Livia Giacomini (IAPS-INAF)

"Everything is true", he said. "Everything anybody has ever thought".

(Philip K. Dick, "Do androids dream of electric sheep?")

Indice

1 Le tecnologie esistenti **8**
1.1 Il 3D 9
1.1.1 Come funziona 9
1.1.2 Metodi di realizzazione 9
1.1.3 Pro e contro 10
1.2 Realtà virtuale e realtà aumentata 11
1.2.1 Come funzionano 12
1.2.2 Metodi di realizzazione 14
1.2.3 Pro e contro 15
1.3 La realtà ibrida: una nuova frontiera 18

2 Uso delle tecnologie per la divulgazione e la didattica dell'astrofisica **20**
2.1 Immersivitá e divulgazione scientifica 20
2.1.1 Un primo passo: il CAVE® 20
2.1.2 Divulgare l'Astrofisica con VR e AR: un'ipotesi realistica? 22
2.2 Esempi 24
2.2.1 Il caso della Cittá della Scienza 25
2.2.2 L'Esperimento Belle II 26
2.2.3 Tour virtuali: il caso del Sardinia Radio Telescope. . . 28
2.2.4 Access to Mars e l'Exoplanet Travel Bureau. 30

3 Il caso dell'IAPS-INAF: il progetto MUVISS **33**
3.1 Panoramica generale 33
3.2 Fase di ideazione e di analisi dei componenti 33
3.2.1 Il Simulatore di Pianeti 34
3.2.2 Il Sistema di VR immersiva 35
3.2.3 Le lezioni AR con lo smartphone 36
3.3 Fase di confronto 36
3.3.1 Materiale a Disposizione e Costi 36

3.3.2 I Criteri di Valutazione 37
3.3.3 Il Confronto 37
3.4 La prova sul campo: un primo test 40
3.5 Una valutazione conclusiva e prospettive future 42

Bibliografia **43**

Indice analitico **45**

Elenco delle figure

1.1 Un esempio artistico di Realtá immersiva: isolarsi dall'ambiente circostante, per entrare completamente in uno virtuale. Fonte: [15] 8
1.2 Schema di funzionamento della VR. Fonte: [27]. 12
1.3 Un esempio pratico di Realtá Aumentata: visualizzare su smartphone informazioni altrimenti non disponibili. Fonte: [26]. . . 13
1.4 Schema di funzionamento della AR. Fonte: [17]. 13
1.5 Trend di crescita economica negli U.S.A. di AR e VR per l'anno 2017. Fonte: PwC 2016. 16
1.6 Nel futuro distopico di Matsuda si evidenziano iperbolicamente i rischi di un eccessivo utilizzo della Realtá Aumentata: sará in grado di regolare l'identitá delle persone? 17
1.7 Un'installazione artistica di Kelly Goeller del 2008, a New York City. Essa ricrea il concetto alla base della Realtá Ibrida: la fusione tra elementi concreti e virtuali nello stesso ambiente, e la possibilitá di interagire con essi. 18

2.1 Il CAVE®. Fonte: [11]. 21
2.2 Il cono dell'apprendimento, teorizzato da Edgar Dale nel 1946. 22
2.3 Il planetario della Cittá della Scienza di Napoli. (Foto originale). 25
2.4 Il proiettore 3D della Cittá della Scienza di Napoli è uno dei piú avanzati tecnologicamente d'Italia. Fonte: [12]. 26
2.5 Il sistema usato nella visita all'esperimento Belle II (foto originale). 27
2.6 Un'immagine del Tour guidato al Sardinia Radio Telescope. Fonte: [21]. 28
2.7 Un'immagine tratta dal tour virtuale della ISS. Fonte: [13]. . . 29
2.8 Un esempio di realtá virtuale con elementi di realtá aumentata: "Access to Mars". Fonte: [10]. 30
2.9 Una raffigurazione artistica del pianeta Kepler-16b, realizzato con il progetto Exoplanet Travel Bureau della NASA. 32

3.1 Il punto di partenza: Pianeti in una Stanza. Fonte: [18] 34
3.2 Schema della configurazione della stanza per la Realtá Virtuale Immersiva. 35
3.3 L'Esperienza VR effettuata in IAPS: un primo passo verso il MUVISS. Fonte: [16]. 40
3.4 Il Computer utilizzato per l'Esperienza. Ad esso erano collegati un visore, due controller per le azioni da effettuare nel mondo virtuale, ed una coppia di sensori di posizione. 41

Introduzione

Gli anni recenti hanno visto uno sviluppo sempre piú rapido di tecnologie sviluppate per supportare la vita quotidiana in ogni sua parte, al punto che, attualmente, è diventato quasi impensabile concepire attivitá umane senza un ausilio tecnologico. Tra gli ambiti ricoperti, quello della divulgazione, e dell'insegnamento in generale, forse è uno di quelli che ha saputo meglio resistere all'avanzare del tempo. Tuttavia, ci si sta progressivamente rendendo conto che un approccio innovativo, e maggiormente orientato all'evoluzione tecnologica, puó portare a notevoli risultati in termini di qualitá della proposta divulgativa, usando come leva la possibilitá di coinvolgere piú sensi rispetto ad una normale lezione frontale. Realtá Virtuale e Realtá Aumentata, concepite inizialmente per puro intrattenimento, possono essere in tal senso un esempio virtuoso di Trasferimento di Tecnologie da un settore specifico ad un altro. Scopo di questa tesi è allora effettuare una carrellata di tali tecnologie attualmente a disposizione, evidenziandone pro e contro, focalizzando l'attenzione sulla divulgazione scientifica, ed in particolare dell'astrofisica, dove la maggiore "spettacolarizzazione" della proposta divulgativa puó diventare di notevole interesse. Un caso a parte è invece il capitolo finale, in cui si illustrerá un esempio pratico, in via di realizzazione presso l'IAPS-INAF: si tratta di un Sistema innovativo di divulgazione astrofisica, e dunque una conferma delle enormi potenzialitá di evoluzione in questo senso. Durante la realizzazione di questa Tesi del Master in Scienza e Tecnologia Spaziale, ho avuto modo di partecipare personalmente alle fasi di valutazione e sperimentazione descritte nel terzo capitolo; le conclusioni finali sono pertanto una valutazione, ancorché personale, frutto in ogni caso di un'esperienza diretta.

Capitolo 1

Le tecnologie esistenti

Al fine di evidenziare le caratteristiche delle tecnologie che possono avere notevoli sviluppi in ambito divulgativo, è bene avere un'idea precisa del concetto alla base. Nella carrellata di modelli ed esempi di seguito, tutto ruota intorno alla definizione di *immersivitá*, cioé della possibilitá, o meno, per l'utente dell'esperienza, di isolarsi dall'ambiente circostante mediante l'ausilio di opportuni supporti. In questo senso parleremo dunque di *realtá immersiva*, intendendola in senso totale.

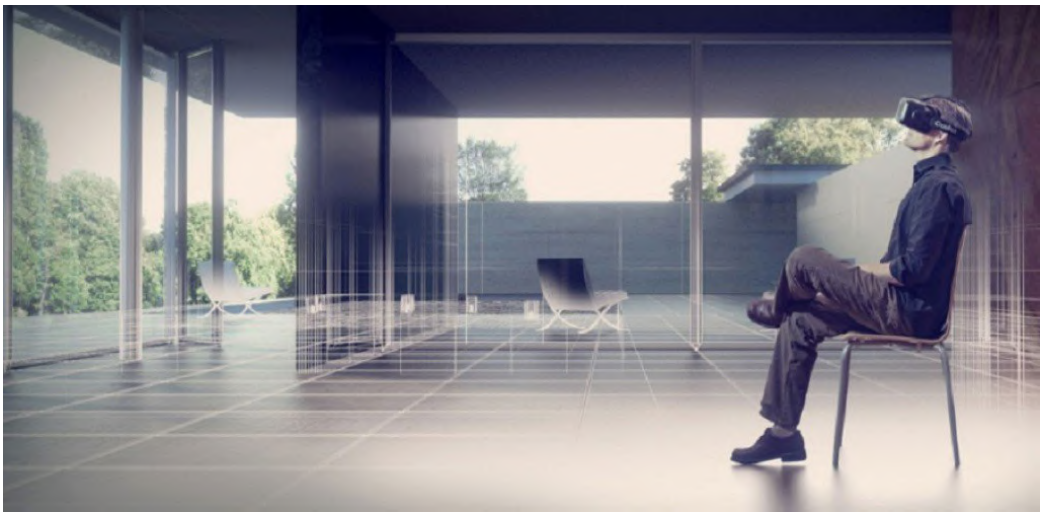

Figura 1.1: Un esempio artistico di Realtá immersiva: isolarsi dall'ambiente circostante, per entrare completamente in uno virtuale. Fonte: [15]

In questa trattazione considereremo come immersiva una realtá in grado di garantire un isolamento parziale o completo dall'ambiente circostante. Di conseguenza, d'ora in poi i termini "Realtá Immersiva" e "Realtá Virtuale"

verranno trattati come sinonimi, pur non essendo tali, dal punto di vista tecnico: esistono infatti, come vedremo, degli esempi di VR che sacrificano l'aspetto immersivo in favore di altri pregi, a seconda della funzione per cui sono impiegati. Tuttavia, essi sono dei casi considerabili separatamente, e questo ci permette di adottare la suddetta similitudine, con il fine di rendere piú precise le definizioni.

1.1 Il 3D

L'utilizzo della tridimensionalitá a scopo interattivo è l'esempio piú antico (nella sua semplicitá concettuale) di "realtá aumentata", sebbene, come vedremo, non esattamente nel senso proprio del termine. In effetti, il suo utilizzo in cinematografia si puó far risalire agli anni '20 del secolo scorso, con tecniche che hanno conosciuto un'evoluzione costante -di pari passo con lo sviluppo tecnologico- fino ai giorni nostri, in cui viene impiegato per diversissime applicazioni.

1.1.1 Come funziona

Una proiezione tridimensionale su schermo, di fatto, è un artificio creato in modo tale da illudere il sistema nervoso dello spettatore, e forzarlo a dare una percezione di profonditá all'immagine che si sta osservando. Il meccanismo che si sfrutta è quello della *percezione simultanea*, vale a dire della capacitá del cervello di percepire allo stesso istante due immagini distinte prese singolarmente da ciascun occhio, per fonderle in un'unica informazione visiva. Sfruttando questo "scarto" tra i singoli occhi, si effettua dunque la proiezione contemporanea di due immagini leggermente differenti; in tal modo, si fornsce una profonditá illusoria al risultato finale.

1.1.2 Metodi di realizzazione

Storicamente, vi sono diversi metodi per ottenere la realizzazione di un'immagine tridimensionale artificiale, riconducibili a tre principali tecniche di riferimento: *anaglifica*, *ad immagine alternata* e *a luce polarizzata*.

L'anaglifo.

Essendo caratterizzato dall'uso degli ormai storici "occhialini con lenti bicolore", forse è il tipo di tecnologia che con maggiore facilitá si associa al 3D nell'immaginario collettivo. La tecnica anaglifica consiste nella proiezione di

due immagini distanziate all'incirca quanto i due occhi e filtrate da due colori differenti, in genere usando la combinazione rosso/blu o rosso/verde. Uno strumento apposito (appunto, gli iconici occhialini)viene impiegato al fine della discriminazione delle immagini. Si tratta di un sistema particolarmente semplice, per la realizzazione del quale è sufficiente un comune proiettore. La tecnica anaglifica è di fatto la piú antica, essendo stata sperimentata giá dai fratelli Lumière con l'avvento della cinematografia.

La tecnologia ad immagine alternata.

Questa seconda tipologia utilizza un approccio differente dal punto di vista tecnico. Contrariamente alla tecnica dell'anaglifo, un sistema ad immagine alternata consiste nella proiezione successiva di un'immagine destinata ad un occhio, seguita da una destinata all'altro. Il risultato è, in ogni caso, simile: la tridimensionalitá viene garantita utilizzando degli occhialini con opportuni otturatori in grado di lavorare in modo sincrono con l'immagine proiettata sullo schermo, chiudendosi quando essa non è destinata all'occhio di riferimento.

La tecnologia a luce polarizzata.

Questo tipo di tecnologia utilizza il principio della polarizzazione della radiazione elettromagnetica. Dal punto di vista tecnico, l'utilizzo degli occhiali in questo caso è similare a quello dell'anaglifo: le lenti infatti provvedono a discriminare l'immagine al fine di ottenere l'illusione di profonditá. La differenza tuttavia, nel dettaglio, è sostanziale: in questo caso, a rendere effettiva la discriminazione dell'immagine è l'orientazione della lente, che garantisce una diversa polarizzazione della luce. La proiezione dell'immagine puó avvenire utilizzando dei filtri orientati ortogonalmente tra di loro (è il caso della *polarizzazione lineare*), oppure mediante la tecnica della *polarizzazione circolare*, dove la proiezione avviene su uno schermo circolare, e le lenti che costituiscono i filtri hanno polarizzazioni opposte (in altri termini, sono montate una in senso contrario rispetto all'altra). La tecnica della polarizzazione della luce è la piú moderna, ed è quella utilizzata attualmente nell'ambito dell'intrattenimento; è il caso, ad esempio, anche del planetario in 3D della Cittá della Scienza di Napoli.

1.1.3 Pro e contro

Essendo una tecnica di concezione piuttosto datata, la proiezione tridimensionale possiede diversi pro, ed altrettanti limiti. Da un lato, il suo utilizzo

reiterato nel tempo ha permesso un forte perfezionamento della tecnologia a disposizione, complice anche la concezione piuttosto semplice alla base del suo funzionamento. La buona efficacia a scopi divulgativi ed i costi contenuti sono sicuramente dei punti di forza notevoli. Tuttavia, il 3D ha ancora margini di miglioramento, sebbene solamente sulla qualitá dell'immagine, a meno di non essere integrata con altri tipi di tecnologie.
In effetti, una semplice proiezione in 3D non prevede un'interazione dello spettatore con quanto viene proiettato, indipendentemente dalla natura virtuale o fisica dell'oggetto rappresentato. In tal senso, allora, ci si è concentrati in particolare sulla possibilitá di migliorare la risoluzione, lavorando sull'aumento del numero di fotogrammi per secondo. Essendo in via di sperimentazione, ed in ogni caso comunque limitatamente al settore del mero intrattenimento, l'analisi dei loro effetti sul corpo umano non è completa. Sembra che l'aumento dei fotogrammi al secondo abbia causato in piú di un soggetto sensazioni di malessere e nausea, del tutto simili a quelli osservati nell'ambito della realtá virtuale. L'utilizzo intenso e reiterato delle proiezioni 3D ha inoltre provocato, in soggetti particolarmente sensibili, anche difficoltá visive a breve termine, a causa della temporanea alterazione della parallasse naturale. Dunque, una possibile futura evoluzione di questa tecnica, che inizia inevitabilmente a rallentare il passo nei confronti delle nuove tecnologie polifunzionali, dovrebbe essere orientata maggiormente allo smussamento di queste asperitá.
Riassumendo, l'utilizzo di questo tipo di tecnologie puó avere ancora un'estrema utilitá divulgativa per via della sua economicitá e semplicitá di concezione ed utilizzo, ma ha bisogno di essere integrata con altre tecniche per avere una maggiore capacitá didattica.

1.2 Realtà virtuale e realtà aumentata

L'avvento di sistemi software sempre piú potenti e performanti ha permesso all'immaginazione umana la realizzazione di tecnologie sempre piú innovative, fino a qualche anno prima teorizzabili solamente nei piú arditi racconti di fantascienza. Partendo da una rappresentazione figurativa del mondo reale, si è giunti alla vera e propria fabbricazione da zero di nuovi mondi, piú o meno verosimili, permettendo alle persone di immergersi parzialmente o completamente in essi. È questo il senso alla base delle tecniche della realtá virtuale e della realtá aumentata, che negli ultimi anni hanno conosciuto un interesse sempre piú ampio, destinato ulteriormente a crescere nel prossimo futuro.

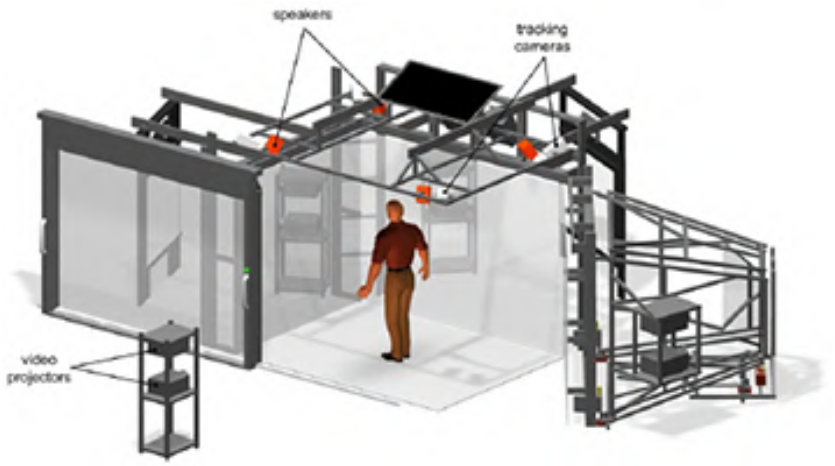

Figura 1.2: Schema di funzionamento della VR. Fonte: [27].

1.2.1 Come funzionano

La *realtá virtuale* (abbreviato, *VR*, dall'inglese "Virtual Reality") è, di fatto, un mondo illusorio, piú o meno dettagliato, creato da software con il fine di essere esplorato dall'utente a scopi sia didattici che di intrattenimento. Mediante delle periferiche esterne collegate al software, l'utente è in grado di immergersi completamente in un'ambientazione "altra" rispetto alla realtá circostante, da cui si isola del tutto, ed ha la possibilitá di muoversi e di osservare quanto accade nel mondo virtuale. In alcuni casi particolarmente avanzati dal punto di vista tecnologico, si ha anche la possibilitá di interagire parzialmente con l'ambiente circostante, al fine di ottenere informazioni aggiuntive sugli eventi stessi e sugli elementi in essi coinvolti (come nella visita virtuale all'esperimento Belle II, che citeremo in seguito).

Differente è il caso, invece, della *realtá aumentata* (abbreviato *AR*, dall'inglese "Augmented Reality"). Con tale termine si intende non piú un isolamento dal mondo reale a favore di un'ambientazione completamente artificiale, bensí un'estensione della quotidianitá con l'ausilio della tecnologia, con lo scopo di ottenere informazioni sugli elementi ambientali che ci circondano altrimenti irreperibili nell'immediato.

L'utilizzo della realtá aumentata ha un suo primo capostipite in ambito militare, con l'utilizzo degli *head-up displays* montati sugli aerei da combattimento, in grado di visualizzare in tempo reale informazioni su un eventuale bersaglio. Estesa per scopi civili, l'AR possiede uno spettro di possibilitá estremamente ampio, legato anche alla sua alta fruibilitá e maggiore facilitá di utilizzo anche senza l'ausilio di periferiche costose ed ingombranti.



Figura 1.3: Un esempio pratico di Realtá Aumentata: visualizzare su smartphone informazioni altrimenti non disponibili. Fonte: [26].

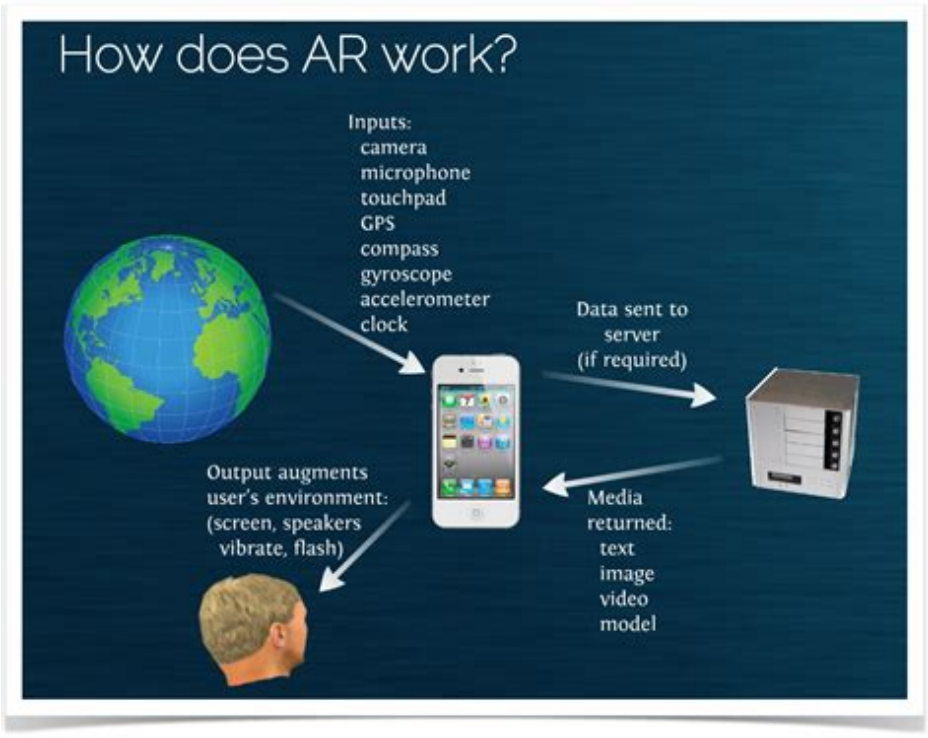

Figura 1.4: Schema di funzionamento della AR. Fonte: [17].

1.2.2 Metodi di realizzazione

La realizzazione di progetti di realtá virtuale o aumentata, siano essi di natura divulgativa o meno, richiede una complessitá maggiore rispetto ad una semplice proiezione tridimensionale. Soprattutto nel caso della virtualitá, infatti, non si tratta piú solamente di dare l'illusione della profonditá, ma di creare ex-novo un mondo esplorabile con cui interagire in modo piú o meno approfondito. Dunque, oltre ad un software apposito -di complessitá variabile a seconda delle necessitá- che permetta di creare l'ambiente in cui l'utente dovrá immergersi, è necessario utilizzare delle periferiche, comunicanti con quest'ultimo, in grado di segnalare ad esso i movimenti dell'utente e di garantire una completa immersione nell'atmosfera virtuale creata (come visibile in Figura 1.2). Di conseguenza, si utilizza un visore per l'isolamento visivo dalla realtá, dei sensori di movimento (fissi nell'ambiente circostante, oppure posti sull'utente stesso, ad esempio con opportune calzature) e, in taluni casi, dei joystick per coadiuvare gli spostamenti, integrati con strumenti semplici, ma di particolare efficacia come i giroscopi. Per quanto riguarda la creazione dell'ambiente virtuale vero e proprio, si utilizza un opportuno codice, scritto prevalentemente in linguaggi come il C++ (esemplificativo è il caso del motore grafico Unreal Engine, particolarmente usato nell'ambiente dell'intrattenimento nel periodo recente), la cui esecuzione viene realizzata su schermo mediante l'ausilio di un proiettore tridimensionale, in grado di interagire con le periferiche garantendo un'ampiezza massima di proiezione di 180° nei casi piú avanzati. È tuttavia importante segnalare che spesso vi è una limitazione in questo senso, a causa di riscontrati effetti sulla salute degli utenti. A giocare inoltre un ruolo fondamentale nel garantire un'esperienza totalmente immersiva è l'isolamento acustico dal mondo esterno, solitamente ottenuto per mezzo di cuffie integrate con il visore. La questione della completezza dell'esperienza è tuttora uno degli argomenti che prevede maggiori possibilitá di sviluppo, come vedremo in seguito.

Piú semplice, per certi versi, è invece il caso della realtá aumentata. Non richiedendo la creazione di un ambiente virtuale, la sua complessitá realizzativa è minore rispetto alla tecnica precedentemente citata. In effetti, in questo caso l'obiettivo è di rielaborare la realtá utilizzando un opportuno software, che agisce in modo tale da estenderla con informazioni aggiuntive non reperibili altrimenti (Come esemplificato in Figura 1.4). Di conseguenza, perlomeno per quanto riguarda i casi più semplici, i mezzi tecnici necessari al suo utilizzo sono decisamente piú fruibili: in alcuni casi, come ad esempio quelli delle mappe interattive per gli spostamenti in un determinato luogo, è sufficiente uno smartphone con un'apposita applicazione, senza l'uso di periferiche ed accessori; in questo modo, effettuando un'azione combinata

con i rilevatori di posizione presenti nello smartphone (posizionamento satellitare e giroscopio), è possibile ottenere un aggiornamento in tempo reale dell'informazione voluta, semplicemente analizzando lo spostamento dell'utente nell'area interessata. In altre situazioni, invece, l'impostazione è molto piú simile a quella usata nella VR, e fa uso di tecniche piú vincolanti dal punto di vista della libertá di movimento, come ad esempio computer, headset ed opportuni visori. La differenza consiste nuovamente nel loro metodo di utilizzo e nelle tecniche realizzate per garantirlo: l'ambiente stavolta viene ricreato a partire da situazioni reali ed aggiornato in modo piú funzionale alla realtá vera e propria, implementando nel software dati reali. In questo senso il caso di *Access to Mars*, che tratteremo piú avanti, è esemplificativo per un'integrazione simultanea di virtualitá e realtá aumentata.

1.2.3 Pro e contro

Ponendosi a confronto con la semplice proiezione tridimensionale, VR e AR hanno margini di sviluppo, miglioramento ed integrazione decisamente maggiori. Se da un lato, la maggiore complessitá tecnico-realizzativa potrebbe risultare limitante, soprattutto nel caso della prima, la continua evoluzione della tecnologia potrebbe essere in grado di semplificare notevolmente i processi realizzativi nel giro di una decina d'anni, complici anche i notevoli fondi stanziati per la ricerca su questo argomento (preponderanti nel campo dell'intrattenimento, piuttosto che della divulgazione). La possibilitá di immergersi in un mondo completamente simulato ha delle potenzialitá enormi nel campo didattico, permettendo all'utente di assistere, ad esempio, a degli esperimenti di Fisica oppure ai processi che avvengono all'interno del Sistema Solare come se ne fosse attivamente coinvolto. Contrariamente al 3D, tuttavia, il fatto di essere una tecnologia relativamente "nuova" implica inevitabilmente il doversi confrontare con molteplici difficoltá. Prima di tutto, di natura "spaziale": affinchè la realtá virtuale possa esprimersi al meglio, ha bisogno di un'area dedicata, denominata *campo da gioco*. Di conseguenza, si riscontra la necessitá di avere (o creare) spazi appositi; in alcuni casi, una stanza di misura ridotta è sufficiente. Un secondo aspetto importante da risolvere, che al momento risulta limitante, è la *completezza* dell'esperienza. Se infatti il caso dell'AR prevede semplicemente l'aggiungere informazioni a partire da una mappa piú o meno dettagliata, la creazione di un mondo virtuale dovrebbe, in teoria, avere il suo punto di forza nell'esaltazione di *tutti* i sensi umani. La tecnologia attualmente in uso invece avvantaggia, per ragioni evidenti, solamente vista ed udito a scapito degli altri. Inoltre, un'ulteriore limitazione si riscontra nell'impossibilitá da parte dell'utente di interagire in modo attivo con l'ambiente circostante: infatti, soprattutto per

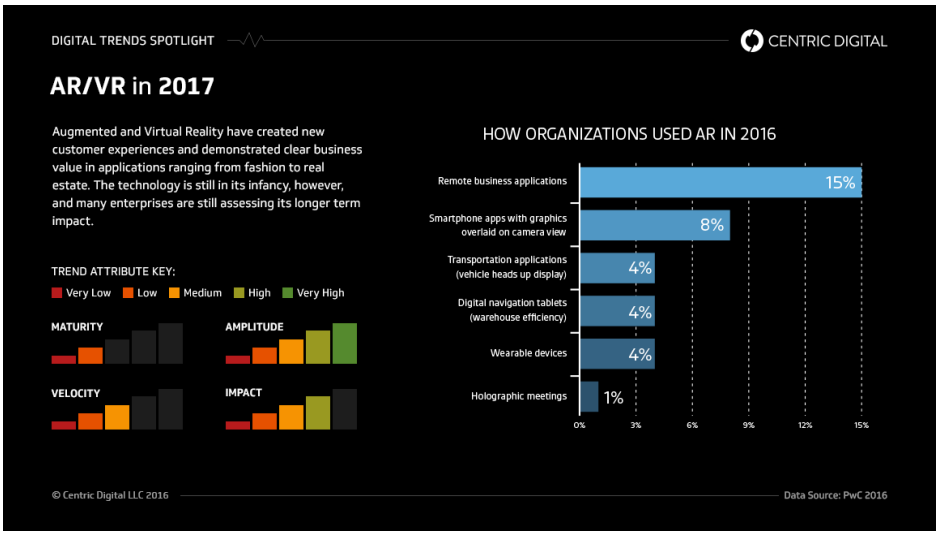

Figura 1.5: Trend di crescita economica negli U.S.A. di AR e VR per l'anno 2017. Fonte: PwC 2016.

quanto riguarda la realtá virtuale, egli risulta essere semplicemente un osservatore esterno, in particolar modo nei casi delle applicazioni didattiche, rendendo particolarmente stimolante la ricerca per future opzioni di sviluppo in questi campi.
Il terzo, altrettanto interessante, capitolo riguarda invece gli effetti di queste tecnologie sul corpo umano, rivelando una limitazione di natura prettamente medica. In effetti, si sono riscontrati casi di chinetosi su alcuni degli utenti, evidenziando un aspetto destabilizzante di estrema importanza: nausea, perdita dell'orientamento e tachicardia sono dei fattori che sovente sono stati osservati dopo un utilizzo anche molto breve della realtá virtuale. Cruciale, al fine dell'evoluzione di questa tecnologia sará allora risolvere questo problema: alcuni istituti di ricerca, con in testa MIT e Columbia University Engineering si sono giá mossi in tal senso, ottenendo risultati incoraggianti mediante lo studio sulla variazione a scelta dell'utente della velocitá dell'esperienza (il primo), o sulla riduzione del campo visivo (la seconda). Inoltre, estremamente interessante è, di contro, la possibilitá di utilizzare la Realtá Virtuale nella cura di alcune fobie, dalle vertigini al terrore dei luoghi affollati. (Per approfondimenti sull'argomento, rimandiamo a [8]).
A questo aspetto si aggiunge un'ulteriore questione, legata soprattutto alla realtá aumentata, ma per certi versi di natura decisamente piú speculativa; si è citata la possibilitá di realizzazione di tale tecnica anche mediante apposite applicazioni su smartphone; sarebbe allora opportuna una ricerca su quanto il suo utilizzo incontrollato possa acuire i casi di nomofobia (vale a dire, di

dipendenza psicologica dalla tecnologia), di cui si ha avuto spesso riscontro negli ultimi anni, anche in relazione proprio all'utilizzo della realtá aumentata intesa nel senso strettamente videoludico del termine. In questo caso, la realtá aumentata non sarebbe da sola causa del problema, ma potrebbe aggravarne gli effetti, in virtú di un'ulteriore enorme capacitá di utilizzo del mezzo cellulare. Fattore questo che ha ispirato inquietanti scenari di evoluzione che, per quanto tendenzialmente allarmistici, potrebbero risultare piú vicini alla realtá di quanto si possa immaginare, e che meriterebbero pertanto una particolare attenzione in fase di implementazione. Un esempio di problematiche di questo tipo è stato evidenziato nel 2017, con il cortometraggio "Hyperreality" (1.6) di Keiichi Matsuda, in cui si evidenziano tali rischi in modo iperbolico.



Figura 1.6: Nel futuro distopico di Matsuda si evidenziano iperbolicamente i rischi di un eccessivo utilizzo della Realtá Aumentata: sará in grado di regolare l'identitá delle persone?

1.3 La realtà ibrida: una nuova frontiera



Figura 1.7: Un'installazione artistica di Kelly Goeller del 2008, a New York City. Essa ricrea il concetto alla base della Realtá Ibrida: la fusione tra elementi concreti e virtuali nello stesso ambiente, e la possibilitá di interagire con essi.

Si è parzialmente citato, in precedenza, il limite che possiedono le realtá virtuale ed aumentata in rapporto all'interazione dell'utente con lo spazio circostante. Il logico passo successivo è allora quello di studiare l'integrazione, parziale o completa, del *vero* con il *verosimile*, al fine di creare un mondo altro in cui elementi virtuali e reali siano in grado di coesistere ed interagire tra di loro. È questo il senso alla base della *realtá ibrida*. L'idea, attualmente ancora in fase di studio, è quella di fondere la realtá aumentata con la "virtualitá aumentata", permettendo in tal modo di superare parte dei problemi che invece avrebbero luogo prendendo singolarmente ciascuna tecnica. Nella realtá ibrida, si puó avere la possibilitá di creare un mondo virtuale in cui oggetti e persone reali possano ricoprire un ruolo attivo, interagendo sia con l'utente immerso nell'ambientazione artificiale, sia con gli elementi illusori che ne fanno parte. I metodi per la realizzazione di questa tecnica sono tuttora in via di sviluppo, ma si basano sostanzialmente su quelli usati per la realtá virtuale: sono allo studio proiettori opportuni, al momento in grado di garantire un'ampiezza massima di visuale di 180°, esattamente come nel caso della VR, ma capaci inoltre di elaborare gli elementi fisici dell'ambiente circostante, mediante l'utilizzo di una lente fisheye. L'azione

del proiettore adatta di conseguenza tali elementi all'ambiente virtuale per mezzo di un'opportuna distorsione prospettica, permettendo di integrare le due realtá in modo coerente ed uniforme. Le potenzialitá, dal punto di vista didattico e divulgativo, in questo modo aumenterebbero esponenzialmente, e permetterebbero perfino, ad esempio, di poter assistere in tempo reale e, per certi versi, "in prima persona" ad esperimenti scientifici in atto anche a migliaia di chilometri di distanza, senza piú limitarsi semplicemente a delle simulazioni meramente teoriche. I limiti, in questo caso sono evidenti, e fanno tutti capo a quelli giá citati per quanto concerne la realtá virtuale; quale puó essere l'impatto sul corpo e sulla psiche umana di un'esperienza di questo tipo, oltre a quello giá ampiamente riscontrato su soggetti sofferenti di patologie di natura epilettica, psichica o cardiaca? La domanda, inevitabilmente ancora senza risposta, lascia tuttavia infinito spazio all'immaginazione ed alla ricerca, ed è praticamente certo uno sviluppo tecnologico in questo senso anche nell'immediato futuro.

AR	VR	Realtá Ibrida
• Portabilitá • Semplicitá realizzativa • Sintomatologia ridotta • Possibilitá di relazioni tra utenti • Scarsa immersivitá	• Elevati margini di sviluppo • Maggiore immersivitá • Rischio effetti collaterali • Necessitá di spazi appositi • Difficoltá di relazione tra utenti	• Ancora non realizzata pienamente • Ottima immersivitá • Interazione tra virtuale e reale • Scarsa portabilitá • Elevato rischio di effetti collaterali

Capitolo 2

Uso delle tecnologie per la divulgazione e la didattica dell'astrofisica

Come giá accennato nel capitolo precedente, le potenzialitá di uso della VR, della AR e anche della semplice proiezione 3D sono immense, e le loro limitazioni di utilizzo sono legate piú che altro a difficoltá di natura tecnica, che potranno essere risolte solamente con l'avanzare delle tecnologie stesse. La divulgazione scientifica, ed in particolare dell'astrofisica, è naturalmente in prima posizione per quanto concerne gli argomenti di sviluppo, almeno da un punto di vista di prospettiva; in questo capitolo ne illustreremo le possibilitá di evoluzione, citando alcuni esempi notevoli. Meritevole di menzione è il fatto che tali applicazioni sono spesso orientate non all'uso rigido e pedissequo di una singola tecnica, ma alla realizzazione, sebbene non completa della realtá ibrida, meno vincolata a questioni di strumentazione.

2.1 Immersivitá e divulgazione scientifica

2.1.1 Un primo passo: il CAVE®

L'utilizzo della VR a scopo informativo e divulgativo è stato teorizzato fin dalla sua prima concezione, ma solo l'avanzare delle tecnologie e degli studi di settore ha permesso una sua implementazione effettiva nel corso degli anni. Un primo esempio, tuttora considerato come un vero e proprio "banco di prova" per gli sviluppi successivi, è stato il sistema CAVE® all'inizio degli anni '90.

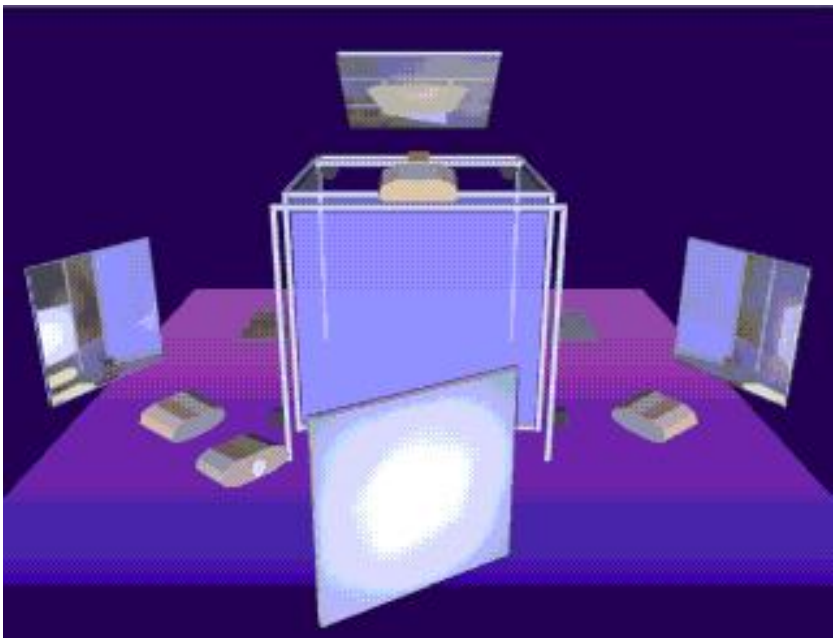

Figura 2.1: Il CAVE®. Fonte: [11].

Si tratta di un sistema di Realtá Virtuale di concezione estremamente semplice, che ha il suo punto forte nell'utilizzo della *sospensione dell'incredulitá*. Nella pratica, il sistema CAVE® è costituito da una stanza di forma cubica (la *cave*, appunto, citando l'omonimo mito Platonico), in cui un sistema coordinato di diversi proiettori costruisce un'immagine tridimensionale unica e continua su un certo numero di pareti (variabile da tre a sei), e sul pavimento della stanza preposta, garantendo l'immersivitá per mezzo di appositi occhiali per la visione in 3D (per approfondimenti, rimandiamo a [3]). Il principio, pur essendo semplice, si è rivelato fondamentale negli anni seguenti, e puó essere considerato un primo passaggio davvero consistente dall'idea base della proiezione 3D alla vera e propria Realtá Virtuale. Nel corso degli anni, il sistema CAVE® è stato notevolmente migliorato: diverse universitá hanno sviluppato una propria versione e, nonostante la sua concezione ormai inizi ad essere datata, viene ancora usato per alcuni esperimenti semplici. In anni recenti si è sviluppata una nuova versione del sistema che non fa piú uso degli ormai obsoleti proiettori, ma di piú moderni schermi LCD. È allora proprio il suo uso, prevalente nell'ambito accademico, che ci porta al prossimo passo, trattato nel paragrafo successivo: come utilizzare la Realtá Virtuale con il fine della divulgazione e dell'informazione al pubblico generale?

2.1.2 Divulgare l'Astrofisica con VR e AR: un'ipotesi realistica?

Utilizzare tecnologie come la Realtá Virtuale, la Realtá Aumentata e la Realtá Ibrida per scopi differenti dal mero intrattenimento richiede una cura nei dettagli ancora maggiore; si tratta di produrre qualcosa in grado di semplificare la vita di tutti i giorni degli utenti potenziali ed effettivi, riducendo al minimo tutte le eventuali controindicazioni. È di conseguenza piú che realistico immaginare un loro approccio all'apprendimento di nozioni. In effetti, giá nella metá del secolo scorso, il pedagogista statunitense Edgar Dale (1900-1985) aveva teorizzato una maggiore ricettivitá all'apprendimento nel caso in cui un insegnamento fosse stato impartito con tecniche multisensoriali (per approfondimenti, rimandiamo a [4]). Nonostante sia stata accolta inizialmente con un certo scetticismo, dovuto principalmente all'assenza di dati numerici oggettivi a suo sostegno, questa teoria ha avuto un maggior successo negli anni recenti. Vincente, in questo senso, è stata la scelta di rivolgersi ad un pubblico ampio di non addetti ai lavori, in particolare studenti delle scuole primarie e secondarie. La divulgazione scientifica, e soprattutto dell'astrofisica, sono stati i settori in cui tale tecnica ha mostrato gran parte del suo potenziale.

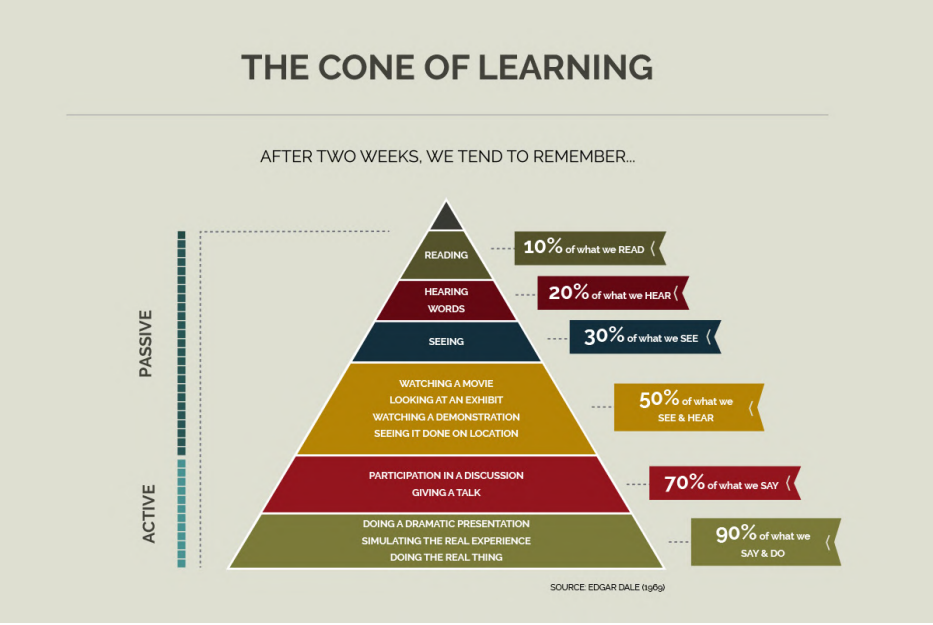

Figura 2.2: Il cono dell'apprendimento, teorizzato da Edgar Dale nel 1946.

A partire dai primi anni 2000, diverse universitá ed istituti di ricerca si sono

dedicati a questo argomento, ottenendo risultati sorprendentemente incoraggianti. Divulgare l'astronomia mediante l'uso di Realtá Virtuale e Realtá Aumentata ha dato ottimi riscontri non solo nel miglioramento della comprensione degli argomenti trattati, ma anche e soprattutto nella memorizzazione ed associazione dei fenomeni fisici alla base, confermando la bontá della teoria di Dale. Un esempio particolarmente efficace, condotto da Barab et al. (per approfondimenti rimandiamo a [1]) nei primi anni 2000, è stato quello di coinvolgere un gruppo di studenti di scuola secondaria superiore non solo in un'esperienza di una Realtá Immersiva, ma soprattutto nella fabbricazione della stessa per conto proprio, opportunamente guidati da esperti, mediante l'utilizzo di software appositi e procedendo per gradi crescenti di complessitá. Il sorprendente successo di un esperimento cosí articolato ha dato vita ad una serie di susseguenti indagini, portando ad una sempre maggior convinzione sull'utilitá di tecnologie di questo tipo. Ulteriori studi negli anni immediatamente successivi hanno dimostrato la risoluzione parziale di alcuni effetti di chinetosi utilizzando semplicemente la cosiddetta *desktop VR*: i principi della Realtá Virtuale restano inalterati, ma il concetto alla base è molto piú simile a quello usato nel comune intrattenimento, giá rodato nel corso degli anni su un ampio campione di utenti.
Un'esperienza di questo tipo è piú orientata alla AR, e viene realizzata semplicemente attraverso lo schermo di un comune PC, in aule opportunamente attrezzate. Questo metodo sacrifica i vantaggi dell'immersivitá guadagnando invece in interazione tra gli utenti. A partire da questa tecnica semplice ma di successo, si sono potuti costruire sistemi in grado di spiegare in modo visivo ed interattivo argomenti piú complessi, come il moto dei pianeti e dei satelliti, permettendo anche di osservare i fenomeni fisici alla loro base utilizzando diversi sistemi di riferimento; tutto questo mantenendo la possibilitá di interazione verbale tra le persone (si consultino a tal proposito, [2], [6], e [9]). Enormi passi avanti si sono fatti anche per quanto riguarda la Realtá Aumentata vera e propria, in virtú della maggiore potenzialitá di interazione tra utente ed ambiente circostante. Interessante, a tal proposito, è stato un esperimento (pubblicato in [7]) che prevedeva la realizzazione di una mappatura interattiva della Luna a partire dai dati reali NASA, con lo scopo di spiegare a studenti di scuola secondaria superiore il funzionamento delle fasi lunari. Queste diverse esperienze, nonostante siano state dedicate ad argomenti specifici, hanno indubbiamente interesse generale, e provano ancora una volta quanto possa essere utile ai fini dell'apprendimento il ricorso alla memoria visiva. Parte del merito di questo successo è, in ogni caso, dovuto alla costruzione di un modello tridimensionale: la visualizzazione di una simulazione verosimile, in luogo di una canonica in sole due dimensioni, ha segnalato infatti un notevolissimo passo avanti nella qualitá della proposta

divulgativa, rivelando ulteriori limitazioni e margini di sviluppo. In particolare, si ha avuta la conferma del fatto che la tecnologia da sola non puó sostituire la divulgazione tradizionale, ma esserne piuttosto un complemento. Fondamentale a questo scopo è allora *il modo* con il quale i fenomeni con cui si sta virtualmente interagendo vengono spiegati. Particolare attenzione va allora rivolta anche ai chiarimenti, sotto forma di didascalia, che vengono forniti durante l'esperienza; opportunamente integrati con la realtá virtuale, possono sensibilmente aumentare il livello di attenzione e coinvolgimento degli utenti.

Ad ogni modo, continuano ad esistere problematiche la cui risoluzione sará di cruciale importanza negli anni a venire; prima di tutto, l'incapacitá, attualmente, di effettuare esperienze "di gruppo" di realtá virtuale; la questione si è parzialmente risolta con l'utilizzo dei desktop, ma a scapito dell'immersivitá totale dell'esperienza. Altra questione fondamentale è poi il costo delle apparecchiature: molte scuole non hanno fondi a disposizione in grado di sostenere l'acquisto di una tecnologia cosí avanzata, e questo puó essere un enorme fattore di blocco per ulteriori evoluzioni in merito. In ogni caso, l'implementazione di un opportuno sistema di realtá virtuale passa anche dalle modalitá di interfaccia con l'utente. A tale scopo, lo studio di Chen ed al., (vedasi [2] per ulteriori approfondimenti), ha portato ad una prima classificazione dei mezzi per la divulgazione delle informazioni, distinguendo in sistemi che prevedono la comunicazione interpersonale (come nel caso citato in [1]), sistemi che prevedono la ricerca di informazioni (in rete o su una mappa) oppure un coinvolgimento diretto e profondo dell'utente, arrivando in tal modo fino alla creazione di veri e propri musei virtuali; in questi ambienti, le persone sono in grado di orientarsi ed interagire in modo autonomo con gli elementi presenti nell'ambientazione.

2.2 Esempi

Sulla scia dei diversi studi effettuati nel corso degli anni, Realtá Virtuale e Realtá Aumentata stanno diventando di uso comune nell'ambito della divulgazione scientifica, proprio in virtú della loro capacitá di focalizzare l'attenzione degli utenti su dettagli che sarebbero invece di difficile comprensione con una spiegazione piú tradizionale; in questo paragrafo nomineremo alcuni casi notevoli che hanno avuto luogo, concentrandoci in particolare su quanto avviene in Italia, dagli ormai classici planetari, in grado di spiegare concetti complessi con la giusta dose di spettacolaritá, fino ad esperimenti di Fisica veri e propri.



Figura 2.3: Il planetario della Cittá della Scienza di Napoli. (Foto originale).

2.2.1 Il caso della Cittá della Scienza

Con il perfezionamento delle tecnologie per la tridimensionalitá legata all'intrattenimento (IMAX, etc.), si ha avuto un sensibile aumento dell'interesse per la divulgazione dell'astronomia mediante l'ausilio di queste tecniche. Sono sorti diversi planetari in grado di garantire una parziale esplorazione del Sistema Solare mediante una proiezione in 3D. Meritevoli di menzione, in questo senso, sono quelli di Pino Torinese e del Gabinetto della Scienza e della Tecnica di Firenze. Su tutti emerge, ad ogni modo, il caso del Planetario di Napoli. Posto nell'ambito della Cittá della Scienza di Bagnoli, è attualmente il piú grande d'Italia e tecnologicamento avanzato, dotato di uno schermo concavo del diametro di 20 metri, montato in una sala da 120 posti. Il sistema utilizza un proiettore Digistar 6, costruito dalla ditta statunitense Evans & Sutherland, in grado di supportare risoluzioni fino a 120 fotogrammi al secondo.
Inaugurato nel maggio 2017, questo sistema permette un'esperienza 3D quasi completamente immersiva, con l'utilizzo di un visore isolante; è un caso esemplificativo dell'uso della tridimensionalitá a scopo di divulgazione al grande pubblico, estremamente orientato alla Realtá Virtuale, pur non essendo ancora considerabile come tale, essendo una semplice proiezione priva della possibilitá di interagire con essa da parte dell'utente. In ogni caso, proprio il fatto che sia particolarmente avanzato dal punto di vista tecnologico ri-



Figura 2.4: Il proiettore 3D della Cittá della Scienza di Napoli è uno dei piú avanzati tecnologicamente d'Italia. Fonte: [12].

sulta tuttora limitante per quanto riguarda la proposta divulgativa, essendo quest'ultima ristretta solamente ad uno spettacolo in 3D ed uno in 2D; l'obiettivo è comunque un ampliamento della stessa estendendola, nel prossimo futuro, ad uno spettro piú ampio di argomenti.

2.2.2 L'Esperimento Belle II

Per quanto riguarda l'utilizzo della Realtá Virtuale, è importante citare un esperimento che, benché esuli dalla divulgazione prettamente astrofisica, permette di capire particolarmente bene le potenzialitá della VR in questo senso. Si tratta della visita virtuale all'esperimento Belle II, presentato presso il Dipartimento di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Universitá di Roma Tre in occasione della rassegna "Occhi su Giove". Esso costituisce un'evoluzione dell'esperimento Belle, che ha avuto luogo fino al 2010 con l'obiettivo di studiare le asimmetrie materia-antimateria utilizzando l'acceleratore di particelle KEKB ed il suo upgrade SuperKEKB, situati al KEK (*High Energy Accelerator Research Organisation*) di Tsukuba, in Giappone. Al fine di evidenziare i risultati ottenuti nel corso dell'esperimento, è stata costruita una simulazione virtuale *ad hoc* in modo da permettere una riproduzione di alcuni degli studi effettuati.



Figura 2.5: Il sistema usato nella visita all'esperimento Belle II (foto originale).

La visita all'acceleratore di particelle permette all'utente di immergersi interamente in una simulazione di ció che avviene al suo interno, riproducendo esperimenti giá avvenuti nella realtá. L'area di gioco è piccola (circa 3m $\times$ 3m), ed è attrezzata con un computer su cui è implementato il programma dell'ambiente virtuale.

Un visore integrato con il software di simulazione permette l'isolamento del mondo reale, e dei sensori di movimento, legati ad esso, consentono all'utente di muoversi limitatamente all'area preposta e di guardare in ogni direzione con un angolo di 180°, permettendo di visualizzare informazioni dettagliate sulle singole particelle in gioco nell'esperienza. In particolare, si puó riprodurre piú volte la simulazione ed analizzare ogni singola parte del processo che si sta osservando, al fine di ricavare una panoramica completa su ciascun aspetto dell'esperimento. Un'applicazione piú direttamente legata all'Astrofisica, giá prevista dallo stesso sistema in simulazioni differenti, è allora facilmente intuibile, in quanto il software è in grado di simulare i processi che avvengono all'interno del sistema Solare e renderne l'utente partecipe.

I limiti che si notano sono quelli giá citati nel sommario sulla tecnologia VR. Da una parte, si ha il rischio di effetti negativi sul corpo umano, legato al disorientamento che puó causare un'esperienza completamente immersiva. Dall'altra, ed è questo un dettaglio che sarebbe interessante sviluppare, sebbene connesso alle tecnologie attualmente in uso, si ha il fatto che l'esperienza

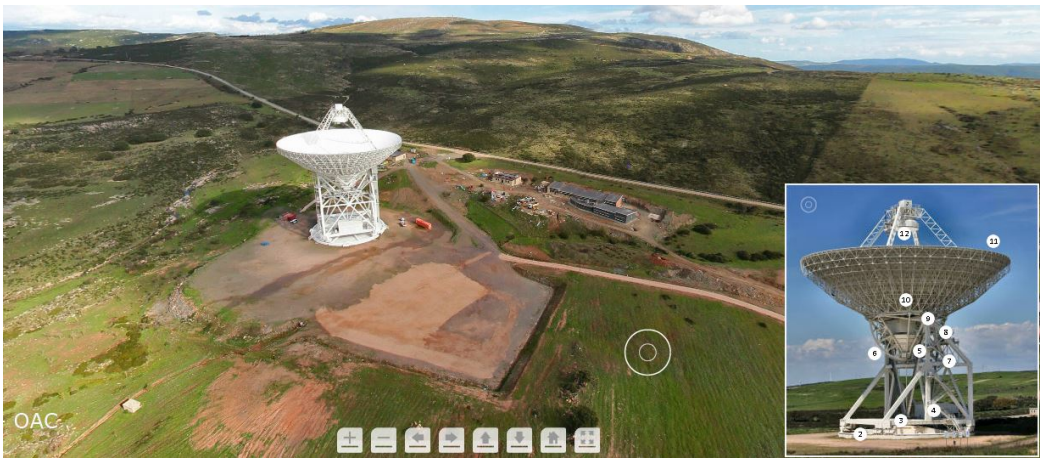

Figura 2.6: Un'immagine del Tour guidato al Sardinia Radio Telescope. Fonte: [21].

è legata solamente alla simulazione di un esperimento, e non all'esperimento stesso. Un'implementazione di ció che accade nell'acceleratore, in tempo reale, puó essere allora un'importante via di sviluppo di questa tecnologia.

2.2.3 Tour virtuali: il caso del Sardinia Radio Telescope.

Ricreare un ambiente virtuale a scopo divulgativo ha dato vita a simulazioni sempre piú complete e dettagliate, e si è notata, nel corso degli anni, una tendenza alla Realtá Ibrida sempre maggiore. Particolarmente interessante, in Italia, è l'esempio del tour al *Sardinia Radio Telescope* (SRT). Entrato in operativitá nel 2012, e posto nella provincia del Sud Sardegna (ex provincia di Cagliari), si tratta del radiotelescopio piú grande e tecnologicamente all'avanguardia tra quelli presenti attualmente sul suolo italiano.
In INAF si è sviluppato, a scopo divulgativo, un tour guidato interattivo del radiotelescopio, con la conseguente possibilitá di reperire on-line informazioni sulla sua struttura e sulle attivitá che si svolgono attualmente al suo interno. L'esperienza è del tipo desktop VR citato in precedenza, e non prevede l'utilizzo di visori ed headset. Si tratta, naturalmente, di una visita virtuale *complementare* ad una reale, fatta in prima persona, e non è da considerarsi sostitutiva di quest'ultima; in questo senso, il tour risulta essere limitato ad alcune parti del radiotelescopio, che possono opportunamente essere selezionate su una mappa che compare al lato dello schermo, e non ad ogni suo singolo dettaglio. Le immagini non sono create virtualmente, come nel

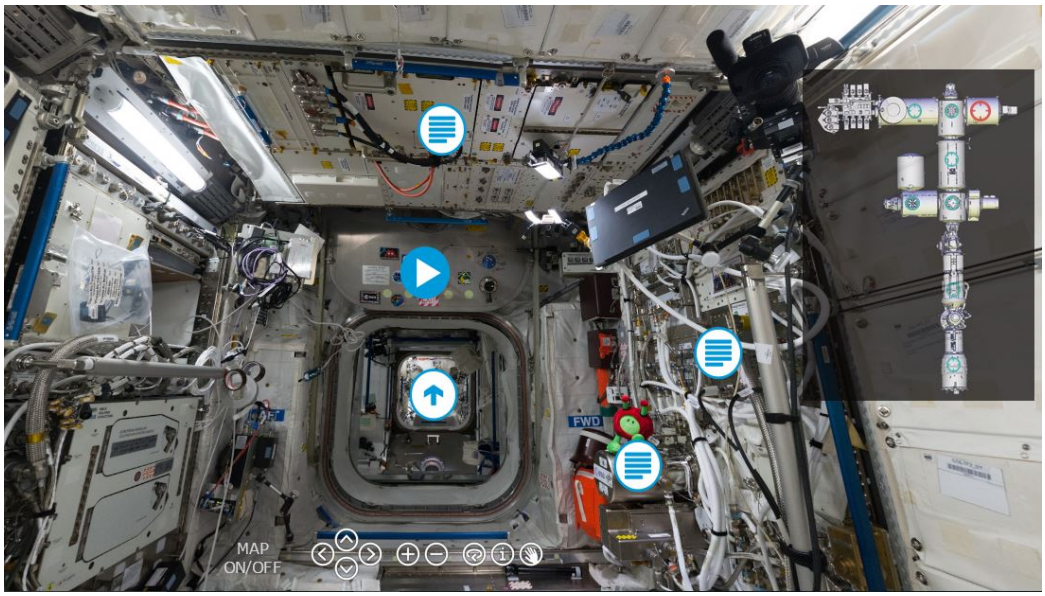

Figura 2.7: Un'immagine tratta dal tour virtuale della ISS. Fonte: [13].

caso di Access to Mars, che vedremo in seguito; piuttosto, questa esperienza puó essere considerata un esempio, ancorché statico, di Realtá Aumentata "virtualizzata", piú che di VR; in effetti, la ricostruzione dell'ambiente è ottenuta sovrapponendo le immagini reali del radiotelescopio e del sito in cui è posto, ed effettuando uno zoom, o semplicemente cliccando con il mouse, è possibile ottenere spiegazioni aggiuntive sulla sezione richiesta. Contrariamente agli esempi piú avanzati di AR, come giá accennato, la limitazione della libertá di movimento nell'area preposta risulta un tratto caratterizzante, che ne evidenzia la natura complementare ad una visita reale. Resta, in ogni caso, un eccellente esempio di come la Realtá Aumentata possa avvicinare il grande pubblico a strutture di importanza scientifica enorme in un modo estremamente facile da utilizzare e completo dal punto di vista delle informazioni.

L'esempio del Sardinia Radio Telescope non è isolato, ma prende anzi spunto da quanto fatto da diversi centri di ricerca internazionali, che hanno optato per costruire un tour virtuale delle proprie strutture utilizzando la tecnica della desktop VR. Mediante la ricostruzione dell'intero ambiente a partire dalle fotografie reali, è possibile orientarsi in luoghi preclusi a persone non addette ai lavori; un utente è in tal modo in grado di sapere di piú su quanto accade nel luogo visitato cliccando su opportune icone presenti nella mappa, al fine di avere una ricostruzione completa, che sia propedeutica ad una visita reale (come nel caso del Centro di Ricerche dell'ESO, posto a Santiago

del Cile) oppure ad essa sostitutiva, qualora il luogo risulti inaccessibile ai non addetti ai lavori (come nel caso del tour virtuale della ISS, prodotto dall'ESA).

2.2.4 Access to Mars e l'Exoplanet Travel Bureau.

Osservando quanto invece accade dall'altra parte dell'Oceano Atlantico, si ha la possibilitá di ripercorrere via web una delle missioni piú importanti degli ultimi anni. Il Jet Propulsion Laboratory (JPL) della NASA, di stanza a Pasadena (California) ha infatti utilizzato le tecniche di VR e AR per ricreare virtualmente le scoperte del rover Curiosity nell'ambito della missione statunitense Mars Science Laboratory. Scopo della Missione, partita nel novembre del 2011, con atterraggio su Marte nell'agosto dell'anno successivo e tuttora in attivitá, è quella di reperire il maggior numero di informazioni inerenti la possibilitá di trovare tracce, passate o presenti, di vita su Marte. A tal fine, il rover Curiosity ha scattato moltissime immagini del Pianeta, e a partire da queste si è potuta costruire una mappatura virtuale piuttosto precisa della superficie finora esplorata, consentendo in tal modo di rendere fruibile via web una visita della stessa.

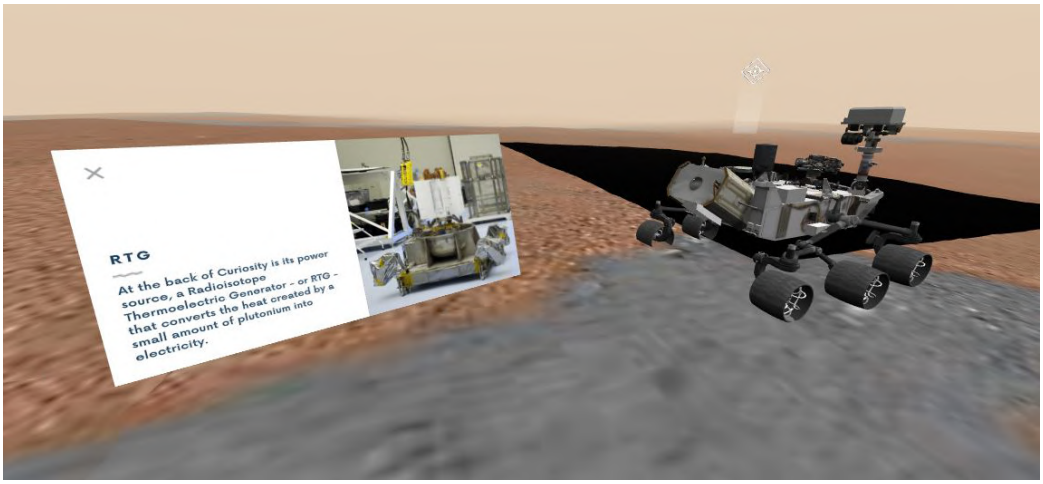

Figura 2.8: Un esempio di realtá virtuale con elementi di realtá aumentata: "Access to Mars". Fonte: [10].

Si tratta, in effetti, di un esempio -ancorché relativamente semplice- di Realtá Ibrida. Anche in questo caso l'esperienza puó essere annoverata tra le applicazioni della desktop VR, ma alcune sue peculiaritá la rendono meritevole di considerazioni piú approfondite. L'utente puó infatti accedervi tramite

un comune smartphone dotato di lettore per la Realtá Virtuale (attualmente preimpostato di default sui telefoni di ultima generazione), ed ha in tal modo la possibilitá di immergersi completamente nell'ambiente del Pianeta, ricreato da zero via software. In questo senso, allora, Access to Mars puó essere considerato un esempio di un passo avanti nella direzione della Realtá Mista, in quanto implementa all'interno del mondo virtuale molte caratteristiche tipiche della Realtá Aumentata. Prima di tutto, l'ambiente stesso: pur essendo stato creato da zero, esso è stato costruito a partire da dati reali, vale a dire le immagini catturate da Curiosity nel corso della Missione, successivamente rielaborate e virtualizzate. D'altro canto, l'utente ha l'opportunitá di muoversi a 360° nell'ambientazione, esattamente come sarebbe in grado di fare utilizzando un navigatore satellitare implementato su cellulare. Si tratta, di conseguenza, di un interessantissimo sviluppo di ibridazione delle tecnologie di cui sopra, che ben evidenzia le possibilitá di integrazione e sviluppo. Le limitazioni giá citate nel primo capitolo hanno, in questo caso, un riscontro piú evidente, legato ad una libertá di movimento ancora relativamente scarsa, benché in questo caso risulti comunque vincolata all'ambiente ricreato dalle fotografie. Tuttavia, ancora una volta, risulta una prova di come sia possibile la risoluzione dei problemi legati all'immersione completa in un ambiente virtuale sacrificando parte della completezza dell'esperienza a favore di una maggiore capacitá didattica e semplicitá di utilizzo, senza contare l'inevitabile riduzione di costi sia per la produzione che la fruibilitá stessa del servizio. Un'esperienza senza dubbio migliorabile, ma la sensazione, piuttosto tangibile, è che la divulgazione dell'astrofisica abbia i maggiori margini di sviluppo proprio in questo senso.
In ogni caso, non è detto che l'iperrealismo dell'esperienza virtuale sia una scelta obbligata, anzi; degno di nota in questo senso, è il progetto *Exoplanet Travel Bureau* della NASA, che utilizza la Realtá Virtuale da desktop, con possibilitá di implementazione su smartphone, per permettere un'immersione parziale nella ricostruzione artistica -ed ipotetica, a partire dai pochi dati finora pervenuti- di alcuni esopianeti noti, come Trappist-1d e Kepler-16b. L'esperienza, per inevitabili motivi legati alla scarsitá di dati a disposizione, è estremamente ridotta, e si limita solamente all'osservazione di una panoramica a 360° dell'ambiente scelto, con la possibilitá di osservare come potrebbe essere l'ambiente aggiungendo l'atmosfera; si riduce dunque ad una rappresentazione di natura piú artistica e speculativa che di realtá effettiva. In ogni caso, permette di far risaltare un altro aspetto importante per quanto riguarda lo sviluppo della VR, e cioé la sua possibilitá di integrazione con altre discipline distanti da quelle scientifiche in senso stretto. Anche questo lato è da tenere in considerazione, e puó riallacciarsi alle teorie di Dale citate all'inizio di questo capitolo; l'esempio dell'Exoplanet Travel Bureau



Figura 2.9: Una raffigurazione artistica del pianeta Kepler-16b, realizzato con il progetto Exoplanet Travel Bureau della NASA.

puó infatti essere di estremo interesse per quanto riguarda le modalitá di apprendimento dei concetti, aprendo un'interessante questione su quanto la spettacolaritá della rappresentazione possa integrarsi con lo studio scientifico nel dettaglio. Sacrificando una puntigliosa precisione nella riproduzione dell'ambiente virtuale in favore di un'esperienza meno dettagliata, ma visivamente piú accattivante e coinvolgente, è possibile destare interesse maggiore in un utente medio? Ed in caso di risposta affermativa, qual è il limite da adottare, e quanto l'accuratezza puó essere sacrificata? In altri termini, qual è la percentuale di precisione che puó essere accantonata a questo fine, oltre la quale la divulgazione non puó piú definirsi davvero efficace? La questione, apparentemente semplice e di facile risposta, è piú complessa e delicata di quanto si possa pensare, in quanto lo scopo di esperienze di questo tipo è informare e divulgare la scienza a persone che non hanno la possibilitá di vivere a stretto contatto con concetti di questo tipo; l'evoluzione di sistemi di Realtá Virtuale e Realtá Aumentata a scopo didattico passa allora inevitabilmente dal successo riscosso da un pubblico di questo tipo, ed è dunque un aspetto che andrá indubbiamente pensato e valutato negli anni a venire.

Capitolo 3

Il caso dell'IAPS-INAF: il progetto MUVISS

3.1 Panoramica generale

Alla luce della sempre piú diffusa tendenza ad una maggiore interattivitá dell'educazione, da realizzarsi anche mediante l'implementazione delle moderne tecnologie di AR e VR, internamente alle strutture dell'IAPS-INAF è nata l'idea alla base del Progetto MUVISS ("Museo Virtuale di Scienze Spaziali). Si tratta di un prototipo sperimentale di un sistema di Realtá Virtuale immersiva, progettato con il fine di realizzare nuove forme di comunicazione, divulgazione e didattica dei contenuti scientifici come ad esempio la navigazione virtuale ed interattiva del Sistema Solare e dell'Universo, usando i dati storici (come la *Fototeca della NASA*) ed attuali (riguardanti le missioni spaziali in corso e future) a disposizione dell'Istituto. Scopo di questo capitolo finale è ripercorrere la fase di analisi ed i passi propedeutici all'implementazione del Sistema, descrivendo una prima fase di sperimentazione, con il fine ultimo di valutarne in modo oggettivo il rapporto costi/benefici, in particolare per quanto concerne il sistema di Realtá Immersiva..

3.2 Fase di ideazione e di analisi dei componenti

L'idea alla base del MUVISS è pertanto quella di creare un Museo virtuale polifunzionale, articolato in diversi sottosistemi:

- Un Simulatore di pianeti integrato al 3D;

- Un Sistema di Realtá Virtuale immersiva;
- Un Sistema di supporto alla Realtá Aumentata per smartphone, con lo scopo di effetture lezioni interattive.

Un'esperienza di questo tipo, di conseguenza, ha l'enorme pregio di poter raggruppare in un unico Progetto tutti e tre i modelli di divulgazione interattivi descritti nei capitoli precedenti. In tal modo risulta dunque una summa esemplificativa ed anche, eventualmente, un punto di partenza per future evoluzioni da un punto di vista piú strettamente innovativo, nell'ottica di analisi piú approfondite da intraprendere nell'immediato futuro. Di seguito, descriveremo brevemente ciascuno di tali sottosistemi.

3.2.1 Il Simulatore di Pianeti

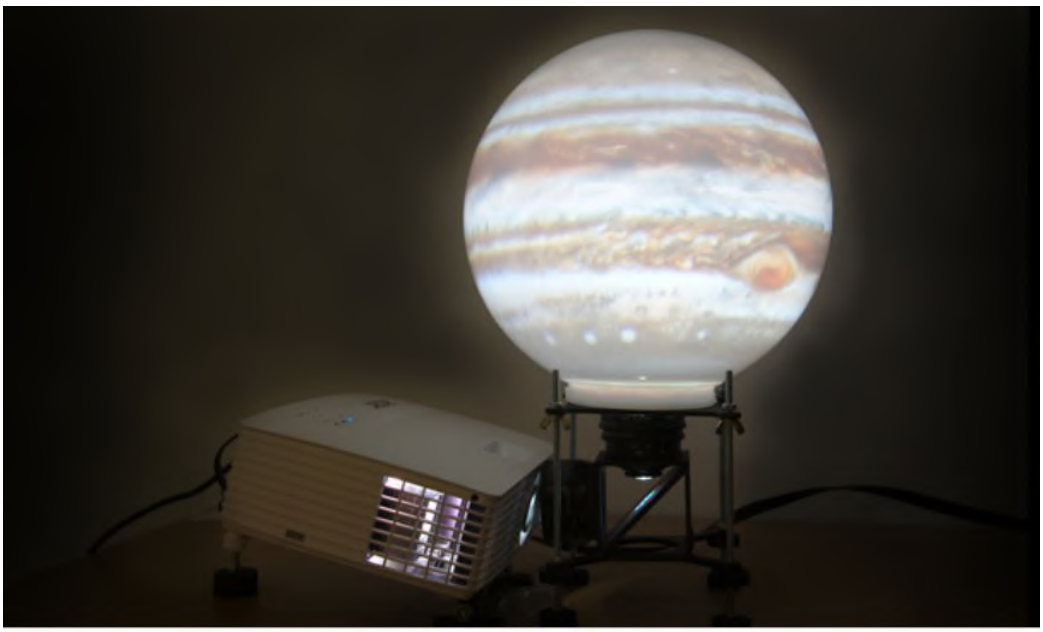

Figura 3.1: Il punto di partenza: Pianeti in una Stanza. Fonte: [18]

Punto di partenza per questa parte del Sistema è "Pianeti in una stanza": quest'ultimo, costruito dall'associazione Speak Science in collaborazione con l'IAPS-INAF, è stato concepito come mezzo interattivo per la divulgazione astrofisica; consiste in un monitor sferico che permette la visualizzazione tridimensionale di stelle e pianeti, con la possibilitá di essere utilizzato anche in piccoli planetari. La futura evoluzione del Sistema, nell'ambito del

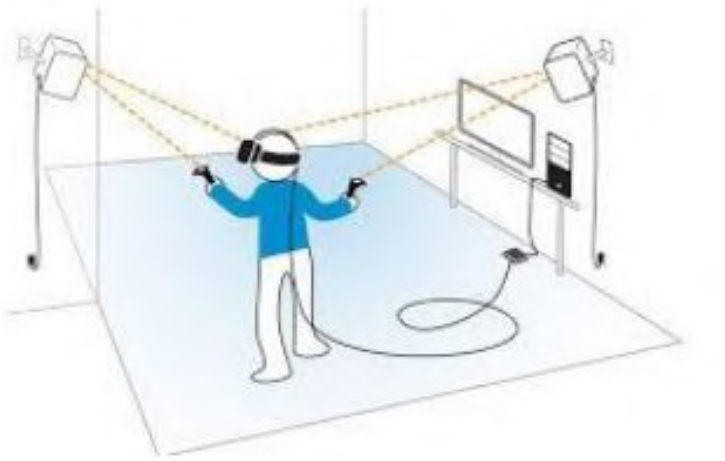

Figura 3.2: Schema della configurazione della stanza per la Realtá Virtuale Immersiva.

MUVISS, fará uso di un Proiettore 3D con opportuni occhialini, e due schermi, uno fisso ed uno portatile, che andranno integrati con il Monitor sferico che caratterizzava il suo predecessore. L'esperienza consiste pertanto di una visualizzazione tridimensionale del Sistema Solare a scopo didattico.

3.2.2 Il Sistema di VR immersiva

Questo Sistema di Realtá Virtuale è sostanzialmente lo stesso descritto nel capitolo precedente, usato per l'Esperienza di Belle II; si tratta di un Sistema di VR completamente immersiva, composto da un desktop PC, un visore, un controller per coadiuvare gli spostamenti e dei sensori integrati per rilevare il movimento, il tutto posto in una stanza opportunamente attrezzata di 3m $\times$ 5m, che avrá la funzione di area di gioco.

L'esperienza riguarderá una completa immersione nell'ambiente del Sistema Solare, permettendo l'interazione virtuale con gli oggetti astronomici. Un primo passo per la sua realizzazione effettiva è stata l'esperienza di gruppo che si è svolta in IAPS, descritta piú avanti. Essa non prevede ancora un'interazione diretta con gli oggetti virtuali, né l'impiego da parte degli utenti coinvolti del visore (utilizzato da un solo operatore). Tuttavia, essa era focalizzata sull'ottenere una conferma dei riscontri positivi che sono stati ottenuti con la giá citata simulazione di Belle II.

3.2.3 Le lezioni AR con lo smartphone

Si tratta in quest'ultimo caso di un approccio piú orientato alla portabilitá e alla facilitá di utilizzo. Gli utenti potranno interagire con una riproduzione virtuale dell'ambiente dei grandi telescopi e del Sistema solare facendo uso degli smartphone e di un visore, con opportune applicazioni installate.

3.3 Fase di confronto

Stabilito un piano da realizzare, il punto successivo è stato quello di scegliere le migliori opzioni disponibili in termini di applicazioni, restando in equilibrio nel rapporto tra qualitá dell'esperienza e costo effettivo. La scelta di un passo intermedio di questo tipo è necessaria, nell'ottica futura di una realizzazione autonoma; sapere cosa sia disponibile sul mercato, ed evidenziarne criticitá ed aspetti positivi, deve essere un punto di partenza obbligatorio per qualsiasi approccio innovativo, in particolar modo per quanto concerne un tema ancora in divenire come quello della comunicazione scientifica. In questa sezione ci occupiamo di analizzare e valutare i pro e i contro degli strumenti acquistati e di alcune applicazioni inerenti l'utilizzo delle Realtá Virtuale e della Realtá Aumentata per l'esplorazione del Sistema Solare.

3.3.1 Materiale a Disposizione e Costi

Il Sistema di Realtá Virtuale implementato per l'esperienza descritta successivamente era costituito dalle parti seguenti:

- un computer (desktop PC AlienWare Aurora) con schermo da 49" (LG), e un hard-disk esterno;
- due visori (un Oculus Rift e un HTC Vive Pro: non tutte le applicazioni di VR sono compatibili con entrambi) con i rispettivi sensori di posizionamento (due per ciascun visore);
- un controller wireless;
- un sensore aggiuntivo per Oculus Rift.

Il costo totale del Sistema si aggirava, dunque, intorno ai 4300€.

3.3.2 I Criteri di Valutazione

Si è deciso di condurre la ricerca delle applicazioni commerciali presenti sulla base di diversi parametri, in modo da fornire al lettore un'idea generale. Si è optato per quanto segue:

- Grafica: Attenzione ai dettagli delle superfici e delle textures.
- Completezza: Capacitá di fornire informazioni in modo semplice, diretto e facilmente comprensibile.
- Immersivitá: Legata al coinvolgimento emotivo nel corso dell'esperienza.
- Compatibilitá: Possibilitá di utilizzare l'applicazione su supporti differenti.

In ciascun caso, ad ogni parametro è stato assegnato un punteggio da uno a cinque, ed infine data una valutazione generale con una media aritmetica tra i diversi parametri. La maggior parte di tali applicazioni è implementata per smartphone; di conseguenza, la maggioranza dei casi trattati utilizza la tecnica della Realtá Aumentata, di piú semplice utilizzo, e con costi decisamente piú contenuti, come giá osservato in precedenza. Fondamentale è tenere presente che tale valutazione, in quanto qualitativa, puó essere soggettiva, e di conseguenza migliorabile sia nei criteri di valutazione, sia nella stessa assegnazione del punteggio. In ogni caso, essa puó dare una prima idea della varietá di applicazioni a disposizione, e fornire spunti sia per un utilizzo delle stesse che per l'implementazione di nuove.

3.3.3 Il Confronto

1. **AR Solar System**: si tratta di un'applicazione di Realtá Aumentata, implementata su smartphone mediante l'utilizzo delle Google Cards. Progettata essenzialmente solo per intrattenimento, ha come unico effetto quello di far comparire nello schermo del proprio smartphone un modello virtuale dei Pianeti del Sistema Solare, senza possibilitá di interagire con essi, o di visualizzare utleriori informazioni. Gratuita, ma puøinterfacciarsi solamente con sistemi Android.

    - Grafica: **
    - Completezza: *
    - Immersivitá: **

- Compatibilitá: **

Valutazione Complessiva: *

2. **Experenti**: Anche in questo caso si tratta di una applicazione per la Realtá Aumentata, ed anche in questo caso la sua funzionalitá si limita ad una mera interfaccia grafica, pur mostrando una maggiore precisione nella realizzazione dei modelli, che si prestano discretamente ad un'integrazione interattiva a scopo didattico. Come la precedente, è gratuita, e compatibile solamente con un sistema Android.

   - Grafica: ***
   - Completezza: ***
   - Immersivitá: *
   - Compatibilitá: **

   Valutazione Complessiva: **

3. **Our Solar System**: una delle applicazioni piú complete e precise tra quelle analizzate. Si tratta di una serie di mini-lezioni (da 40 minuti) che permettono un'introduzione alle tematiche di base riguardanti in Sistema Solare. Decisamente piú avanzato dei precedenti modelli elencati, si tratta di un'applicazione che utilizza la Realtá Virtuale, mediante l'ausilio di Oculus Go, sebbene ha possibilitá di implementazione anche con interfaccia IOS e Android. A pagamento, ma dal costo contenuto.

   - Grafica: **
   - Completezza: **
   - Immersivitá: ***
   - Compatibilitá: ****

   Valutazione Complessiva: ***

4. **Solar System Scope**: Applicazione implementata per Android che utilizza la tecnica della Realtá Virtuale tridimensionale. Da un punto di vista didattico, si tratta di un sistema dotato di una maggiore completezza rispetto al caso precedente; permette infatti di visualizzare informazioni anche su stelle e corpi celesti minori. Gratuito nella sua versione base, puó essere integrato con una versione professionale a pagamento, contenente un numero decisamente maggiore di informazioni.

- Grafica: ***
- Completezza: ****
- Immersivitá: ***
- Compatibilitá: **

Valutazione Complessiva: ***

5. **Solar Walk**: Parte di una serie di applicazioni gratuite, sviluppate per Android, che permettono un'esplorazione sufficientemente completa del Sistema Solare mediante la Realtá Virtuale. Si caratterizza per una decisa facilitá di utilizzo, e per la possibilitá di interagire con i corpi celesti per ottenere informazioni aggiuntive, implementando nel Sistema VR una caratteristica tipica della Realtá Aumentata.

   - Grafica: ***
   - Completezza: ***
   - Immersivitá: ***
   - Compatibilitá: **

   Valutazione Complessiva: ***

6. **Spacewalk**: Applicazione, sviluppata per HTC, che prevede un tour dei Pianeti del Sistema Solare, con la possibilitá di interagire parzialmente con alcuni degli oggetti orbitanti (probes e satelliti naturali ed artificiali). Dal costo contenuto (prevede un periodo di prova gratuito), è un buon compromesso tra divulgazione e coinvolgimento emotivo. Si caratterizza per una discreta semplicitá di utilizzo ed una grafica piuttosto buona e dettagliata, sebbene la visione dei Pianeti sia piuttosto limitata (non c'è la possibilitá di osservarne tutte le parti, né di visualizzarne completamente tutti i dettagli).

   - Grafica: ****
   - Completezza: ***
   - Immersivitá: ***
   - Compatibilitá: **

   Valutazione Complessiva: ***



Figura 3.3: L'Esperienza VR effettuata in IAPS: un primo passo verso il MUVISS. Fonte: [16].

3.4 La prova sul campo: un primo test

È chiaro, a questo punto, che un'analisi meramente teorica non puó dirsi efficace ai fini di una valutazione completa ed esauriente. Una volta scelto il sistema, e l'applicazione più formalmente idonea ad una lezione interattiva, il passo successivo, di conseguenza, è stata una prova diretta sul campo. Articolata nel corso di una giornata, essa prevedeva il coinvolgimento di due classi di quinta elementare, divise in gruppi da quindici/venti persone, in una serie di attivitá nelle strutture dell'IAPS, tra le quali appunto il test VR. L'applicazione usata, tra quelle classificate finora, è stata "Spacewalk" per una serie di motivi ben precisi:

- Semplicitá di utilizzo. Giá segnalata ad una prima analisi; si è rivelata la piú intuitiva ed idonea ad un'attivitá di questo tipo, in virtú di un sistema di navigazione durante l'esperienza notevolmente agile anche con un tempo di preparazione ridotto.

- Completezza dell'esperienza. Il coinvolgimento di gruppi piuttosto numerosi di bambini rendeva fondamentale la scelta di un'esperienza di buona qualitá anche su proiettore, e non solo mediante visore. Scegliere dunque un prodotto che comprendesse una visita rapida ai pianeti del Sistema Solare, con qualche sorpresa (come il passaggio di Europa vicino a Giove, o l'incontro ravvicinato con Deimos durante la visita a Marte) garantiva un buon compromesso tra una valida attivitá divulgativa complessa ed un'esperienza di intrattenimento.

Il coinvolgimento previsto nell'attivitá di realtá virtuale era concettualmente semplice: i partecipanti erano protagonisti, opportunamente guidati da due



Figura 3.4: Il Computer utilizzato per l'Esperienza. Ad esso erano collegati un visore, due controller per le azioni da effettuare nel mondo virtuale, ed una coppia di sensori di posizione.

operatori (il sottoscritto come "pilota", ed un narratore che facesse le veci di una "lezione frontale") di un viaggio attraverso i pianeti del Sistema Solare che loro stessi dovevano indovinare, seguendo alcuni indizi appresi a lezione, o durante l'esperienza di "Pianeti in una stanza", effettuata parallelamente nel corso della stessa giornata. Ogni pianeta veniva introdotto da una domanda su una sua caratteristica peculiare, e poi descritto accuratamente una volta giunti in vista della sua superficie. I partecipanti hanno cosí avuto modo di "interagire" con quanto studiato, rivelando ancora una volta le ottime possibilitá che un'integrazione tra Realtá Virtuale e lezioni frontali possono garantire a livello divulgativo anche ai non addetti ai lavori. In effetti, ancora piú dell'oculatezza di scelta dell'applicazione usata, il risultato dell'esperienza pratica viene esattamente dalla conferma del metodo come efficace strumento di complemento didattico. Il concetto chiave risiede qui: il successo di attivitá di questo tipo, infatti, deriva principalmente dal fatto che i partecipanti hanno un riscontro virtuale, visivo, di quanto giá appreso nel corso di una precedente lezione frontale. Nuova conferma del fatto che l'utilizzo di una simulazione virtuale concepita in questo modo, per quanto sia uno straordinario mezzo didattico, non puó essere totalmente sostitutiva di una spiegazione verbale.

3.5 Una valutazione conclusiva e prospettive future

Ricapitolando quanto espresso nel corso di questa trattazione, pensare all'utilizzo della VR, della AR e della realtá mista come strumenti puri ed unici di didattica puó avere senso in una prospettiva a breve e medio termine. L'esperienza di gruppo effettuata all'IAPS, cui ho avuto modo di partecipare attivamente, puó essere estremamente interessante, a tal proposito. In effetti, pur essendo ancora il metodo di maggiore efficacia divulgativa, la sola lezione frontale inizia a rallentare il passo di fronte ad una necessitá di informazioni immediate sempre piú rapida, efficace e di impatto. L'implementazione futura del MUVISS puó rivelarsi allora un notevole ponte: la costituzione di un Museo Virtuale per la divulgazione dell'astrofisica è un interessante passo intermedio tra la didattica tradizionale e quella del futuro. Passare in modo non graduale da una all'altra in breve tempo potrebbe tuttavia rivelarsi un errore notevole, come le esperienze attuali e passate hanno giá dimostrato. Questo per tutti i molteplici motivi giá citati nel corso di questa trattazione. Ma, a questo punto, è evidente quanto le enormi potenzialitá di questi mezzi per la divulgazione, vadano ben oltre un semplice adattamento alla modernitá. L'esperienza didattica effettuata in IAPS è esemplificativa in questo senso. Con un budget non eccessivo, sebbene non trascurabile, si è potuto costruire ed implementare un Sistema di Realtá Virtuale Immersiva che, con l'ausilio di opportuni software ed applicazioni giá esistenti, ha confermato in modo diretto quanto teorizzato in questi ultimi anni dalle diverse ricerche citate. I prossimi passi per il MUVISS sono allora chiari: procedere verso lo sviluppo di un sistema autonomo in termini di software, in grado di essere al passo con il continuo sviluppo tecnologico, e che possa coinvolgere in attivitá di questo tipo un numero sempre maggiore di persone, opportunamente istruite e guidate; sfida accettata.

Bibliografia

[1] Barab S.A., Hay K. E., Barnett M., Keating T., *Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building*, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 37, No. 7, PP. 719-756 (2000).

[2] Chen C., Yang J.C., Shen S. & Jeng M.C., *A Desktop Virtual Reality Earth Motion System in Astronomy Education*, Educational Technology & Society, Vol. 2007, **10**(3) 289-304.

[3] Cruz-Neira C., Sandin D.J., DeFanti T.A., Kenyon R.V., Hart J.C., *The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment*, Communications of the ACM, Volume 35 Issue 6, June 1992 Pages 64-72, ACM New York, NY, USA.

[4] Dale Edgar, *Audio-Visual Methods in Teaching*, New York Dryden Press, 1946.

[5] L. Giacomini, F. Aloisi, I. De Angelis, S. Capretti *Planets in a Room: a DIY, low-cost educational kit*, EPSC2018-254, 2018

[6] Lee H., Park S., Kim H., Lee H., *Students' Understanding of Astronomical Concepts Enhanced by an Immersive Virtual Reality System (IRVS)*, Recent Research Developments in Learning Technologies, 2005.

[7] Tarng W., Lin Y., Lin C., Ou K., *Development of a Lunar-Phase Observation System Based on Augmented reality and Mobile Learning Technologies*, Hindawi Publishing Corporation Mobile Information Systems, Volume 2016, Article ID 8352791.

[8] Wiederhold Brenda K., Wiederhold Mark D., *A new approach: Using Virtual Reality in panic disorder with agoraphobia*, Psychiatric Times, Volume 20, Issue 7, July 1st, 2003.

[9] Yair Y., Mintz R., Litvak S., *3D-Virtual Reality in Science Education: An Implication for Astronomy Teaching*, Jl. of Computers in Mathematics and Science Teaching, (2001), **20**(3), 293-305.

[10] Sito di Access to Mars, *https://accessmars.withgoogle.com/*

[11] Informazioni sul sistema CAVE®, *https://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/oldCAVE/CAVE*

[12] Sito ufficiale della Cittá della Scienza di Bagnoli, Napoli, *http://www.cittadellascienza.it/planetario/*

[13] Sito della European Space Agency, *http://www.esa.int.*

[14] Sito dell'Exoplanet Travel Bureau *https://exoplanets.nasa.gov/.*

[15] *https://immosis.com/what-exactly-is-immersive-reality/*

[16] SIto ufficiale dell'Istituto di Scienza e Planetologia Spaziale (IAPS), *http://www.iaps.inaf.it/ufficio.comunicazione/per-il-pubblico/muviss-museo-virtuale-di-scienze-spaziali/*

[17] Sito della MacQuarie University di Sydney, Australia, *www.mq.edu.au*

[18] Sito di "Pianeti in una stanza", *https://www.planetsinaroom.net/Default*

[19] *http://www.qrline.it/realta-aumentata/*

[20] *http://senai-educationaltechnologies.blogspot.com/2012/04/using-augmented-reality-ar.html*

[21] Sito del Sardinia Radio Telescope, *http://www.srt.inaf.it/*

[22] *http://www.megalab.it/7648/tecnologia-3d-come-funziona-realmente.*

[23] *http://www.rieducazionevisiva.it/metodo/visione-binoculare/.*

[24] *http://www.stereoscopy.com/faq/slideprojection.html.*

[25] *https://tecnologia.libero.it/cose-e-come-funziona-la-realta-virtuale-933.*

[26] *https://www.webnews.it/speciale/realta-aumentata/.*

[27] *https://www.vr.rwth-aachen.de/publications/.*

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro di tesi, vorrei scrivere qualche riga per ringraziare tutti coloro che hanno contribuito, piú o meno direttamente, alla sua stesura. Prima di tutti la mia relatrice, la Dottoressa Livia Giacomini, per la sua disponibilitá e per avermi dato la possibilitá di sperimentare sul campo quanto scritto in questo lavoro, ma anche per avermi concesso l'immenso onore e piacere di collaborare alla Notte dei Ricercatori in prima persona. Un ringraziamento anche a tutti coloro in IAPS che mi hanno aiutato e dato consigli, a cominciare dalla Dottoressa Giulia Mantovani.

Un ringraziamento particolare va poi alla Prof.ssa Alessandra Celletti; la scelta di questo Master è prima di tutto merito suo.

Al Dott.Anilkumar Dave e al Dott.Danilo Rubini dell'Agenzia Spaziale Italiana, i miei supervisori di stage durante l'esperienza lavorativa prevista nel corso del Master, per il continuo supporto;

ai miei genitori, per avermi sempre sostenuto con i loro consigli in questo percorso fino alla fine;

a tutti i miei amici sparsi nel mondo, tra Italia, Europa e Oltreoceano.

Federico Ciampi