



Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente



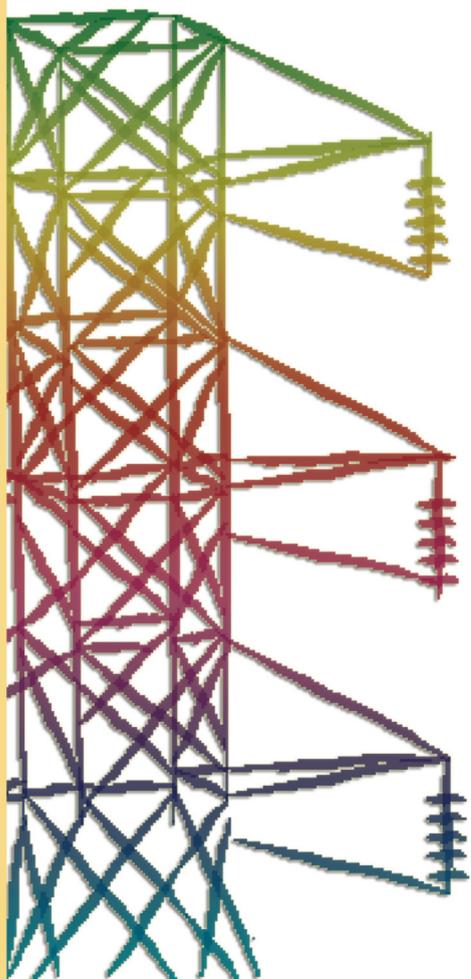
*Ministero dello Sviluppo Economico*

## **RICERCA SISTEMA ELETTRICO**

---

### **Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari fotorealistici basati su dati e calcoli illuminotecnici**

**Davide Gadia**





Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari fotorealistici  
basati su dati e calcoli illuminotecnici

*Davide Gadia*



**DICo**

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Informatica e Comunicazione

VISUALIZZAZIONE IN AMBIENTI DI REALTÀ VIRTUALE DI SCENARI FOTOREALISTICI BASATI  
SU DATI E CALCOLI ILLUMINOTECNICI

Davide Gadia (Dipartimento di Informatica e Comunicazione dell'Università di Milano)

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali

Responsabile Tema: Ennio Ferrero, ENEA

## **Sommario**

La presente relazione contiene una presentazione dell'unità di ricerca, una introduzione alla realtà virtuale, i primi passi preliminari per la considerazione di tecniche e tecnologie di Realtà Virtuale nella pipeline di progettazione e validazione di impianti illuminotecnici.

In dettaglio, è effettuata l'analisi e determinazione dei requisiti necessari al fine dell'utilizzo di dati e calcoli illuminotecnici (forniti dalle altre componenti del progetto di ricerca) in ambienti di Realtà Virtuale immersiva, in particolare specifiche dei dati necessari alla visualizzazione e interazione in tempo reale con scenari utilizzati per la progettazione di sistemi di illuminazione efficienti.

Seguono esperimenti preliminari finalizzati alla considerazione di meccanismi percettivi nella visualizzazione di scenari virtuali immersivi e la loro integrazione nel processo di progettazione.

Accordo di Programma MSE-ENEA

Tema di ricerca 5.4.3.1: “Promozione delle tecnologie elettriche  
innovative negli usi finali nel settore industriale”

**Attività di Ricerca:**

**“Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari  
fotorealistici basati su dati e calcoli illuminotecnici”**

Unità di Ricerca UNIMI

Dipartimento di Informatica e Comunicazione - Università degli Studi di Milano

## **Indice**

<b>1. Presentazione dell' Unità di Ricerca</b>	<b>5</b>
<b>2. Introduzione alla Realtà Virtuale</b>	<b>8</b>
<b>3. Considerazione di tecniche e tecnologie di Realtà Virtuale nella pipeline di progettazione e validazione di impianti illuminotecnica. Requisiti ed esperimenti preliminari.</b>	<b>11</b>
<b>4. Bibliografia</b>	<b>15</b>

## **1. Presentazione dell' Unità di Ricerca**

L' Unità di Ricerca UNIMI svolge da anni ricerche nei campi della grafica computerizzata e della elaborazione delle immagini.

In particolare si è occupata di metodi per il rendering fotorealistico, per la simulazione di processi fisici, per la considerazione di aspetti di percezione cromatica nell'elaborazione di immagini digitali a bassa ed alta dinamica e nel restauro digitale di pellicole cinematografiche.

Su alcuni di questi argomenti l'Unità di Ricerca ha ottenuto negli ultimi anni finanziamenti in ambito nazionale e internazionale, oltre ad aver stabilito importanti collaborazioni con importanti realtà industriali.

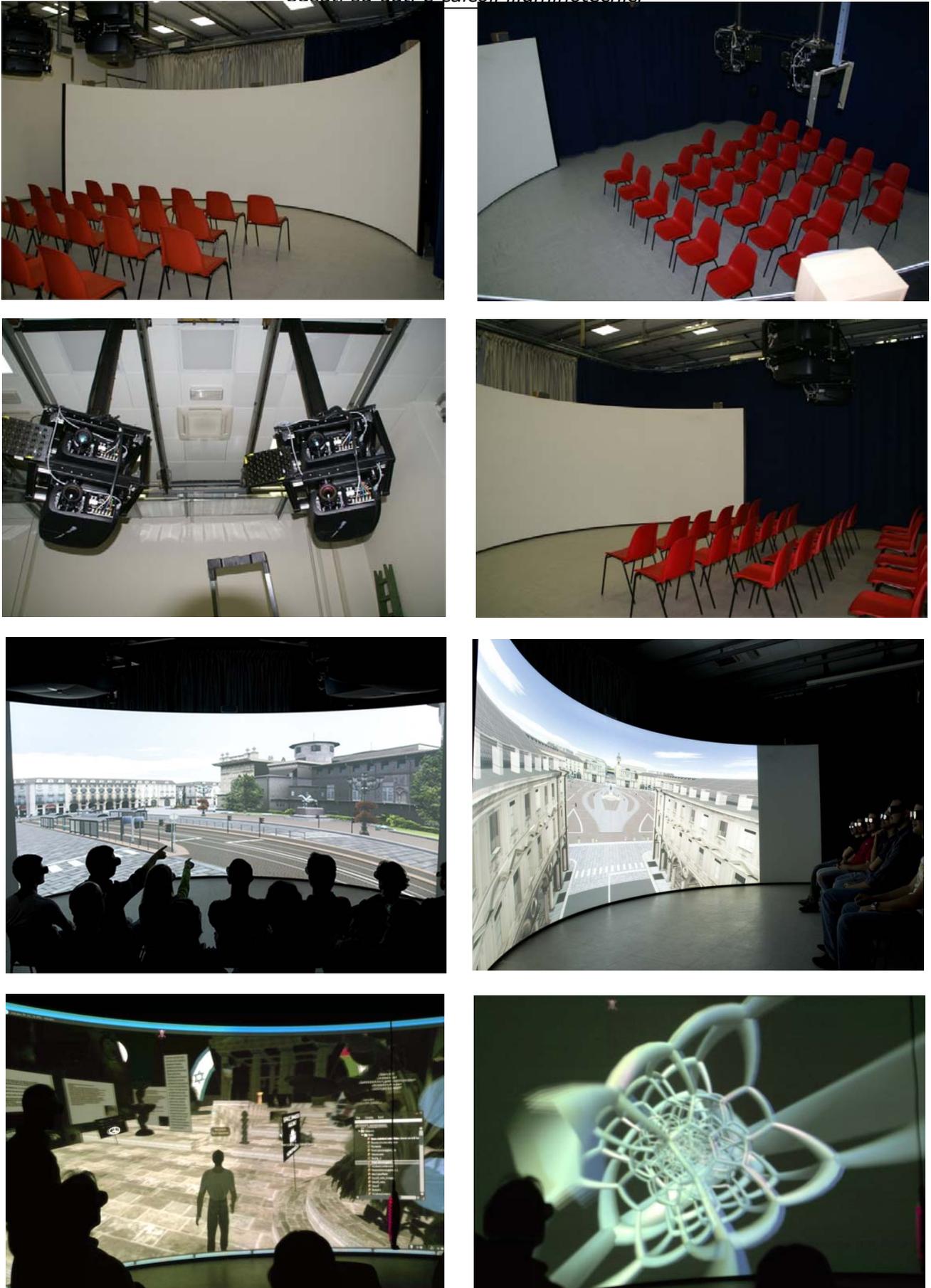
Da fine 2006 l'Unità di Ricerca si occupa di tematiche relative alla Realtà Virtuale, con particolare attenzione all' analisi dei fattori che determinano un alto livello di immersività e presenza nella visione ed interazione con scenari virtuali. Per ottenere un miglioramento nel feedback fornito dall'esperienza virtuale, si stanno considerando aspetti legati alla percezione visiva, nonché l'introduzione di nuove metodologie di interazione basate sull'utilizzo di device avanzati.

Su questi argomenti, negli ultimi anni l'Unità di Ricerca ha partecipato ad un importante progetto europeo chiamato “Virtual Reality and Human Factors Applications for Improving Safety (VIRTHUALIS)”.

L'Unità è dotata di un sistema di Realtà Virtuale multiutente denominato Teatro Virtuale (<http://eidomatica.dico.unimi.it/theater.php>), capace di ospitare fino a 35 ospiti. Il Teatro Virtuale è caratterizzato da uno schermo semicilindrico alto 2.70 m, con raggio di 3 m ed estensione dell'arco di circonferenza di circa 8 m. Il sistema di proiezione, costituito da quattro proiettori Barco Sim 5Plus ad alta risoluzione e dotati di filtri INFITEC per la visualizzazione stereoscopica passiva, copre un campo di visione di circa 90° in verticale e 120° in orizzontale da una distanza di osservazione di 3 m. Le caratteristiche dello schermo (comuni a pochissimi altri centri di ricerca) permettono una visualizzazione particolarmente efficace dal punto di vista dell'immersività percepita.

In Figura 1 sono presentate alcune immagini del Teatro Virtuale

*Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari fotorealistici  
basati su dati e calcoli illuminotecnici*



***Figura 1: Il Teatro Virtuale dell' Università degli Studi di Milano.***

La struttura è attrezzata inoltre con diversi strumenti di interazione avanzata, tra i quali gamepad, Wiimote, data glove (capace di rilevare l'angolo di flessione e l'abduzione delle dita di una mano) , e un tracker magnetico per rilevare posizione spaziale e angolo di rotazione rispetto a un riferimento fisso. Recentemente è stato acquisito un dispositivo g.Mobilab+ per l'interazione Cervello-Macchina, capace di rilevare e analizzare le onde cerebrali tramite sensori EEG. C'è un rilevante interesse nel campo della Interazione Uomo-Macchina nell'utilizzo di questo tipo di dispositivi al fine di implementare metodologie di interazione basate sull'attività cerebrale dell'utente, nonché nella possibilità di rilevare lo stato emotivo dell'utente nell'interazione con scenari virtuali.

In Figura 2 sono presentate alcune immagini di questi dispositivi.



***Figura 2: Data glove (a sinistra) e g.Mobilab+ (a destra), due dispositivi di interazione utilizzati nel Teatro Virtuale.***

## 2. Introduzione alla Realtà Virtuale

La progettazione e l'implementazione di tecniche e strumenti per la visualizzazione immersiva di scenari di Realtà Virtuale ha visto negli ultimi anni un crescente interesse e un conseguente notevole miglioramento nei risultati, grazie anche alla grande disponibilità di potenza computazionale, fornita dalle architetture multiprocessore e soprattutto dalle recenti schede grafiche programmabili. Cercando di riassumere gli ultimi anni di ricerca sull'argomento possiamo individuare due differenti approcci alle soluzioni per la visualizzazione stereoscopica.

Un primo approccio prevede l'utilizzo di apparecchiature di dimensioni medio-piccole, che comportano l'utilizzo di un singolo utente per volta: esempi tipici sono gli Head Mounted Display (HMD), caschi dotati di monitor LCD posizionati davanti agli occhi, e i Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), vere e proprie piccole stanze in cui le pareti sono schermi a retro-proiezione [1-3].

Il secondo e più interessante approccio prevede l'utilizzo, in ambienti adatti a contenere numerosi osservatori, di sistemi di proiezione (frontale o posteriore) su schermi di grandi proporzioni (piani o semi-cilindrici). Le due tecniche alternative utilizzate per la visualizzazione stereoscopica vengono chiamate "stereoscopia attiva" e "stereoscopia passiva" [1-3].

La percezione della profondità di una scena reale è data principalmente dal fatto che il Sistema Visivo ricostruisce questa informazione a partire dalle due diverse "versioni" prospettiche della scena osservata fornite dai nostri occhi.

Ogni sistema di Realtà Virtuale cerca di simulare questo processo tramite la visualizzazione di due diverse immagini che simulano l'informazione dell'occhio sinistro e dell'occhio destro, rese visibili solamente all'occhio interessato dell'osservatore nel processo di visione tramite l'utilizzo di specifici occhiali.

La stereoscopia attiva prevede la proiezione alternata dell'immagine destra e sinistra da parte dei proiettori, proiezione sincronizzata tramite un dispositivo ad infrarossi con un otturatore presente negli occhiali dell'osservatore, in modo da abilitare alla visione solo l'occhio coerente con l'immagine proiettata. Questo sistema è però piuttosto fastidioso e molto sensibile alla posizione, in quanto tra gli occhiali e il dispositivo ad infrarossi non vi devono essere ostacoli oppure inclinazioni reciproche oltre i limiti consentiti. Altro svantaggio è il notevole abbassamento dei livelli di luminosità, dovuto alla natura ingombrante degli occhiali e al fatto che solo un'immagine per volta può essere proiettata [1-3].

Più semplice ed efficace è la strategia utilizzata nella stereoscopia passiva. Le immagini destra e sinistra sono proiettate contemporaneamente su uno schermo polarizzato da due o più proiettori, dotati di due differenti filtri di polarizzazione (normalmente le polarizzazioni sono ortogonali tra loro). L'utilizzo da parte dell'osservatore di occhiali predisposti con gli stessi filtri di polarizzazione fa sì che ciascuna immagine raggiunga solo l'occhio a lei destinato. L'utilizzo di questo tipo di sistema, sicuramente meno fastidioso e più coerente con la reale visione stereoscopica, ha anche il vantaggio di permettere livelli di luminosità più elevati, in quanto gli occhiali utilizzati sono meno limitanti in questo senso, e soprattutto in quanto permette la proiezione contemporanea di entrambe le immagini. L'utilizzo dei filtri polarizzanti presenta però limitazioni riguardanti la posizione degli osservatori rispetto lo schermo, in quanto si ha un degrado dell'effetto stereoscopico spostandosi da una posizione di osservazione centrale a posizioni più esterne. Inoltre l'effetto di percezione delle immagini "fantasma" (quelle riservate all'altro occhio) è piuttosto evidente [1-3]. Si ha quindi una scarsa possibilità di realizzare sistemi di visualizzazione adatti per l'utilizzo contemporaneo da parte di molti utenti.

Negli ultimi anni, tramite l'utilizzo della tecnologia *Interference Filter Technique (INFITEC)*<sup>TM</sup> [4] si sono registrati notevoli progressi nell'ambito della visualizzazione stereoscopica passiva, con l'eliminazione dei difetti citati in precedenza e con una maggiore semplificazione degli strumenti necessari.

La tecnologia INFITEC<sup>TM</sup> [4] rappresenta una interessante evoluzione per quanto riguarda l'approccio passivo nella visualizzazione stereoscopica, e apre interessanti interrogativi e possibilità per quanto riguarda lo studio dei fenomeni percettivi in situazioni di forte immersività.

L'idea alla base di questa tecnologia è dividere la distribuzione spettrale luminosa emessa dai proiettori in due sottoinsiemi complementari, ciascuno rappresentante l'immagine destra e sinistra dello scenario virtuale da rappresentare. Per far questo, si usano due filtri passabanda caratterizzati ciascuno da specifiche triplette di stimoli primari [4].

Dal punto di vista dei dispositivi necessari per utilizzare questa tecnologia, è evidente come nessun cambiamento significativo sia previsto rispetto ad una classica soluzione di stereoscopia passiva "classica": semplicemente i filtri posti davanti ai proiettori e negli occhiali saranno i filtri INFITEC<sup>TM</sup> e non i filtri polarizzanti. Un vantaggio è portato dal fatto che non è più necessario avere uno schermo polarizzante, ma è sufficiente uno schermo costruito con normale materiale ad elevata riflessione diffusiva.

L'eliminazione dell'uso di filtri polarizzanti permette anche una migliore usabilità da parte di più utenti contemporaneamente, in quanto l'effetto di immersività ottenuto tramite l'utilizzo di INFITEC<sup>TM</sup> non è dipendente dalla posizione di osservazione. Questo permette di allestire installazioni per la visualizzazione di ambienti virtuali per decine di utenti in contemporanea, quali per esempio il Teatro Virtuale.

Anche per quanto riguarda l'applicazione della Realtà Virtuale in ambiti di ricerca applicata, l'interesse della comunità scientifica è alto: la possibilità di emulare in qualche modo situazioni reali fornisce incredibili opportunità di applicazione, come ad esempio la simulazione di operazioni chirurgiche, l'addestramento di personale in ambienti pericolosi, o la valutazione della progettazione di edifici con particolari vincoli di sicurezza.

Nell'ambito della ricerca sulla percezione è noto come la Realtà Virtuale sia uno strumento potente, che permette un controllo sugli stimoli visivi prima impensabile con un grado ragionevole di validità ecologica [5]. La Realtà Virtuale offre condizioni di ricerca sperimentale che sono facili da definire, controllare e replicare. Inoltre, la Realtà Virtuale permette di creare condizioni di ricerca sperimentale che sarebbero difficili da creare nella realtà. Tuttavia, la tecnologia attuale non è ancora in grado di ricreare le stesse esperienze del mondo reale. Alcune differenze, come l'assenza del corpo fisico, le limitazioni nella rappresentazione degli ambienti virtuali, e le esperienze non naturali nell'utilizzo di diversi dispositivi, fanno chiedere se queste differenze possano influire sull'effettiva applicazione della Realtà Virtuale in ambito di ricerca.

Due approcci sono stati maggiormente considerati negli ultimi anni nella progettazione di ambienti virtuali. Nel primo, chiamato "Fedeltà Fisica", l'attenzione è posta su una accurata e fisicamente corretta rappresentazione degli oggetti ed elementi dello scenario virtuale, mentre sono meno considerati gli aspetti di interazione uomo-macchina e i fattori umani coinvolti. Il secondo approccio al contrario è caratterizzato dal concetto di "usabilità", ossia la capacità di eseguire azioni in un contesto simulato in una maniera simile a come dovrebbe essere l'esperienza reale. A questo approccio è stato dato il nome "Fedeltà Psicologica", per caratterizzare come obiettivo principale il raggiungimento del massimo livello possibile di realismo fenomenologico nella percezione dell'utente nell'eseguire azioni simulate nell'interazione con scenari virtuali immersivi [6,7]. Alti livelli di Fedeltà Fisica e Psicologica contribuiscono ad un alto livello di presenza che, insieme all'immersività, rappresentano il più avanzato approccio alla Realtà Virtuale. Riuscire a coniugare i due

approcci in maniera scientificamente robusta è un problema aperto, in quanto è necessario una approfondita analisi dei fattori umani coinvolti nel processo di interazione con uno scenario virtuale, nonché una accurata conoscenza degli aspetti percettivi da simulare correttamente al fine di raggiungere il massimo livello di realismo.

### **3. Considerazione di tecniche e tecnologie di Realtà Virtuale nella pipeline di progettazione e validazione di impianti illuminotecnica. Requisiti ed esperimenti preliminari.**

In questo capitolo si presentano i primi passi preliminari per la considerazione di tecniche e tecnologie di Realtà Virtuale nella pipeline di progettazione e validazione di impianti illuminotecnici<sup>1</sup>.

Il livello di immersività messo a disposizione dai dispositivi di Realtà Virtuale permette infatti di considerare simulazioni degli scenari soggetti della progettazione ad un livello molto più avanzato e realistico di quanto ottenibile con le tecnologie di visualizzazione standard (monitor).

In particolare, le caratteristiche dello schermo semicilindrico del Teatro Virtuale permettono una visualizzazione particolarmente immersiva degli ambienti simulati, che coinvolge tutto il campo visivo, con la possibilità inoltre di considerare simulazioni in scala reale. Vi è quindi la possibilità di esaminare gli effetti di diverse scelte progettuali (e la loro adeguatezza agli standard) con un dettaglio non raggiungibile altrimenti.

Un altro fattore, a nostro avviso estremamente importante, e non considerato in maniera adeguata in ambito di ricerca, è la possibilità di considerare un'analisi percettiva dell'ambiente a seconda delle condizioni di illuminazione. Il fattore di maggiore importanza nell'uso della Realtà Virtuale in questo ambito è la differenza nelle condizioni di fruizione della simulazione: da una parte, utilizzando le tecnologie standard, siamo limitati a condizioni di visione molto lontane da quelle normali, caratterizzate da un campo di visione estremamente ridotto; dall'altra, utilizzando tecnologie di Realtà Virtuale, siamo in una situazione molto simile a quella di osservazione del mondo reale, con tutto il campo di visione coinvolto. Di conseguenza, in quest'ultimo caso anche la risposta percettiva dell'osservatore si avvicina maggiormente a quella reale, fornendo quindi un feedback estremamente importante in fase di progettazione.

Nell'ottica finale di una considerazione accurata in ambito di Realtà Virtuale di scenari e dati illuminotecnici, abbiamo deciso di affrontare alcuni aspetti preliminari tecnici e di base.

Un primo aspetto da considerare è la necessità di trasferire scenari e dati illuminotecnici dagli strumenti software utilizzati per la progettazione e la simulazione agli strumenti utilizzati per la visualizzazione di scenari di Realtà Virtuale. Esistono pochi strumenti software ad alto livello che prevedono la gestione e la creazione delle due viste prospettiche (destra e sinistra) necessarie alla visualizzazione stereoscopica, e sicuramente nessuno nell'ambito dei software per la progettazione illuminotecnica. Questo è comprensibile, in quanto i requisiti hardware di un sistema di Realtà Virtuale (e i suoi costi) rendono poco comune e richiesta la gestione della visualizzazione stereoscopica.

La scelta migliore sembra essere quindi l'implementazione di un modulo software separato, che gestisca gli scenari e i dati illuminotecnici. Le funzionalità principali di un simile modulo software sono l'importazione dei dati, la visualizzazione degli scenari ed eventualmente l'interazione con questi ultimi (es. navigazione). Esistono librerie grafiche (OpenGL, DirectX), e framework di programmazione grafica di livello più alto (OGRE, OpenSceneGraph) che permettono di creare e gestire le funzionalità di visualizzazione e interazione.

Il problema è quindi il passaggio dei dati e delle informazioni necessarie dai software di progettazione illuminotecnica ai software per la loro visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale.

---

<sup>1</sup> Nella presente relazione non sono descritti i dettagli più tecnici legati ai moduli software, ad esempio specifiche di esportazione della geometria della scena, delle texture e delle light map (nota ENEA)

*Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari fotorealistici  
basati su dati e calcoli illuminotecnici*

---

A tal fine l'Unità di Ricerca ha analizzato la natura degli scenari e dei dati calcolati dal software per il calcolo illuminotecnico oggetto dell'attività di implementazione delle altre Unità di Ricerca, e ha concordato con esse le specifiche di esportazione della geometria della scena, delle texture e delle light map (contenenti i dati calcolati dal software di progettazione illuminotecnica) in modo da importare questi dati in moduli software adatti per la visualizzazione e interazione con ambienti di Realtà Virtuale. Le Unità di Ricerca responsabili dello sviluppo software del motore di calcolo illuminotecnico hanno implementato nel software queste funzionalità di esportazione.

Le altre attività dell'Unità di Ricerca hanno riguardato problematiche relative alla visualizzazione e percezione degli scenari di Realtà Virtuale.

Si vogliono infatti considerare gli aspetti di percezione visiva coinvolti nella fruizione di contenuti fotorealistici in contesti di visualizzazione molto immersiva, come ad esempio nel Teatro Virtuale.

Nell'ambito di ricerca sulla percezione visiva, molto è stato proposto in letteratura, relativamente sia alle risposte percettive degli osservatori, sia ai tipi di esperimenti più adatti a verificare queste risposte, fino a considerazioni sulle condizioni sperimentali. Tuttavia, le situazioni di osservazione presentate sono casi o di visione reale (esperimenti sulla percezione del mondo reale), o di visione su dispositivi hardware (monitor di medio-piccole dimensioni). Condizioni di visualizzazione su schermi di grandi dimensioni (e addirittura curvi come nel Teatro Virtuale) non sono praticamente presenti in letteratura.

Di conseguenza, l'Unità di Ricerca ha impostato alcune attività incentrate sul tuning delle condizioni sperimentali nel Teatro Virtuale e sulla impostazione di esperimenti percettivi relativi alla percezione del colore e dello spazio.

Ai fini di impostare esperimenti relativi alla percezione visiva, è evidente come una corretta gestione dell'informazione cromatica nella pipeline di visualizzazione di scenari immersivi di Realtà Virtuale sia essenziale. Questi aspetti, largamente discussi e affrontati utilizzando dispositivi di visualizzazione standard, sono particolarmente complessi in installazioni di Realtà Virtuale, che spesso non presentano omogeneità di caratteristiche e dispositivi coinvolti. In una installazione così complessa come il Teatro Virtuale sono molteplici gli elementi da considerare nella catena di trasformazioni del segnale cromatico, a partire dalle condizioni di acquisizione o generazione del segnale stesso, alle eventuali elaborazioni effettuate dalla scheda grafica utilizzata nella workstation, fino alle eventuali correzioni dovute a circuiti integrati nei proiettori. In un sistema dotato di più proiettori, è inoltre un problema delicato ed essenziale la precisa calibrazione di tutti i dispositivi di proiezione in modo che non vi siano differenze tra i gamut proiettati.

Infine, la natura stessa della tecnologia INFITEC™, introdotta nel paragrafo precedente, suggerisce interrogativi legittimi sulla natura di questi filtri passabanda, sul loro effetto sullo spettro emesso dai proiettori e, soprattutto, sulla percezione dei colori da parte degli osservatori.

Per poter quindi procedere a considerazioni più fedeli riguardanti la risposta percettiva degli osservatori e, di conseguenza, alla validazione della rilevanza nella considerazione della Realtà Virtuale nell'ambito della progettazione illuminotecnica, è necessario analizzare in profondità le caratteristiche delle tecnologie utilizzate per la visualizzazione stereoscopica al fine di determinare protocolli per la misura e calibrazione del sistema di proiezione adottato.[8] .

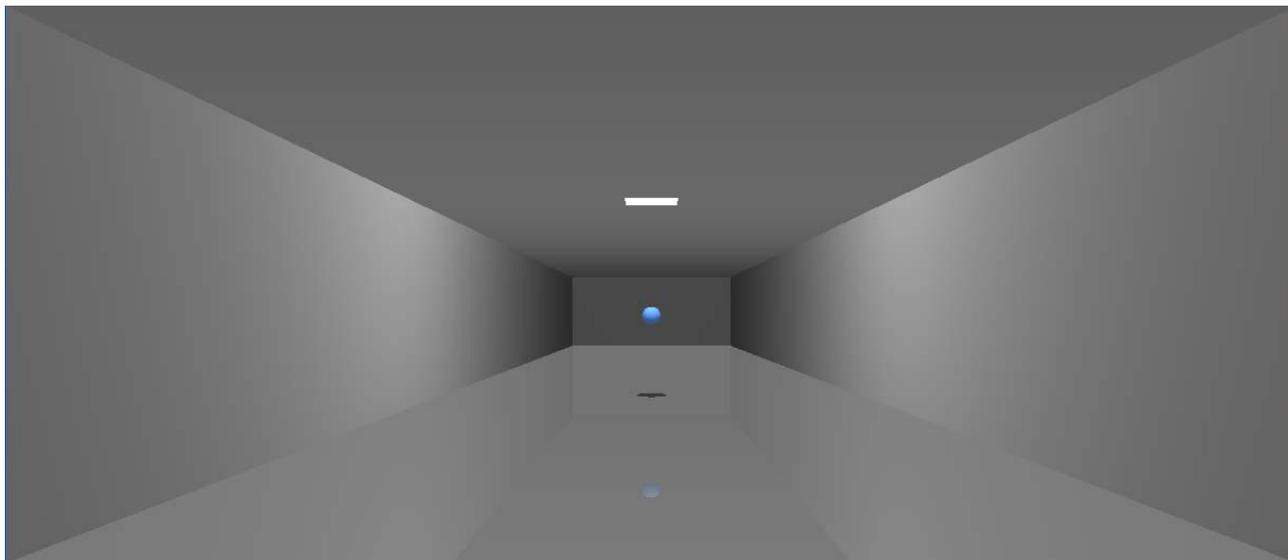
L'Unità di Ricerca ha inoltre impostato attività sperimentali atte a verificare la risposta percettiva degli osservatori per quanto riguarda la percezione cromatica. Come già ribadito, le caratteristiche fuori dall'ordinario del Teatro Virtuale, del suo schermo e del suo sistema di proiezione, rendono necessario un accurato riesame dello stato dell'arte relativamente alla sperimentazione percettiva e alla implementazione delle soluzioni computazionali più efficaci [9-11] per una visualizzazione percettivamente corretta che sia utile ai fini della valutazione dell'efficacia delle soluzioni di progettazione illuminotecnica proposte.

Infine, un altro aspetto particolarmente importante è l'analisi della percezione spaziale di ambienti virtuali e la relazione con la percezione spaziale di ambienti reali.

La percezione della profondità e delle distanze in ambienti virtuali è uno degli aspetti maggiormente studiati nell'ambito della Realtà Virtuale, in quanto diverse ricerche mostrano discrepanze tra come gli osservatori percepiscono le distanze in un ambiente virtuale piuttosto che in un ambiente reale [12]. E' stato dimostrato [13,14] che in genere le persone giudicano le distanze egocentriche nel mondo reale con un'accuratezza accettabile, specialmente in situazioni che contengono molte fonti di informazione .

L'importanza di ottenere una corretta percezione della distanza e della profondità è essenziale se si considerano simulazioni di situazioni critiche, quali la simulazione di operazioni chirurgiche, l'addestramento di personale in impianti industriali ad alto rischio, oppure nella progettazione di ambienti con particolari requisiti di sicurezza.

La considerazione di scenari fotorealistici basati su dati illuminotecnici in Realtà Virtuale avrebbe un ruolo fondamentale in questo ambito di ricerca, in quanto permetterebbe di considerare alcuni approcci ancora non considerati nello stato dell'arte.



**Figura 3: Setup sperimentale (non basato su dati illuminotecnici) per test preliminari sull'influenza di elementi di illuminazione nella percezione spaziale di ambienti virtuali.**

Infatti, mentre molti lavori [12,14-17] hanno studiato e considerato differenti indici di profondità, come ad esempio la disparità binoculare, vergenza e accomodazione, la densità delle tessiture, l'altezza nel campo visivo, l'occlusione, la dimensione relativa e familiare, la prospettiva aerea, con differenti ipotesi e differenti setup sperimentali, solo pochissimi lavori hanno considerato l'influenza dell'illuminazione (e nessuno con robuste basi illuminotecniche) e i suoi effetti a livello di percezione dello spazio. A nostro avviso, il ruolo della componente di illuminazione è cruciale, in quanto condiziona in modo rilevante molti aspetti della percezione visiva umana, essendo sempre presente (ovviamente in forme diverse) in ogni situazione della vita reale.

Inoltre, nella maggior parte dei lavori in letteratura in questo campo, il campo di visione coinvolto dal dispositivo di visualizzazione per la Realtà Virtuale è molto ridotto ed estremamente non simile al campo di visione coinvolto durante la visione del mondo reale [18-21]. Di conseguenza, anche in questo caso il Teatro Virtuale permette di simulare condizioni di osservazione molto più simili alla realtà, con la possibilità quindi di ottenere risultati di maggiore rilevanza a quelli ottenibili con

dispositivi standard.

Per studiare alcuni effetti di indizi di profondità pittorici, sono stati effettuati alcuni esperimenti preliminari [22] utilizzando uno scenario virtuale non basato su dati illuminotecnici ma solo su rappresentazioni estremamente semplificate delle componenti di illuminazione. Lo scopo dell'esperimento è stato verificare se, eliminando in maniera opportuna indizi di profondità noti (rimandando a esperimenti successivi la loro considerazione e combinazione), l'introduzione anche approssimata di elementi basati sull'illuminazione potesse influire positivamente sulla stima verbale della distanza di un semplice oggetto di riferimento (in Figura 3 è presentato lo scenario di test). I risultati dei test confermano in sostanza l'ipotesi, anche se ovviamente sono necessari ulteriori test basati su scenari di maggiore fotorealismo e con un controllo robusto delle condizioni di illuminazione introdotte.

## 4. Bibliografia

- [1] R. S. Kalawsky, "The science of Virtual Reality and Virtual Environments", Addison-Wesley, 1993
- [2] G. Kim, "Designing virtual reality systems : the structured approach", Springer, 2005
- [3] G. Burdea e P. Coffet, "Virtual Reality Technology", Seconda Edizione. Wiley-IEEE Press, 2003.
- [4] H. Jorke e M. Fritz, "INFITEC - a new stereoscopic visualisation tool by wavelength multiplex imaging.", *Proceedings of Electronic Displays*, 2003.
- [5] B. E. Riecke, H. A. H. C. van Veen, H. H. Bulthoff, "Visual Homing Is Possible Without Landmarks: A Path Integration Study in Virtual Reality". *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 11(5): 443-473 (2002)
- [6] R. T. Hays, M. J. Singer, "Simulation Fidelity in Training System Design.", Springer-Verlag, 1989.
- [7] A. Francis, M. Couture, "Credibility of a Simulation-based Virtual Laboratory: an exploratory study of Learner Judgments of Verisimilitude", *Journal of Interactive Learning Research*, 14(4), 439-464, 2003.
- [8] D. Gadia, C. Bonanomi, M. Rossi, A. Rizzi, D. Marini, "Color Management and Color Perception Issues in a Virtual Reality Theater", *Proceedings of IS&T/SPIE's 20th Symposium on Electronic Imaging : Science and Technology*, San Josè, California, January 2008.
- [9] A. Rizzi, C. Gatta, D. Marini, "A New Algorithm for Unsupervised Global and Local Color Correction", *Pattern Recognition Letters*, vol 24, num 11, 2003, pp 1663-1677.
- [10] D. Gadia, D. Marini, A. Rizzi, "Tuning Retinex for HDR Images Visualization", *Proceedings of CGIV04, IS&T Second European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision*, 2004
- [11] E. Provenzi, M. Fierro, A. Rizzi, L. De Carli, D. Gadia, D. Marini, "Random Spray Retinex: a new Retinex implementation to investigate the local properties of the model", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol 16, num 1, 2007, pp 162-171
- [12] Loomis, J. and Knapp, J., "Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments," in [Virtual and Adaptive Environments], Hettinger, L. J. and Haas, M. W., eds., 21–46, Lawrence Erlbaum Associates (2003).
- [13] Gilinsky, A. S., "Perceived size and distance in visual space," *Psychological Review* 58, 460–482 (1951).
- [14] Cutting, J. and Vishton, P., "Perceiving layout and knowing distances: The interaction, relative potency, and contextual use of different information about depth," in [Perception of space and motion ], Epstein, W. and Rogers, S., eds., 69–117, Academic Press (1995).
- [15] Cutting, J., "How the eye measures reality and virtual reality," *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 29(1), 27–36 (1997).
- [16] Ooi, T., Wu, B., and He, Z., "Distance determination by the angular declination below the horizon," *Nature* 414, 197–200 (2001).
- [17] Hu, H., Gooch, A., Creem-Regehr, S., and Thompson, W., "Visual cues for perceiving distances from objects to surfaces," *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 11, 652–664

(2002).

[18] Wann, J., Rushton, S., and Mon-Williams, M., "Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments," *Vision Research* 35(19), 2731–2736 (1995).

[19] Kline, P. and Witmer, B., "Distance perception in virtual environments: Effects of field of view and surface texture at near distances," in [Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings], 40, 1112–1116 (1996).

[20] Knapp, J. and Loomis, J., "Limited field of view of head-mounted displays is not the cause of distance underestimation in virtual environments," *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 13(5), 572–577 (2004).

[21] Willemsen, P., Gooch, A., Thompson, W., and Creem-Regehr, S., "Effects of stereo viewing conditions on distance perception in virtual environments," *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 17(1), 91–101 (2008).

[22] D. Gadia, A. Galmonte, T. Agostini, D. Marini, "Depth and distance perception in a curved, large screen virtual reality installation", *Proceedings of IS&T/SPIE's 21st Symposium on Electronic Imaging : Science and Technology*, San José, California, January 2009.