



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Visualizzazione in ambienti di Realtà Virtuale di scenari  
fotorealistici basati su dati e calcoli illuminotecnici. Applicazione agli  
Esterni Urbani

*Davide Gadia, Dario Villa*



**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. APPLICAZIONE AGLI ESTERNI URBANI

Davide Gadia, Dario Villa (Dipartimento di Informatica e Comunicazione, Università degli Studi  
di Milano)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi finali

Tema: Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Tema: Simonetta Fumagalli, ENEA

## **Sommario**

La presente relazione contiene una presentazione delle attività svolte dall'unità di ricerca Unimi, e dei risultati raggiunti rispetto agli obiettivi prefissati.

In particolare, le attività previste erano le seguenti:

### **A. Visualizzazione interattiva in modalità stereoscopica di simulazioni di illuminazione pubblica. Parte 1. Implementazione modulo software per gestione e importazione dati illuminotecnici**

L'attività prevedeva l'eventuale messa a punto del formato di interscambio per dati illuminotecnici, con attenzione alle caratteristiche del caso di studio (ambiente esterno, simulazione di illuminazione pubblica).

Era prevista l'implementazione di un modulo software per la conversione del formato di interscambio nel formato del motore di rendering Ogre, utilizzato per la visualizzazione in modalità stereoscopica presso il Teatro Virtuale di Unimi.

### **B. Visualizzazione interattiva in modalità stereoscopica di simulazioni di illuminazione pubblica. Parte 2. Realizzazione applicativo ed evento su casi studio**

L'attività prevedeva l'implementazione di un applicativo software, utilizzando il motore di rendering Ogre, per il caricamento e visualizzazione interattiva in modalità stereoscopica di simulazioni di illuminazione pubblica del caso di studio considerato, presso il Teatro Virtuale dell'Università degli Studi di Milano.

Come attività finale del progetto, era previsto inoltre lo svolgimento di un evento con la partecipazione dei partner di progetto e con rappresentanti dell'amministrazione della città pilota.

La relazione descriverà le due attività separatamente, con dettagli sulle scelte implementative e sulle problematiche affrontate.

## **A. Visualizzazione interattiva in modalità stereoscopica di simulazioni di illuminazione pubblica. Parte 1. Implementazione modulo software per gestione e importazione dati illuminotecnici**

Durante una precedente attività svolta con ENEA, l'unità Unimi aveva definito le specifiche di un formato di interscambio dei dati illuminotecnici calcolati dal software LITESTAR, piattaforma alla base delle attività del progetto. L'idea di base era definire le modalità di esportazione della geometria rappresentante la scena soggetto del calcolo illuminotecnico, e delle texture assegnate ad ogni solido, oltre alle light map contenenti i risultati dei calcoli illuminotecnici relativi alla componente diffusiva.

In questa maniera, la scena e il risultato dei calcoli illuminotecnici sarebbero stati riutilizzabili anche per altri scopi, quali la visualizzazione e la navigazione in tempo reale utilizzando attrezzature per la Realtà Virtuale.

In contatto con gli sviluppatori del software LITESTAR, si era quindi definito un formato basato su sintassi XML, che permettesse l'esportazione delle informazioni relative alla geometria degli scenari (vertici, spigoli, facce), alle relazioni gerarchiche tra gli oggetti (gruppi), alle coordinate UV per il texture mapping (con riferimento ai file esterni delle immagini utilizzate come texture) e, in particolare, permettesse di definire un secondo set di coordinate UV relative alle light map salvate da LITESTAR dopo i calcoli illuminotecnici relativi alla componente diffusiva.

Il modulo necessario all'esportazione da LITESTAR è stato implementato dal team di sviluppatori del software.

La scelta di un formato di interscambio è stata ritenuta la migliore soluzione per un maggiore riutilizzo e gestione dei dati in future applicazioni. Anche se questa scelta comporta l'implementazione di moduli software specifici per l'importazione o la conversione del formato di interscambio in un formato proprietario di un software o di un motore di rendering, si è ritenuto infatti che utilizzare direttamente le specifiche di un formato già definito potesse in futuro essere fonte di problemi, in caso di cambiamenti di specifiche nello standard adottato, nella possibile mancanza di supporto e di sviluppo delle librerie per l'importazione ed esportazione ecc. La scelta di un formato ASCII basato su una grammatica XML permette invece di implementare abbastanza facilmente qualunque funzione di conversione verso altri formati.

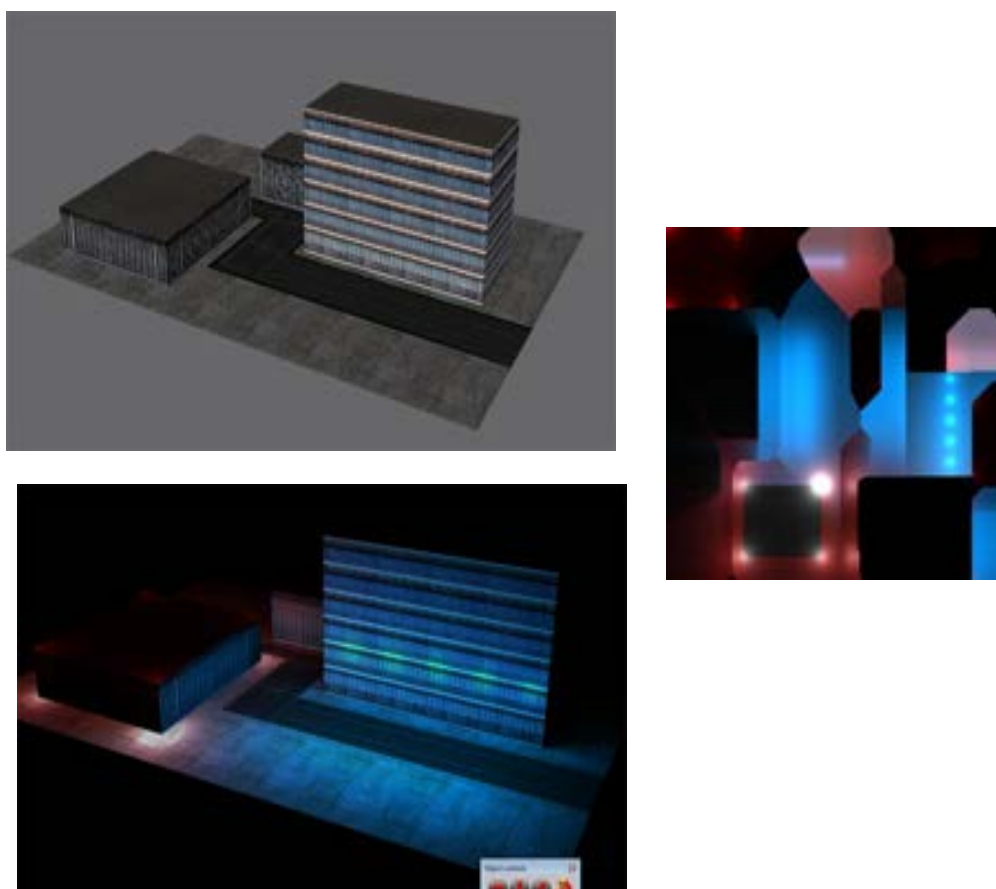
Un altro aspetto che ha influito sulla scelta di utilizzare un formato di interscambio, è la necessità di supportare e gestire le light map. Le light map sono immagini in cui vengono memorizzati i dati relativi all'illuminazione delle superfici, in modo da poter ottenere un rendering molto realistico in real-time.

Nell'ambito del rendering nella computer grafica, possiamo distinguere tra rendering fotorealistico e rendering in tempo reale. Nel primo caso vengono eseguiti complessi calcoli di simulazione dell'interazione tra luce e materiali, tanto più complessi quanto più alta vuole essere l'accuratezza e la fedeltà alla fisica. Nel caso di un motore di rendering per il calcolo illuminotecnico, come LITESTAR, ovviamente il livello di complessità è molto elevato. Nel caso della grafica real-time, i calcoli di illuminazione devono essere estremamente veloci e, di conseguenza, molto semplici da eseguire. L'utilizzo delle light map comporta una prima fase, offline, di rendering fotorealistico, i cui risultati vengono salvati su disco su immagini. Nella seconda fase, quella del rendering real-time, queste immagini sono poi utilizzate come textures, i cui valori vengono combinati con i colori delle eventuali texture o dei materiali dei

solidi della scena. Per effettuare il mapping tra le light map e gli oggetti, viene utilizzato un insieme di coordinate UV generate contestualmente al rendering. Di conseguenza, il risultato finale (un rendering in tempo reale, ma con una qualità quasi fotorealistica), è frutto di un processo di multitexturing, che deve essere supportato dal motore di rendering utilizzato, e anche dal formato di salvataggio dei dati, che deve prevedere il salvataggio di almeno due insiemi di coordinate UV.

Inoltre, è da notare come questa tecnica sia applicabile solo per la componente diffusiva, che non dipende dal punto di vista dell'osservatore, e che quindi può essere precalcolata e applicata direttamente agli oggetti al momento del caricamento della scena.

In Fig. 1 viene mostrato un esempio di utilizzo delle light map.



**Fig.1 Esempio di applicazione di light map per il rendering in tempo reale di una scena di esterni.**

A partire dal formato di interscambio, è stato implementato un modulo software in linguaggio C++ per convertire un modello esportato da LITESTAR nel formato di input del motore di rendering Ogre, scelto per la visualizzazione interattiva finale.

Ogre (Object-oriented Graphics Rendering Engine) è un motore di rendering in tempo reale nato nel 2001. Implementato in linguaggio in C++, come la maggior parte dei motori commerciali, viene rilasciato sotto una licenza open source, che permette quindi di modificare se necessario la sua struttura e le sue funzionalità. Come si intuisce dal nome, Ogre segue un'ottica object-oriented: la scena virtuale è composta da una serie di oggetti in grado di interagire l'uno con l'altro, scambiandosi messaggi e processando dati. Questo approccio

permette quindi di concentrarsi più sullo sviluppo dell'applicazione, piuttosto che sulla resa a video dei dettagli grafici. In pratica esso realizza una astrazione della scena ad un livello di implementazione logica e spaziale, delegando il compito della resa a video al sottosistema di rendering scelto (DirectX o OpenGL). Questa caratteristica, tipica dei game engine commerciali (che oltre alla grafica integrano anche componenti per l'audio, la fisica, l'intelligenza artificiale ecc), è fondamentale per permettere di realizzare applicazioni complesse come scenari di realtà virtuale o videogiochi.

Il modulo software implementato effettua un parsing del codice XML del formato di interscambio, indentificando i tag relativi ai vari elementi (geometria, gruppi, coordinate UV delle texture, coordinate UV delle light map, ecc) e creando man mano le strutture dati previste dal formato di Ogre.

L'attività di implementazione è stata svolta nei tempi previsti, e l'applicativo è stato testato su versioni di prova del modello semplificato del caso di studio considerato (Piazza Italia del comune di Marcallo con Casone(MI)). La fase di modellazione e texturing è svolta da ENEA, con supporto tecnico da parte di questa unità.

## **B. Visualizzazione interattiva in modalità stereoscopica di simulazioni di illuminazione pubblica. Parte 2. Realizzazione applicativo ed evento su casi studio**

La seconda fase delle attività previste per Unimi comportava l'implementazione di un applicativo software per il caricamento e la visualizzazione interattiva della geometria e dei dati illuminotecnici calcolati da LITESTAR per il caso di studio (Piazza Italia), salvati nel formato di interscambio, e convertiti nel formato di Ogre come descritto nel punto precedente.

Il software implementato prevedeva anche la visualizzazione in modalità stereoscopica utilizzando le attrezzature per la Realtà Virtuale disponibili presso Unimi.

L'unità di ricerca è infatti 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: il campo visivo è coinvolto quasi completamente nella visione, permettendo quindi una fruizione più realistica dal punto di vista delle dimensioni e dei valori di luminanza riflessi, rispetto ovviamente alla visualizzazione su schermi piani di dimensioni ridotte.

In Fig. 2 sono presentate alcune immagini del Teatro Virtuale.

Per poter effettuare la visualizzazione in modalità stereoscopica, il Teatro Virtuale è dotato di una scheda grafica Nvidia Quadro 9400, caratterizzato dalla presenza del quad-buffer. Questo elemento è essenziale, perchè permette di renderizzare le due viste virtuali, necessarie alla visione stereo, separatamente e contemporaneamente, e di inviarle separatamente ai

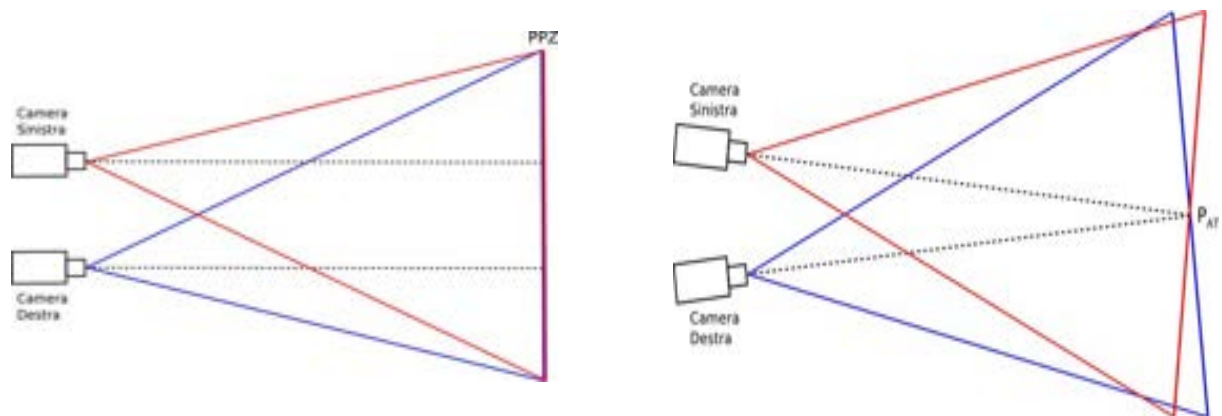


*Fig.2 Alcune immagini del Teatro Virtuale di Unimi*

proiettori dedicati alla visualizzazione dell' immagine destra o sinistra. Per poter sfruttare il quad-buffering, un'applicazione deve essere implementata in maniera specifica per poter rilevare la presenza di questo elemento, e per poter definire il sistema di camere stereo sulla base delle quali effettuare il doppio rendering con prospettive differenti.

Il processo di visualizzazione stereoscopica si basa infatti sulla simulazione della visione binoculare umana: i nostri occhi acquisiscono due viste prospetticamente differenti della scena che osserviamo, e il nostro sistema visivo unisce le due viste, fornendoci alla fine come risultato una percezione unica dell'osservazione, con informazioni relative alla profondità e distanza degli oggetti. Nell'ambito della Realtà Virtuale, questo fenomeno viene simulato creando due viste virtuali della scena di sintesi (quindi, in pratica, si effettua un doppio rendering utilizzando due camere virtuali), e poi utilizzando tecnologie quali i filtri polarizzatori o i filtri INFITEC (solo per citare due tecnologie), per "selezionare" l'immagine che deve raggiungere solo l'occhio destro, e viceversa per l'immagine destinata solo all'occhio sinistro.

Nell'ambito del rendering stereoscopico, sono stati proposte due modalità per considerare e posizionare le camere virtuali: la modalità "asymmetric frustum", e la modalità "toe-in". Nel primo caso, le camere sono posizionate parallelamente tra loro, e i frustum di visione sono asimmetrici. Nel secondo caso, le camere sono ruotate rispetto il loro asse verticale, in modo che i rispettivi assi ottici si intersechino nel punto considerato a parallasse zero. Fig. 3 mostra schematicamente le due modalità.



*Fig.3 Modalità "asymmetric frustum" (a sinistra) e "toe-in" (a destra)*

Sebbene gli occhi umani presentino una rilevante capacità di convergenza dei propri assi ottici, simulata nella modalità "toe-in", quest'ultima è poco utilizzata nell'ambito della produzione di materiale stereo, in quanto comporta una necessaria correzione delle deformazioni delle due immagini (i piani immagine non sono coplanari), oltre a poter comportare difficoltà nella fusione stereo in alcuni casi. La modalità a frustum asimmetrico, seppur mancante della convergenza (che però è rilevante nella visione umana solo nei primi 3-4 metri), è la soluzione più adottata, in quanto di maggiore semplicità nel setup e nel controllo degli eventuali movimenti di camera. I piani immagine sono coplanari, quindi non è necessaria nessuna fase di correzione preliminare alla visualizzazione. L'applicativo implementato per la visualizzazione dello scenario di Piazza Italia utilizza la modalità "asymmetric frustum".

Pochissimi software e/o motori di rendering ad alto livello supportano nativamente il quad-buffer, fornendo agli sviluppatori le funzioni necessarie a impostare una camera stereo. Questo perché solo poche schede grafiche supportano il quad-buffer, e sono di solito destinate a scopi professionali o a centri di ricerca di grosse dimensioni. Anche questo fattore ha contribuito nella scelta di un motore di rendering open-source come Ogre: Unimi ha infatti modificato per le sue attività di ricerca il codice sorgente di Ogre, applicando una patch al codice relativo all'impostazione e definizione della camera virtuale, in modo da poter considerare una doppia camera in modalità "asymmetric frustum" per la visualizzazione stereoscopica.

L'applicativo oggetto di questa attività è stato implementato in linguaggio C++, e utilizzando il motore di rendering Ogre. L'input dell'applicativo è il modello esportato da LITESTAR (contenete le informazioni su geometria, texture e light map) e convertito nel formato di Ogre tramite il parser descritto nel punto precedente. L'applicativo carica inizialmente il modello, e predispone una camera stereo in modalità "asymmetric frustum", posizionata in modo da coincidere con la visuale di un soggetto di statura normale in piedi in Piazza Italia. La visualizzazione è quindi in modalità stereoscopica, grazie all'utilizzo della camera stereo e della versione modificata di Ogre per il supporto al quad-buffer.

Tramite l'utilizzo di strumenti di interazione standard (mouse e tastiera, ma Unimi ha a disposizione anche strumenti di interazione avanzata come dataglove e Wiimote), è possibile procedere a una navigazione immersiva all'interno dello scenario di Piazza Italia, potendo quindi osservare nel dettaglio gli effetti dei calcoli illuminotecnici, ossia valutare una certa



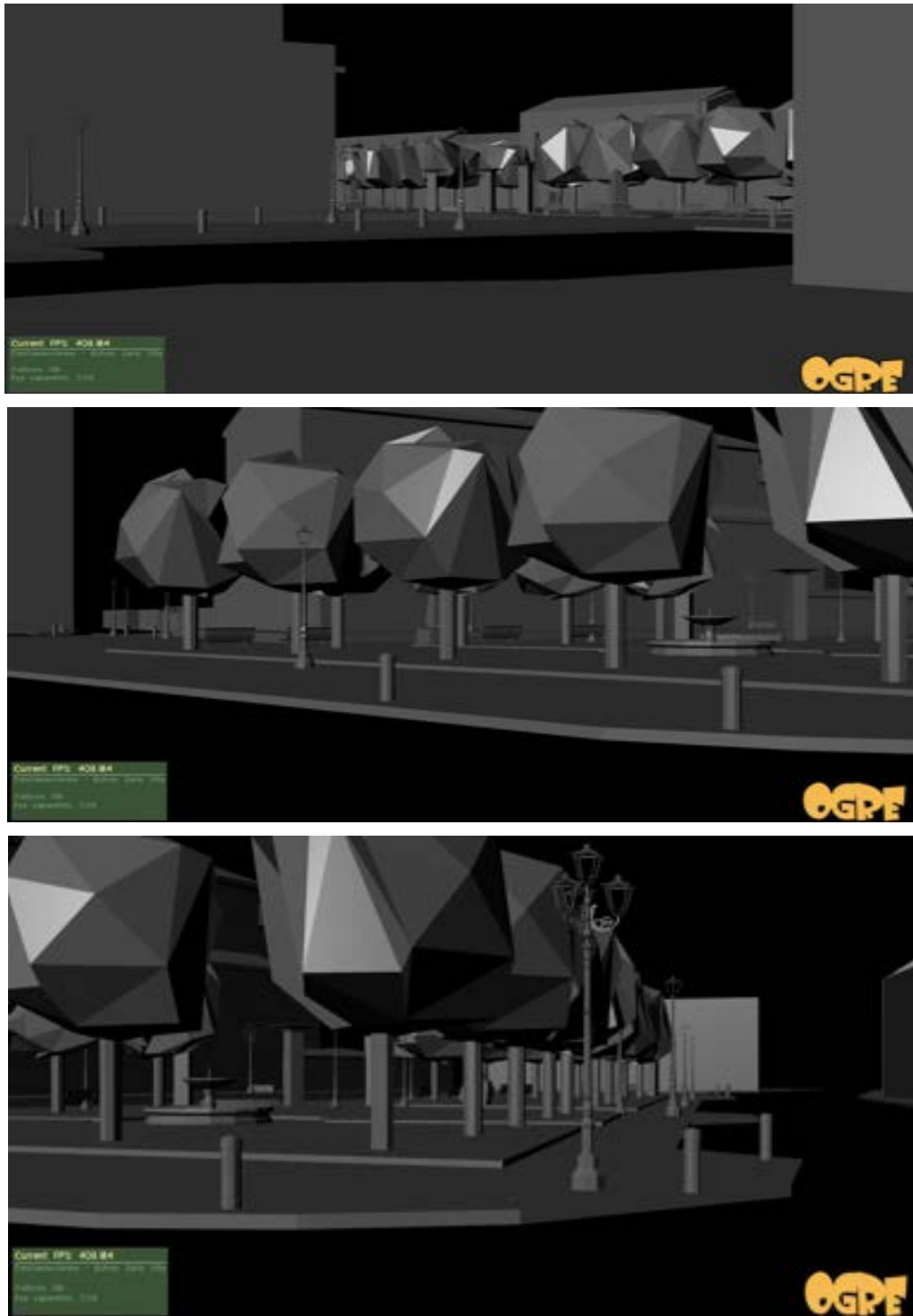
decisione progettuale (ed eventualmente rivederla), oppure valutare una soluzione illuminotecnica paragonandola con una situazione precedente.

La fase di implementazione è stata svolta nei tempi previsti, e l'applicazione è stata testata con esiti soddisfacenti su versioni di prova del modello semplificato di Piazza Italia. In Fig. 4 sono mostrati alcuni screenshot di questi test preliminari, senza l'applicazione delle texture e delle light map.

Sono attualmente in corso gli ultimi aggiustamenti software nonché la fase di tuning di alcuni parametri che vanno settati e testati sul modello finale. In particolare vanno messi a punto i parametri relativi alle collisioni, ossia il rilevamento del "contatto" tra l'osservatore virtuale e gli oggetti della scena, in modo da evitare di "passare attraverso" i solidi. Questo diventa anche importante per un corretto effetto della camminata simulata in presenza di gradini: i parametri di collisione devono essere tali da permettere l'avanzata del soggetto virtuale, salendo sopra il gradino. In caso di tuning errato, non sarà possibile proseguire nella navigazione.

Infine, vanno definite sul modello finale le aree navigabili definitive: per esempio, non sono state modellate le aree e le strade al di fuori di Piazza Italia, che sono solo simulate tramite l'utilizzo di texture. Di conseguenza, la navigazione deve essere limitata in modo da non avvicinarsi troppo a quelle zone, dove sarebbe evidente questo effetto visivo.

Come attività finale da parte di Unimi, è previsto lo svolgimento di un evento presso il Teatro Virtuale, alla presenza anche dell'Amministrazione comunale di Marcallo con Casone (MI), in cui verranno visualizzate le simulazioni virtuali basate sulle caratteristiche illuminotecniche attuali, nonché la simulazione basata sulle caratteristiche dell'impianto sperimentale progettato. Le finalità dell'evento sono sia di studio del progetto proposto, sia di diffusione culturale delle conoscenze acquisite dalle varie unità coinvolte nel progetto.



**Fig.4** Alcuni frame dell'applicativo di visualizzazione del modello di Piazza Italia. Gli screenshot si riferiscono a test preliminari senza texture e light map.