

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA

**CORSO DI LAUREA**  
IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA

In Disegno Tecnico Aerospaziale

SVILUPPO DI UN AMBIENTE VIRTUALE PER LA SIMULAZIONE  
DELLA EVACUAZIONE DEI PASSEGGERI DAGLI AEROMOBILI  
DA TRASPORTO

CANDIDATO

Tommaso Fabbri

RELATORE

Dott.Ing. Alessandro Ceruti

CORRELATORI

Dott. Ing. Tiziano Bombardi

Anno Accademico 2010/2011  
Sessione III



# INDICE

Sommario	- 5 -
1 Introduzione	- 9 -
1.1 L'evacuazione di emergenza dagli aeromobili	- 9 -
1.2 Sviluppi futuri delle dimostrazioni di evacuazione	- 11 -
2 Comportamento dell'equipaggio in caso di evacuazione a terra	- 15 -
2.1 Evacuazione non programmata	- 15 -
2.1.1 Operazioni standard	- 16 -
2.1.2 Quando si può dichiarare l'inizio dell'evacuazione	- 16 -
2.1.3 Fattori che influenzano il successo di un'evacuazione	- 17 -
2.2 Evacuazione programmata	- 19 -
2.2.1 Contenuti della checklist di emergenza	- 20 -
2.3 Uscite	- 25 -
2.3.1 Scivoli di emergenza	- 27 -
3 Applicazioni dei motori grafici sviluppati per videogiochi	- 29 -
3.1 Irrlicht	- 30 -

3.2 Ogre	- 30 -
3.3 Panda 3D	- 31 -
4 Specifiche dell'ambiente e implementazione	- 33 -
4.1 Specifiche dell'ambiente	- 33 -
4.2 Obiettivi della presente tesi	- 33 -
4.3 Descrizione del motore grafico Irrlicht	- 34 -
4.4 Perché è stato scelto Irrlicht	- 36 -
4.5 Principali funzioni di Irrlicht sfruttate	- 36 -
4.6 Implementazione delle funzioni	- 42 -
4.6.1 Effetto nebbia	- 42 -
4.6.2 Incendio a bordo	- 43 -
5 Caso di studio	- 45 -
5.1 Descrizione aereo considerato	- 45 -
5.2 Software utilizzato per la modellazione della cabina	- 47 -
5.3 Realizzazione interno	- 48 -

5.4. Modellazione dei passeggeri	- 56 -
5.5 Tipologia dei personaggi modellati	- 60 -
5.5.1 Animazione dei modelli	- 60 -
5.5.2 Modelli inseriti nel simulatore	- 62 -
6 Simulazione di evacuazione	- 67 -
Conclusioni	- 77 -
Sviluppi futuri	- 80 -
Bibliografia	- 81 -
Ringraziamenti	- 82 -



## Sommario

Scopo della presente tesi è quello di sviluppare un ambiente virtuale per la simulazione della evacuazione di emergenza dagli aeromobili. Il tema è di grande interesse visto che molti modelli matematici sono stati sviluppati per la modellazione delle code e del movimento delle persone all'interno degli edifici e di navi e aerei, ma i sistemi di visualizzazione di queste dinamiche possono essere ampiamente migliorati. In particolare, le nuove tecniche di realtà virtuale e di "computer graphics" possono contribuire a visualizzare in modo molto realistico la dinamica della evacuazione dagli aerei.

La Federal Aviation Administration (FAA) e le autorità di sicurezza del volo europee, hanno concentrato l'attenzione sulla sicurezza degli aeromobili tramite l'emanazione di regolamenti correlati proprio a questi aspetti; il più famoso è quello che prevede per i costruttori di nuovi aeromobili l'obbligo di effettuare la prova di evacuazione totale su larga scala di un aeromobile. Per la messa in servizio di un velivolo da trasporto occorre infatti che sia possibile evacuare un aereo completamente in 90 secondi o meno.

Questo test obbligatorio viene eseguito di norma tramite dimostrazioni sui primi esemplari di aeromobile prodotti, in cui vengono utilizzati come partecipanti dei volontari (spesso dipendenti stessi delle ditte costruttrici). Il problema di questo tipo di approccio è che queste prove sono costose, si possono creare delle situazioni di pericolo nelle quali i partecipanti potrebbero ferirsi anche in modo grave, e il mix di passeggeri previsto dalla normativa non simula le dinamiche tipiche che si verificano nel mondo reale (es. dinamiche di relazioni di parentela fra occupanti, panico, incendi o fumo a bordo, etc..).

Da qui l'idea dello studio di un programma informatico, in grado di ricreare in un ambiente di realtà virtuale buona parte delle condizioni che si verificano all'interno di una cabina passeggeri di un aereo dell'aviazione civile durante un'evacuazione. L'ambiente dovrà permettere a livello grafico sia la simulazione di una prova di evacuazione, sia di quello che accade durante una vera emergenza.

Questo programma dovrà permettere di immergere l'utilizzatore nell'ambiente virtuale, dovrà consentire di implementare le logiche di movimento dei personaggi, che presenteranno quindi una sorta di intelligenza artificiale all'interno dell'ambiente virtuale. L'ambiente dovrà essere poi rapidamente configurabile in modo da riuscire a testare diversi modelli di velivolo.

Il metodo tradizionale di creazione e di visualizzazione di ambienti virtuali di questa complessità prevede l'utilizzo di programmi abbastanza complessi in cui effetti come incendio, fumo, movimento dei personaggi si ottengono mediante una programmazione spesso complessa ed impegnativa in termini di tempo.

Oggi, tutte le funzioni richieste per questo tipo di simulazione sono già presenti nella maggior parte dei motori grafici utilizzati per sviluppare i videogiochi commerciali; l'idea che sta alla base di questo lavoro è quindi quella di provare a testare se è possibile utilizzare motori grafici "open source" disponibili nel web atti alla creazione di videogiochi per realizzare un ambiente in grado di simulare l'evacuazione di emergenza dagli aerei.

Tramite questi motori grafici verranno implementate funzioni in grado di creare luci, permettere l'interazione tra oggetti, persone ed ambienti e simulare a livello grafico effetti come fumo e fuoco.

Il lavoro di implementazione parte dalla modellazione in 3D della cabina passeggeri in tutti i principali dettagli; in seguito vengono aggiunti personaggi animati o statici, in grado di animare la cabina e di permettere la simulazione a livello grafico della evacuazione dei passeggeri da un aereo. Sebbene lo scopo del presente lavoro sia lo sviluppo della grafica, si accenna anche a come è possibile dotare i passeggeri di logiche di movimento all'interno della cabina. Le funzioni che impediscono la penetrazione dei personaggi fra di loro e con l'ambiente esterno contribuiscono poi in modo sostanziale al realismo della simulazione. A seguito della valutazione comparativa di alcuni dei più diffusi motori grafici per videogiochi si è scelto di sviluppare l'ambiente di simulazione con il pacchetto "open source" Irrlicht. Dopo l'implementazione di un ambiente di questo tipo e successivamente ad alcuni test svolti modellando la cabina di un velivolo



Airbus A320 si è verificato che grazie all'utilizzo del motore grafico per giochi è stato possibile ottenere un ambiente molto realistico con moderato sforzo. Molto utili si sono infatti dimostrate le funzioni già implementate nel motore grafico per modellare eventi come fuoco, illuminazione, effetto fumo, assenza di compenetrazione, movimento dinamico dei personaggi. Il lavoro presentato nelle seguenti pagine è corredato da molte immagini esplicative che presentano i risultati ottenuti e dai relativi codici informatici che permettono di implementare gli effetti desiderati.



# **1 Introduzione**

## **1.1 L'evacuazione di emergenza dagli aeromobili**

Il problema della evacuazione dei passeggeri dagli aeromobili viene affrontato sia dagli enti per l'aviazione civile americani che europei. La Federal Aviation Administration (FAA) è l'agenzia statunitense del Dipartimento dei Trasporti incaricata di regolare e sovrintendere ogni aspetto di competenza dell'aviazione civile. Creata nel 1958 come Federal Aviation Agency, assume l'attuale nome nel 1967 [NTSB, 2000].

Insieme all'Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea (EASA), è una delle due maggiori agenzie mondiali responsabili per la certificazione dei nuovi aeromobili.

La Federal Aviation Administration impone ai fabbricanti di effettuare prove di evacuazione su larga scala degli aeromobili per trasporto passeggeri; tali operazioni sono indispensabili per l'acquisizione della certificazione di tipo per i nuovi aerei ed anche per l'aggiornamento della certificazione dei velivoli cui vengono aggiunti posti per passeggeri.

Questa regola è obbligatoria per aerei che hanno una capacità di posti a sedere, inclusi quelli del personale, uguale o superiore a 44.

L'evacuazione di emergenza simulata prevede lo sbarco dei passeggeri attraverso le uscite di emergenza in condizione notturna. Un equipaggio addestrato dirige l'evacuazione ed i passeggeri sono scelti in relazione a determinate caratteristiche, come età e sesso. La prova di evacuazione si intende superata se i passeggeri e l'equipaggio abbandonano l'aereo e sono a terra in un periodo di tempo inferiore o uguale a 90 secondi.

Questo test obbligatorio determina i requisiti operativi che devono essere rispettati da tutti gli operatori finali del velivolo; ad esempio il numero di posti passeggeri in aereo durante la prova di evacuazione determina il numero massimo consentito e la configurazione interna non può essere alterata in maniera significativa rispetto a quella testata durante la dimostrazione. Il numero e la collocazione degli assistenti di volo all'interno

della cabina così come il metodo adottato per la loro formazione, non possono essere unilateralmente modificati dalla compagnia che opera con quei determinati aerei.

Se occorre cambiare anche una sola di queste caratteristiche si procede con una nuova domanda alla F.A.A.; questa può richiedere l'esecuzione di un'altra evacuazione, su larga scala o parziale, per dimostrare che venga preservato lo stesso livello di sicurezza.

Anche l'Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea (EASA) stabilisce l'obbligatorietà della "90 seconds rule" e nell'appendice J della normativa CS-25 si definiscono i criteri per la dimostrazione di evacuazione su larga scala. In seguito si riportano alcune specifiche presenti nella precedentemente citata appendice [EASA]:

- la dimostrazione deve avvenire durante la notte o in condizione di buio simulato;
- l'aereo deve essere in posizione di normale stazionamento a terra con il carrello abbassato;
- a bordo dell'aereo i passeggeri presenti devono essere così rappresentati: almeno un 40% di sesso femminile, un 30% deve avere un'età sopra i 50 anni e di questo 30% almeno la metà deve essere di sesso femminile. Inoltre tre bambolotti devono essere caricati come simulazione di infanti a bordo e non devono essere inclusi nella conta totale dei passeggeri;
- le cinture di sicurezza devono essere allacciate.

Negli ultimi anni le dimostrazioni su vasta scala sono state criticate dai costruttori a causa del potenziale pericolo per i partecipanti alla prova. Anche se il potenziale di infortunio è reale, il Consiglio di Sicurezza della FAA ha ribadito che la completa dimostrazione su larga scala fornisce un metodo valido per l'individuazione dei punti di forza e di debolezza nella capacità di evacuazione, prima dell'inizio della vita operativa del velivolo.

La FAA a volte permette al costruttore di utilizzare dati rilevati da precedenti test o combinazioni di dati di evacuazione parziale per

raggiungere i requisiti di certificazione. Questo sistema di analisi utilizza le portate medie dei passeggeri attraverso le uscite. Storicamente questo metodo veniva utilizzato quando era richiesto un aumento della capacità passeggeri inferiore o uguale al 5%; in seguito a un cambiamento di politica della FAA, nel 1998 è stato rimosso tale limite per questo sistema di certificazione. Resta come dato di fatto che durante alcune evacuazioni ci sono stati incidenti gravi che hanno portato a danni permanenti a partecipanti. Inoltre le prove di questo tipo sono costose perché coinvolgono molte persone, la normativa non tiene conto di situazioni reali in cui è presente fuoco o fumo a bordo e non si tiene conto di certe dinamiche quali la presenza di legami familiari fra i passeggeri o stato di ansia, stress, panico da parte dei passeggeri. Molti studi sono quindi stati svolti in questi anni per cercare di sviluppare “software” in grado di simulare in modo molto realistico l’evacuazione degli occupanti di velivoli durante situazioni di emergenza. Tali tecniche sono state sviluppate non solo per l’evacuazione in campo aeronautico, ma anche per edifici, imbarcazioni, stadi, luoghi affollati. Sempre più anche in fase di progettazione si cerca di tenere in conto delle dinamiche legate alla sicurezza e alla efficacia della evacuazione in caso di incidente.

## **1.2 Sviluppi futuri delle dimostrazioni di evacuazione**

I ricercatori hanno proposto di utilizzare programmi informatici per simulare la dinamica della evacuazione e sostituire la dimostrazione su larga scala soddisfacendo gli stessi requisiti. Questi modelli informatici cercano di integrare le interazioni complesse fra i passeggeri (e i loro comportamenti individuali) e le caratteristiche fisiche della cabina dell’aereo. Svitati algoritmi sono stati implementati per tenere in conto di caratteristiche come l’età, la mobilità e il sesso; sono questi infatti i fattori che determinano i movimenti dei passeggeri in cabina. In questi programmi vengono inseriti anche dati relativi all’aeromobile come: distanza tra i sedili, larghezza dei corridoi, uscite di sicurezza. Spesso è possibile anche introdurre zone con

presenza di fuoco e fumo, in cui i movimenti all'interno della cabina sono resi più lenti e la velocità di movimento dei passeggeri viene ridotta. I ricercatori hanno proposto di utilizzare ambienti di realtà virtuale per simulare l'evacuazione su larga scala [Galea, 2006] che offrono il vantaggio di visualizzare quello che succede all'interno della cabina. In questo modo, oltre che fornire analisi di tipo quantitativo sui tempi della evacuazione, è possibile avere una idea delle dinamiche che avvengono. La visualizzazione della evacuazione è poi di grande aiuto se si ha la possibilità di immergere nella simulazione il personale di volo e se questi software possono essere utilizzati durante il progetto della cabina. Grazie alla visualizzazione della evacuazione in modo realistico è infatti possibile far provare al personale di volo cosa può succedere in queste situazioni. D'altra parte, la possibilità di visualizzare le dinamiche a bordo permette anche ai progettisti di verificare la corretta posizione delle uscite di emergenza e di riuscire a prevedere in modo preciso quello che avverrà durante le reali prove di evacuazione necessarie alla certificazione dei velivoli.

La possibilità di passare da prove reali di evacuazione a prove simulate eliminerebbe inoltre qualsiasi rischio di infortunio per partecipanti ai test, consentendo di provare anche a vedere cosa può accadere in presenza di incendi, fumo, composizioni particolari di passeggeri.

A livello di ricerca, si ritiene di dover presentare uno degli ultimi studi svolti sul tema della rappresentazione grafica delle evacuazioni: si tratta di uno studio condotto nella Bowie State University del Maryland da Sharad Sharma, Stephen Otunba, e Jingxin Han [Sharma ed altri, 2011]. Tale studio riguarda la simulazione della evacuazione di emergenza dei passeggeri da un aereo usando tecniche di realtà virtuale per la visualizzazione dell'ambiente. Attraverso un sistema "multi-agent" si simula infatti il comportamento dei passeggeri in una ambientazione grafica realistica della cabina passeggeri di un aereo. Inoltre, nell'articolo citato si legge che gli autori sono riusciti ad inserire nei passeggeri dei comportamenti prestabiliti tramite codice come panico, immobilismo e altre condizioni.

Ad ora, la FAA non riconosce come metodo di certificazione la simulazione virtuale come sistema sostitutivo alla dimostrazione su larga scala; esistono

tuttavia le condizioni affinché, in un prossimo futuro, questa simulazione possa essere adottata. Il presente lavoro di tesi si inserisce quindi in questo scenario.





## **2 Comportamento dell'equipaggio in caso di evacuazione a terra**

La casa costruttrice di aeromobili da trasporto Airbus, nella documentazione presente sul suo sito web *www.airbus.com*, mette a disposizione una “Safety Library” dove sono state redatte delle note informative in merito alla sicurezza a bordo di qualsiasi mezzo aereo. Questa libreria si concentra su tre aspetti fondamentali: operazioni di volo (volume 1), operazioni in cabina (volume 2) e manutenzione (volume 3).

Per questa tesi in particolare risulta di primario interesse il volume 2, dove sono riportati i comportamenti che l'equipaggio deve mantenere in caso di evacuazione a terra, e che deve tenere per fronteggiare l'emergenza di fumo e fuoco in cabina. L'evacuazione a terra può essere programmata o non programmata, questo dipende dalle condizioni che si verificano prima e dopo l'atterraggio, come verrà descritto nel seguito del capitolo.

### **2.1 Evacuazione non programmata**

L'obiettivo primario di una evacuazione è quello di assicurarsi che tutti i passeggeri ed i membri dell'equipaggio lascino il velivolo il più rapidamente possibile ed in completa sicurezza.

Diversi fattori contribuiscono al successo di una evacuazione: l'esperienza dell'equipaggio, le condizioni dell'ambiente interno ed esterno all'aereo, il comportamento dei passeggeri, la loro età, il loro stato fisico, ed anche la configurazione interna della cabina passeggeri.

### **2.1.1 Operazioni standard**

L'utilizzo della "Silent Review" è un eccellente strumento che l'equipaggio può utilizzare per prepararsi ad eventi inaspettati. Questa aiuta a concentrare la propria attenzione sui propri doveri e responsabilità. Con questo termine si intende il ripercorrere mentalmente tutte le operazioni che si deve compiere in caso di emergenza; in tale modo l'esecuzione delle corrette azioni da parte degli assistenti di volo diventa quasi automatica e si evita di perdere tempo prezioso. L'equipaggio dovrebbe procedere con la Silent Review sia durante il decollo, sia durante le fasi di atterraggio.

La Silent Review dovrebbe comprendere tutti gli elementi necessari per una corretta evacuazione:

- corretta posizione da tenere durante l'impatto,
- comandi che vengono utilizzati durante queste situazioni;
- motivi per cui procedere all'evacuazione;
- uscite operative;
- localizzazione del dispositivo di gonfiaggio manuale degli scivoli di emergenza;
- individuazione dei passeggeri abili in grado di aiutare nella evacuazione (ABPs).

### **2.1.2 Quando si può dichiarare l'inizio dell'evacuazione**

Durante le fasi di decollo e atterraggio l'equipaggio deve prestare la massima attenzione ad ogni possibile indizio che potrebbe essere anticipatore di una emergenza come la presenza di fuoco, fumo, rumori insoliti, forza di impatto con il suolo o comportamenti insoliti del velivolo.

Molte evacuazioni sono del tipo non programmato, e avvengono senza nessun avvertimento antecedente. In molti casi, la decisione di evacuazione viene presa esclusivamente dal personale presente in cabina passeggeri, che gioca un importante ruolo nelle decisioni di evacuazione.

In alcuni casi è necessario iniziare le evacuazioni a causa di una potenziale situazione catastrofica come: incendio fuori controllo, fumo molto denso, danni strutturali molto gravi, ammaraggio, nessuna comunicazione con la cabina di pilotaggio. Se il personale di bordo in cabina ritiene che sia necessaria l'evacuazione, deve contattare i piloti per riferire loro quanto sta accadendo. In una situazione che richiede la completa coordinazione dell'equipaggio, infatti, tutti i membri devono essere informati sul reale rischio che si viene a presentare.

### **2.1.3 Fattori che influenzano il successo di un'evacuazione**

Un equipaggio ben addestrato che usa comandi chiari e brevi, avrà un impatto immediato sulla rapidità delle operazioni a bordo. Il personale di bordo deve essere risoluto nell'utilizzo del comando, e se necessario deve utilizzare la forza fisica per fare uscire i passeggeri.

La corretta posizione per l'impatto è la prima e più importante istruzione che il personale deve impartire, e fare eseguire, ai passeggeri durante una emergenza non prevista. Fare assumere ai passeggeri la giusta posizione per l'impatto imminente incrementa in maniera significativa le possibilità di sopravvivenza.

Prima che un'uscita venga aperta, l'equipaggio deve controllare che le condizioni all'esterno siano sicure e che l'area di apertura dello scivolo di emergenza sia sgombera da fuoco, fumo, ostacoli e detriti. Ogni uscita deve essere aperta solo se è in grado di rappresentare una sicura via di fuga.

Il personale di bordo deve essere addestrato ad identificare passeggeri che possono essere in grado di assistere l'equipaggio durante l'emergenza.

Queste persone possono proteggere ed aiutare il personale durante le operazioni di apertura delle uscite di emergenza, possono eseguire il gonfiaggio degli scivoli e tenere i passeggeri lontani dalle uscite fino a che le operazioni di preparazione non siano concluse.

L'equipaggio deve avere l'assoluto controllo della situazione e dare istruzioni precise ai passeggeri. Casi documentati di evacuazioni riportano di passeggeri il cui comportamento non è risultato appropriato in quanto non erano state seguite le specifiche impartite dal personale. E' importante sapere che durante un'evacuazione, specialmente se esiste un reale e notevole rischio per la sopravvivenza, i passeggeri possono reagire in molti modi differenti:

- panico;
- incapacità di movimento;
- inconsapevolezza del pericolo;
- spinte durante l'evacuazione;
- attesa di familiari o di componenti.

Durante l'evacuazione è necessario che i passeggeri non escano portandosi dietro i propri effetti personali come i bagagli. Questo comportamento può causare congestioni alle uscite riducendo l'efficienza delle operazioni.

L'equipaggio in cabina deve monitorare l'evacuazione e mantenere un flusso di passeggeri regolare da ogni uscita per evitare congestioni in fondo agli scivoli di emergenza; questi ultimi devono poi essere monitorati continuamente per evitare che vengano utilizzati quando non possono garantire una uscita sicura dal velivolo.

Un'uscita è inutilizzabile fin dall'inizio dell'emergenza se risulta inceppata, o se lo scivolo non si gonfia correttamente, oppure se ci sono rischi per la sicurezza dei passeggeri all'esterno dell'uscita. In questo caso il personale

addetto a tale uscita di sicurezza deve avvisare i passeggeri che l'uscita è inagibile e deve direzionarli verso un'altra uscita di emergenza.

Se un'uscita diventa quindi inagibile durante l'evacuazione, l'equipaggio deve immediatamente interrompere l'evacuazione da tale uscita e direzionarla nuovamente verso un'altra ancora agibile. Se un'uscita diventa troppo congestionata, l'equipaggio può direzionare i passeggeri verso un'altra uscita al fine di massimizzare il flusso da tutte le uscite e ridurre i tempi di evacuazione.

Quando il flusso di evacuazione dei passeggeri si riduce, occorre controllare e richiamare i passeggeri che ancora non sono vicini alle uscite; terminato lo sbarco dei passeggeri il personale deve verificare che nessun passeggero si trovi ancora a bordo.

Solo dopo essersi assicurati del completo sbarco dei passeggeri l'equipaggio può prendere l'uscita più vicina per scendere dall'aereo. Se l'evacuazione avviene lontano da un aeroporto, il personale di bordo dovrebbe prendere l'equipaggiamento di emergenza dal velivolo, sempre che la situazione lo permetta.

Fuori dal velivolo, e fino all'arrivo dei soccorsi, la responsabilità dei passeggeri risulta ancora in capo all'equipaggio di bordo.

## **2.2 Evacuazione programmata**

Una evacuazione a terra pianificata può essere definita come una evacuazione che permette all'equipaggio di rivedere le procedure di sicurezza, di informare e preparare i passeggeri con le istruzioni di posizione ottimale per l'impatto, di spiegare l'uso delle uscite di emergenza e di dire quando esse saranno operative. Comunicazioni efficaci tra i membri dell'equipaggio e i passeggeri sono necessarie per ottenere una evacuazione ordinata ed efficace.

Le liste di emergenza sono utili strumenti che aiutano l'equipaggio a preparare la cabina per un'emergenza programmata. Esse contengono la descrizione di tutte le fasi richieste per affrontare in maniera ottimale l'emergenza da fronteggiare, e definiscono ordini di priorità differenti. Molti operatori aerei hanno redatto checklist su appositi cartoncini riposti nello schienale di ogni sedile, a disposizione di ogni passeggero.

### **2.2.1 Contenuti della checklist di emergenza**

Uno dei punti principali di una checklist di emergenza è la posizione corretta che si deve assumere in caso di impatto.

La corretta posizione al momento dell'atterraggio di emergenza ha una duplice funzione: riduce il movimento del corpo e protegge i passeggeri dal battere la testa contro qualcosa di rigido.

Queste posizioni da assumere in caso di atterraggio d'emergenza devono essere modificate se i sedili sono:

- Di fronte al retro di un sedile, oppure davanti ad una paratia;
- Con lo schienale rivolto in avanti o con le cinture di sicurezza con gli attacchi anche alle spalle (solo per l'equipaggio).

La posizione deve essere modificata anche se i passeggeri sono donne in gravidanza o che viaggiano con infanti oppure se sono persone obese. La seguente immagine, tratta ai fini illustrativi dal sito della Airbus presenta graficamente quanto detto nelle precedenti righe.

Come si vede, a seconda del tipo di sedile e di passeggero, le posizioni da mantenere variano.



- sedile rivolto in avanti;
- cintura di sicurezza a due punti;
- alta densità di posti a sedere;
- adulti che trasportano infanti.



- sedile rivolto in avanti;
- cintura di sicurezza a due punti;
- alta densità di posti a sedere.



- sedile rivolto in avanti;
- cintura di sicurezza a tre punti.



- sedile rivolto verso poppa;
- cintura di sicurezza a tre punti.

**Figura 1 –posizioni da assumere in caso di emergenza- fonte: [www.airbus.it](http://www.airbus.it)**

Deve essere inoltre enfatizzato ai passeggeri il fatto che si devono aspettare più di un urto in seguito all'impatto. I passeggeri devono quindi rimanere nelle posizioni di sicurezza fino all'arresto definitivo del velivolo.

Una volta spiegata la posizione di atterraggio, il passo successivo è informare le persone a bordo riguardo al segnale che le inviterà ad assumere tale posizione.

L'equipaggio deve informare i passeggeri su dove sono posizionate le uscite, e ricordare che sul pavimento del velivolo sono installate le luci di segnalazione per le vie di fuga.

Tutti gli oggetti mobili in cabina devono essere rimossi e assicurati perché potrebbero venire scagliati per tutta la cabina al momento dell'impatto e causare il ferimento di persone. Perciò, tutti gli oggetti personali devono essere riposti nelle cappelliere o sotto i sedili durante tutto il volo, ed in particolare se si prevede di dover iniziare una evacuazione a breve.

L'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO) definisce passeggeri abili (ABPs), le persone scelte dai membri dell'equipaggio per assisterli nella gestione delle emergenze se la situazione lo richiede. La selezione di tali passeggeri è effettuata in base alla loro abilità nel ricevere istruzioni, il loro stato fisico, e la loro predisposizione alla calma. I candidati ideali sono:

- personale di bordo fuori servizio imbarcato per ragioni logistiche;
- personale militare;
- vigili del fuoco;
- personale medico;
- persone che rispondono in maniera adeguata agli ordini.

L'equipaggio, inoltre, non deve assolutamente scegliere tra gli ABPs membri di una famiglia che stanno viaggiando insieme, perché questi naturalmente preferiranno aiutare la loro famiglia prima degli altri passeggeri. Per questo il personale deve selezionare gli ABPs solo tra quei passeggeri che stanno viaggiando soli. Idealmente, l'equipaggio deve scegliere tre ABPs per ogni uscita. Uno di questi deve essere informato su:

- come sostituire un membro dell'equipaggio se questo dovesse diventare inabile al compito assegnatogli;



- come identificare se le condizioni esterne all'aereo permettono di utilizzare un'uscita di emergenza o dichiararla inagibile.
- come aprire le uscite;
- come proteggere se stessi per rimanere nella zona di assistenza dove aiutare nelle operazioni di sbarco dei passeggeri.
- come aprire le cinture di sicurezza dell'equipaggio in caso di incapacità dello stesso di aprirle.

Agli altri due ABPs deve essere spiegato come:

- tenere indietro i passeggeri durante l'apertura delle porte ed il gonfiaggio degli scivoli;
- rimanere in cima allo scivolo e assistere gli altri passeggeri durante l'evacuazione.

L'equipaggio deve spiegare agli ABPs seduti vicino alle uscite di emergenza che prevedono di accedere sopra alle ali:

- come giudicare le condizioni esterne all'uscita;
- quando aprire le uscite;
- come aprire le uscite;
- gli ordini da impartire agli altri passeggeri durante le operazioni;
- come indirizzare i passeggeri verso un'altra uscita nel caso quella diventasse inagibile.

A questi passeggeri può anche essere affidato il compito di assistere passeggeri particolari come:

- passeggeri con ridotte capacità motorie;
- anziani;
- minori non accompagnati;

- persone che viaggiano sole con più di un figlio.

Quando il briefing con i passeggeri è concluso, l'equipaggio deve attuare l'ultima messa in sicurezza della cabina per assicurare che per tutti gli occupanti il velivolo:

- le cinture di sicurezza siano allacciate;
- gli schienali siano in posizione verticale;
- i tavolini siano chiusi;
- i braccioli dei sedili siano abbassati;
- i bagagli a mano siano riposti nelle cappelliere o sotto i sedili;
- le cappelliere siano chiuse;
- le uscite siano libere;
- le pareti divisorie tra le cabine siano aperte.

I servizi igienici devono essere liberi e chiusi a chiave, l'equipaggiamento nelle cambuse deve essere messo in sicurezza chiudendo gli armadietti e staccando la corrente elettrica, tramite gli appositi interruttori, dall'impianto cucina.

Quando la checklist di emergenza è conclusa, il commissario di bordo notificherà al personale della cabina di pilotaggio la messa in sicurezza della cabina passeggeri, e richiederà informazioni riguardo alla situazione di emergenza e al tempo rimasto per l'atterraggio.

A questo punto l'equipaggio deve:

- sedersi nei sedili riservati;
- indossare le cinture di sicurezza;
- cominciare una Silent Review;
- prepararsi alla posizione di sicurezza appena ricevuto l'ordine dalla cabina di volo.

## 2.3 Uscite

Nella normativa USA, la regolamentazione delle uscite di sicurezza è contenuta nel “14 CFR 25.807” [FAA]. Le diverse tipologie delle uscite di emergenza [Ceruti e Manzini] sono di seguito elencate:

- Type I : uscita a livello del pavimento, con apertura rettangolare di dimensioni non inferiori ai 24 pollici di larghezza e 48 pollici di altezza (**Figura 2**);
- Type II : uscita di apertura rettangolare, con larghezza minima di 20 pollici e altezza minima di 44 pollici. Questo tipo di uscita può essere al livello del pavimento o situata sopra un’ala, in quest’ultimo caso non deve disporre di un gradino che supera in altezza i 10 pollici all’interno e i 17 all’esterno.
- Type III : uscita sopra le ali di apertura rettangolare, con dimensioni minime pari a 20 pollici di larghezza e 36 pollici di altezza e con un gradino all’interno della cabina non superiore ai 20 pollici; all’esterno il dislivello non deve essere superiore ai 27 pollici (**Figura 3-4**);
- Type IV : uscita sopra le ali con dimensioni minime di 19 pollici di larghezza per 26 pollici di altezza con un gradino interno non superiore ai 29 pollici ed uno esterno inferiore ai 36 pollici;
- Ventrale: uscita attraverso il vano pressurizzato e il ventre della fusoliera. Le dimensioni fisiche devono garantire lo stesso tasso di uscita di quelle Type I in condizioni di stazionamento a terra con carrello normalmente esteso.
- Cono di coda: uscita a poppa del vano passeggeri del comparto pressurizzato, tramite apertura posta nel tratto conico all’interno della fusoliera. Il metodo di apertura di questa uscita di emergenza deve essere semplice ed eseguibile in una singola operazione;
- Type A: uscita rettangolare a livello del pavimento avente dimensioni minime di 42 pollici di larghezza e 72 di altezza;

- Type B: uscita al livello del pavimento di apertura con dimensioni non inferiori ai 32 pollici di larghezza e 72 pollici di altezza;
- Type C: uscita rettangolare a livello del pavimento con apertura rettangolare non inferiore ai 30 pollici di larghezza e 48 di altezza.
- Over-sized exit: uscita sovradimensionata rispetto a quelle specificate di apertura, non obbligatoriamente rettangolare.

Il numero massimo di posti per i passeggeri consentito dipende dal tipo e dal numero delle uscite installate per ogni lato della fusoliera.

Il massimo numero di posti passeggeri consentiti per tipo di uscita per lato è il seguente:

- Type A : 110
- Type B : 75
- Type C : 55
- Type I : 45
- Type II : 40
- Type III : 35
- Type IV : 9



- 26 **Figura 2 – uscita di tipo I - fonte:**  
<http://aviation-safety.net>



**Figura 3 – uscita di tipo III - fonte:**  
<http://aviation-safety.net>



**Figura 4 –uscita di tipo III sopra le ali- fonte:**  
**<http://aviation-safety.net>**

### **2.3.1 Scivoli di emergenza**

Uno scivolo di emergenza è un dispositivo gonfiabile utilizzato per evacuare rapidamente un aereo. Tutti gli aerei commerciali devono avere in dotazione scivoli di emergenza qualora le uscite di emergenza siano ad un'altezza da terra tale da rendere impossibile l'uscita dei passeggeri, senza che questi si causino lesioni durante l'evacuazione. FAA ed EASA richiedono che siano installati scivoli su tutti gli aeromobili con porte, dove il pavimento della cabina passeggeri si trovi ad un'altezza dal suolo uguale o superiore ai 6 piedi. Questi dispositivi di sicurezza in genere sono alloggiati all'interno della struttura della porta, nel cosiddetto "pacco scivolo". Questo è una parte della porta, sporgente verso l'interno della cabina e di grandezza variabile, in funzione sia dell'ampiezza della porta sia delle dimensioni dell'aeromobile.

Gli scivoli possono essere a doppia corsia o a singola, a seconda della larghezza delle uscite.

### **3 Applicazioni dei motori grafici sviluppati per videogiochi**

Come detto nel sommario della tesi, l'idea che sta alla base di questo lavoro è l'utilizzo di motori grafici sviluppati per la realizzazione di videogiochi per modellare un ambiente di simulazione della evacuazione dei passeggeri dagli aeromobili. Si procede quindi ad una breve descrizione di questi programmi e dei principali concetti di grafica e di realtà virtuale. Realtà virtuale è un termine che viene utilizzato per indicare una realtà simulata, anche se, a livello teorico, essa dovrebbe essere sviluppata attraverso un sistema totalmente immersivo in cui tutti i sensi umani vengono utilizzati (realtà virtuale immersiva o RVI). Attualmente il termine è abitualmente applicato a qualsiasi tipo di simulazione virtuale che prevede l'utilizzo di un computer. Per la creazione di mondi virtuali è necessario utilizzare un motore grafico. Il motore grafico è il nucleo software di un videogioco o di qualsiasi altra applicazione con grafica in tempo reale. Esso fornisce le tecnologie di base, semplifica lo sviluppo, e spesso permette al gioco (o più in generale alla applicazione in RVI) di funzionare su piattaforme differenti come le console o i sistemi operativi per PC e smartphone. La funzionalità di base fornita tipicamente da un motore grafico include un motore di rendering ("renderer") per grafica 2D e 3D, un motore fisico o rilevatore di collisioni, suono, scripting, animazioni, intelligenza artificiale, networking, e scene-graph [Trenholme and Smith, 2008]. Qui di seguito vengono presentati alcuni dei motori grafici open source maggiormente utilizzati in tempi recenti per lo sviluppo di giochi e di ambienti di simulazione:

## 3.1 Irrlicht

Irrlicht è una piattaforma grafica 3D open source sotto licenza zlib; è scritta in C++ e supporta la maggior parte delle API per il rendering grafico come le DirectX, e le OpenGL 2.0 o inferiori. E' stato progettato per essere un motore grafico leggero, ma abbastanza potente per progetti di grafica avanzata.

Supporta anche diversi tipi di linguaggi di programmazione come C++, Java, Visual Basic. In Irrlicht è possibile importare "mesh" in vari formati come .obj; .3DS; .md2; .bsp; .X , inoltre si possono caricare texture per le mesh in formato bitmap [Rosiello, 2007].

I vantaggi di questo motore grafico sono:

- vasta community sul web dove è possibile reperire consigli, aiuti e idee;
- possibilità di poter utilizzare diversi programmi di disegno 3D;
- possibilità di utilizzo anche in framework .NET .

Lo svantaggio principale è:

- la complessità di programmazione rispetto ad altri motori grafici;

## 3.2 Ogre

Ogre ([www.ogre3d.org](http://www.ogre3d.org)) è un motore di rendering 3D, flessibile, orientato alla scena [Wikipedia]. Il motore è open source sotto licenza MIT (Massachusetts Institute of Technology) ed ha una comunità di utilizzatori molto attiva. È stato usato in alcuni videogiochi commerciali. OGRE è "solo" un motore di rendering. Come tale, il suo scopo principale è quello di fornire soluzioni generali per il rendering grafico infatti non fornisce supporto per l'audio e per la fisica, ed è completamente multipiattaforma, con il supporto delle DirectX e OpenGL.



### **3.3 Panda 3D**

Panda3D è un motore grafico 3D open source per lo sviluppo di videogiochi creato dalla Disney, che oltre alla gestione della grafica 3D include funzioni di audio, di rilevamento delle collisioni, di fisica e altre caratteristiche rilevanti per la realizzazione di videogiochi 3D. Si tratta di una libreria C++ con un insieme di bindings (collegamenti informatici) per Python: sviluppare un gioco con Panda3D di solito consiste nella scrittura di un programma Python o C++ che controlla la libreria Panda3D. Attualmente, lo sviluppo del motore è gestito congiuntamente dalla Disney e dal Carnegie Mellon University's Entertainment Technology Center.



## **4 Specifiche dell'ambiente e implementazione**

### **4.1 Specifiche dell'ambiente**

Il programma deve soddisfare alcuni requisiti fondamentali per una corretta visione dell'ambiente virtuale.

La visuale deve essere sempre in prima persona (FPS), in modo che la scena sia quella visualizzata da un assistente di volo o di un passeggero; la cosiddetta First Person Shooter (FPS, cioè vista del personaggio che deve compiere le azioni principali) deve avere la possibilità di:

1. ruotare verso destra e verso sinistra;
2. ruotare verso il basso e verso l'alto;
3. muoversi in avanti e in dietro;
4. interagire con l'ambiente circostante.

Il software deve essere in grado di:

- a) inserire logiche di movimento per ogni passeggero;
- b) simulare la presenza di fumo in cabina;
- c) simulare la presenza di fuoco in cabina;
- d) Simulare diversi livelli di illuminazione;
- e) Prevedere l'assenza di compenetrazioni fra passeggeri e ambiente.

### **4.2 Obiettivi della presente tesi**

L'obiettivo di questo lavoro è quello di creare un ambiente di realtà virtuale che simuli l'interno della cabina passeggeri di un aereo ed i suoi occupanti: ciò allo scopo di simulare le prove di evacuazione di un velivolo da trasporto. L'ambiente deve rispettare i principali vincoli imposti dallo

scenario, come le dimensioni degli interni, la eterogeneità delle persone a bordo (uomini, donne, adulti, anziani e bambini secondo normativa), l'esatta ubicazione delle uscite di sicurezza, l'esatta configurazione dei sedili passeggeri, la larghezza dei passaggi per le uscite di sicurezza e la larghezza del corridoio. La corretta impostazione di tutti questi parametri fa sì che il risultato della simulazione sia il più fedele possibile a quello della prova di evacuazione reale effettuata oggi giorno dalla FAA.

### **4.3 Descrizione del motore grafico Irrlicht**

Come verrà detto nel prossimo paragrafo, a seguito di valutazione di pregi e difetti è stato deciso di utilizzare il motore grafico Irrlicht.

Irrlicht è il nome tedesco di un personaggio di fantasia che illumina e vola, e che può essere trovato in prossimità delle paludi. Irrlicht è la composizione delle due parole tedesche "IRR" che significa "pazzo" e "LICHT" che significa luce; questo motore grafico è stato sviluppato in Austria.

Irrlicht è un motore grafico 3d in grado di lavorare su diverse piattaforme (Linux, Windows, MacOSX) e supporta vari sistemi di render (open, DirectX, Software). E' dotato di un'interfaccia grafica del sistema e permette una serializzazione XML. Irrlicht non è un motore per videogiochi completo, infatti non supporta la fisica del suono, non si possono creare reti ma presenta un supporto base per le collisioni. Al fine di completare il programma ed aumentare le sue funzionalità vengono spesso inserite librerie esterne [Irrlicht].

Sostanzialmente Irrlicht è una libreria per il linguaggio di programmazione C++. Quindi per utilizzare questa piattaforma è necessario conoscere tale linguaggio di programmazione. Tuttavia esistono diversi wrapper (adattatori) in grado di rendere Irrlicht compatibile anche con altri linguaggi di programmazione come Csharp, Visual Basic e Java (versione per Irrlicht detta Jirr). Per utilizzare questo motore grafico si utilizza un supporto per la programmazione come Microsoft Visual C++ (free express edition), Dev C++ (open source e free), Codeblocks o Kdevelop (per Linux).

Irrlicht supporta vari formati di mesh:

Animate e rigate:

- B3D
- Milkshape (.ms3d)
- Microsoft DirectX (.x)

Animate solo:

- Quake 2 models (.md2)
- Quake 3 models (.md3)

Statiche:

- 3D Studio meshes (.3ds)
- Alias Wavefront Maya (.obj)
- Cartography shop 4 (.csm)
- COLLADA (.xml, .dae)
- DeleD (.dmf)
- FSRad oct (.oct)
- Irrlicht scenes (.irr)
- My3DTools 3 (.my3d)
- OGRE meshes (.mesh)
- Pulsar LMTools (.lmts)
- Quake 3 levels (.bsp)

## 4.4 Perché è stato scelto Irrlicht

Irrlicht è stato scelto perché presenta diversi vantaggi. Infatti, a differenza di altri motori, è più facile da utilizzare, presenta comandi più rapidi e in numero minore per molte delle operazioni richieste rispetto ad altri motori, ed è molto flessibile in quanto il programmatore è in grado di cambiare ed influenzare qualsiasi parte del motore grafico [Irrlicht forum].

La maggior parte delle librerie per applicazioni in real-time va in crash quando l'utente fa qualcosa che il programmatore della libreria non aveva considerato; in questi casi Irrlicht invece di andare in crash stampa un avvertimento e poi cerca di continuare con la visione grafica. Un altro vantaggio, considerato il fatto che è un motore 3D, è la sua estrema velocità. Inoltre occorre evidenziare che in rete è presente una comunità molto ampia di utilizzatori di questo programma e sono quindi disponibili tutorial commentati. Inoltre, nei forum dedicati a questo motore si riesce quasi sempre a trovare una soluzione ai problemi riscontrati.

## 4.5 Principali funzioni di Irrlicht sfruttate

Per cominciare a programmare l'ambiente si deve cominciare a ricorrere alle librerie di sistema, nel caso della presente tesi si dovrà richiamare la libreria Irrlicht e quella base del C++ "iostream":

```
// Evacuazione Airbus A320

#include <irrlicht.h>
#include <iostream.h>

using namespace irr ;

#ifdef _MSC_VER
#pragma comment (lib, "Irrlicht.lib")
#endif
```

Listato 1 - Codice di dichiarazione librerie

Sulla schermata di avvio del programma apparirà la richiesta di quale API (interfaccia di programmazione di un'applicazione) si vuole utilizzare per l'avvio del simulatore

```
//seleziono il driver opportuno

video::E_DRIVER_TYPE driverType;

printf("Prego selezionare il driver desiderato per questa applicazione:\n"\
      "(a) Direct3D 9.0c\n (b) Direct3D 8.1\n (c) OpenGL 1.5\n"\
      "(d) Software Renderer\n (e) Burning's Software Renderer\n"\
      "(f) NullDevice\n (otherKey) exit\n\n");

char i ;
std::cin>>i ;

switch(i)
{
    case 'a':driverType = video::EDT_DIRECT3D9;    break;
    case 'b':driverType = video::EDT_DIRECT3D8;    break;
    case 'c':driverType = video::EDT_OPENGL;       break;
    case 'd':driverType = video::EDT_SOFTWARE;     break;
    case 'e':driverType = video::EDT_BURNINGSVIDEO;break;
    case 'f':driverType = video::EDT_NULL;         break;
    default: return 0 ;
}
```

Listato 2 – richiesta API di utilizzo

Si deve poi creare a livello di programmazione un dispositivo in grado di uscire dal programma se la selezione del “driver grafico”(es. Direct x,..) fallisce:

```
IrrlichtDevice *device =
    createDevice(driverType, core::dimension2d<s32>(1024,640),16,false);

if (device == 0)
return 1; // impossibile creare il driver selezionato.
```

Listato 3 – funzione di uscita

La striscia di codice “`core::dimension2d<s32>(1024,640)`” indica le dimensioni della finestra che verrà aperta all’avvio del driver grafico.

Per ottenere un richiamo fisso al driver video e alle gestioni della scena (Scene Manager) in modo che non sia necessario richiamare sempre le funzioni “`irr::IrrlichtDevice::getVideoDriver()`” e

“`irr::IrrlichtDevice::getSceneManager()`” si può utilizzare la striscia di codice:

```
video::IVideoDriver* driver = device->getVideoDriver();  
scene::ISceneManager* smgr = device->getSceneManager();
```

**Listato 4 – richiamo driver video**

Ora si deve caricare il modello dell’interno della cabina passeggeri, che verrà utilizzato come mappa all’interno della quale è possibile il movimento:

```
// adesso carico La cabina passeggeri  
scene::IAnimatedMesh* q3levelmesh = smgr->getMesh  
("C: //airbus a 320 cabina.3ds");  
  
scene::ISceneNode* q3node = 0;  
  
if (q3levelmesh)  
q3node = smgr->addOctTreeSceneNode(q3levelmesh->getMesh(0));
```

**Listato 5 – inserimento cabina**

Si crea poi un selettore di triangoli, funzione che crea una serie di triangoli dalla scena per compiere diverse operazioni, e in questo caso rileverà le collisioni. Successivamente, si associa la funzione al nodo dove è applicata la cabina passeggeri.



```

scene::ITriangleSelector* selector = 0;

if (q3node)
{
    q3node->setPosition(core::vector3df(-200,2,-50));
    selector = smgr->createOctTreeTriangleSelector(
        q3levelmesh->getMesh(0), q3node, 128);
    q3node->setTriangleSelector(selector);
}

```

#### Listato 6 – implementazione collisioni

Si aggiunge poi una FPS (camera solidale con l'osservatore) che consentirà la visualizzazione ed il movimento all'interno della cabina. Alla camera si applica poi un animatore di risposta alla collisione; questo modificherà il nodo scena a cui è collegato per evitare il movimento attraverso oggetti solidi (pareti) e personaggi, e per aggiungere alla camera la forza di gravità.

Si descrivono ora i parametri della funzione “**createCollisionResponseAnimator()**” che viene utilizzata per dare una risposta alle collisioni: il primo parametro è il “TriangleSelector” che specifica come l'ambiente risponde alla funzione della collisione. Il secondo parametro indica il scene node, cioè l'oggetto influenzato dalla collisione, che in questo caso è la fotocamera. Il terzo definisce le dimensioni dell'oggetto fotocamera (corpo dell'osservatore), che viene rappresentato mediante un ellissoide. Modificando i valori dell'ellissoide la camera sarà in grado di avvicinarsi più o meno agli oggetti solidi.

Il parametro successivo è la forza di gravità: si fissa un valore di (0;-9.81;0) che rende questo effetto abbastanza realistico, assumendo che le unità di misura siano in metri per secondo quadro. Per disabilitare la gravità si può impostare il valore (0;0;0).

L'ultimo valore da impostare è la traslazione del punto di vista, senza la quale la videocamera sarebbe centrata sull'ellissoide(quindi nel centro geometrico dell'osservatore), mentre la vista delle persone è posizionata sul capo.

Si imposta una velocità di avanzamento di 3 unità per secondo, che offre un movimento abbastanza realistico se nel rilevatore di collisione la gravità è impostata con un valore di (0,-10,0).

```

scene::ICameraSceneNode* camera =
smgr->addCameraSceneNodeFPS(0, 80.0f, .3f, -1, 0, 0, true, 3.f);
camera->setPosition(core::vector3df(0,18,0));

if (selector)
{
    scene::ISceneNodeAnimator* anim = smgr->createCollisionResponseAnimator(
        selector, camera, core::vector3df(1,18,1), //ellisse
        core::vector3df(0,-10,0), //gravità
        core::vector3df(0,18,0));
    camera->addAnimator(anim);
    anim->drop();
}

```

**Listato 7 - codice modellazione gravità**

Infine si rende invisibile il cursore del mouse inserendo una “billboard” (immagine 2D), come da linee di codice di sotto riportate:

```

device->getCursorControl()->setVisible(false);

// Add the billboard.
scene::IBillboardSceneNode * bill = smgr->addBillboardSceneNode();
bill->setMaterialType(video::EMT_TRANSPARENT_ADD_COLOR);
bill->setMaterialTexture(0, driver->getTexture("../media/particle.bmp"));
bill->setMaterialFlag(video::EMF_LIGHTING, false);
bill->setMaterialFlag(video::EMF_ZBUFFER, false);
bill->setSize(core::dimension2d<f32>(20.0f, 20.0f));
bill->setID(ID_IsNotPickable);

```

**Listato 8 - codice cursore**

Per facilitare la visibilità si applicano delle luci in modo che i nodi finora non selezionati non siano completamente al buio:

```

//aggiungo luce
smgr->addLightSceneNode(0, core::vector3df(-100,1500,-50),
    video::SColorf(1.0f,1.0f,1.0f,1.0f),
    600.0f);
smgr->addLightSceneNode(0, core::vector3df(-100,-1500,-50),
    video::SColorf(1.0f,1.0f,1.0f,1.0f),
    600.0f);

```

**Listato 9 - codice illuminazione**

Per poter movimentare un personaggio all'interno della cabina (la logica di movimento di cui si è parlato nella introduzione) bisogna inserire la seguente striscia di codice:

```
scene::IAnimatedMeshSceneNode* anms =
    smgr->addAnimatedMeshSceneNode(smgr->getMesh("C:/illricht/irrlicht-1.5.2/media/sydney.md2"));

if (anms)
{
    scene::ISceneNodeAnimator* anim =
        smgr->createFlyStraightAnimator(core::vector3df(0,10,0),
            core::vector3df(100,10,0), 3500, true);
    if (anim)
    {
        anms->addAnimator(anim);
        anim->drop();
    }

    anms->setMaterialFlag(video::EMF_LIGHTING, false);

    anms->setFrameLoop(0, 14);
    anms->setAnimationSpeed(15);
    anms->setMD2Animation(scene::EMAT_RUN);

    anms->setScale(core::vector3df(0.4f,0.4f,0.4f));
    // anms->setRotation(core::vector3df(0,-90,0));
    anms->setMaterialTexture(0, driver->getTexture("C:/illricht/irrlicht-1.5.2/media/sydney.bmp"));
}
}
```

**Listato 10 – codice per animazione movimento personaggio**

In questo modo il personaggio si muove nella cabina verso un punto programmato dall'utente. Mediante programmazione sarebbe poi possibile applicare una logica a tutti i personaggi.

Il personaggio che verrà inserito non è descritto da una mesh statica ma da una animata, ed il suo movimento viene mandato in loop (nel nostro caso la camminata). Occorre quindi inserire il vettore di posizione iniziale e quello che si deve raggiungere a fine movimento. Dato che in questa tesi si intendono verificare le potenzialità di Irrlicht, una volta terminato il movimento il personaggio ritorna nella posizione iniziale e ricomincia da capo il suo percorso.

## 4.6 Implementazione delle funzioni

### 4.6.1 Effetto nebbia

Una funzione utile per simulare l'evacuazione in una condizione di emergenza è la simulazione di fumo in cabina in seguito ad un incendio. Irrlicht non possiede funzioni che simulino il fumo, ma dispone di una che simula la nebbia; impostando i parametri per variare il colore si riesce a creare in breve tempo una nebbia lineare in tutta la cabina.

```
driver-> setFog(video::SColor(0,158,155,121),true,-70,18,-50,false,false);  
q3node->setMaterialFlag(video::EMF_FOG_ENABLE,true);
```

Listato 11 – nebbia in cabina

L'effetto è quello che si vede dalla **Figura 5**: il fumo riduce la visibilità in cabina e rende più difficoltose le operazioni di evacuazione.

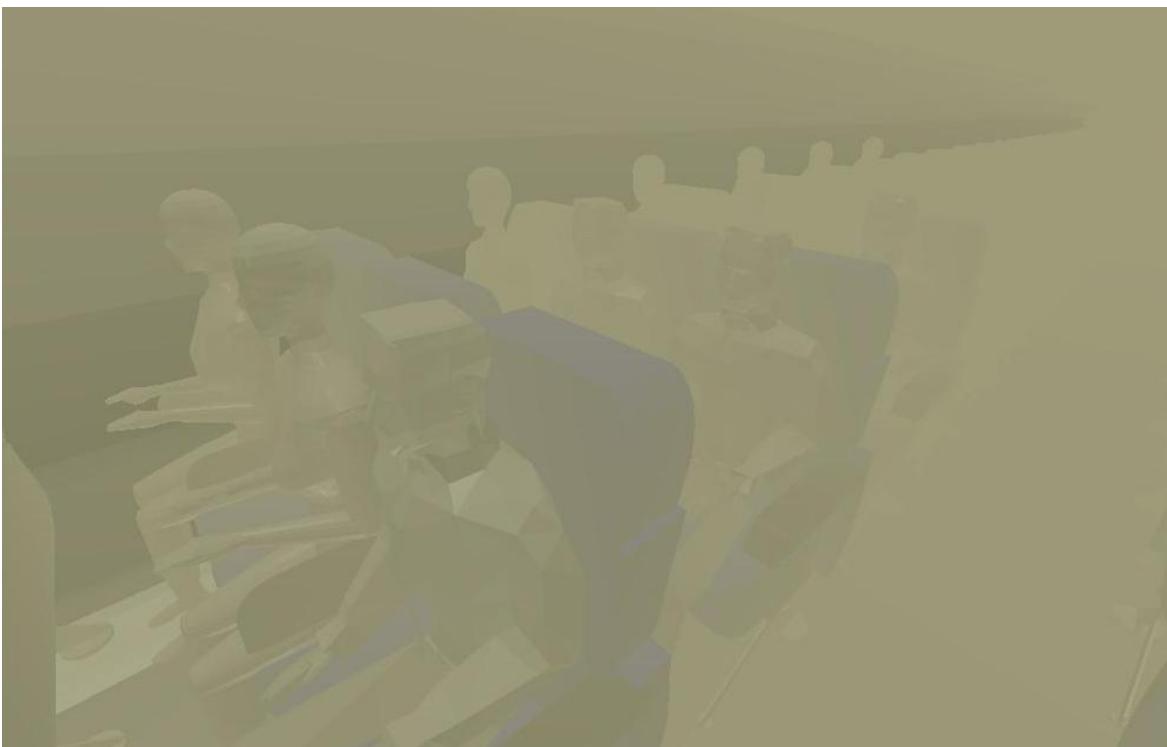


Figura 5 – vista persone sedute in una cabina dove è presente del fumo-

## 4.6.2 Incendio a bordo

Altra importante funzione per incrementare il realismo della scena, è la simulazione di un incendio a bordo. Gli incendi a bordo possono infatti essere causati da molte variabili, fra cui:

- errore umano (sigaretta spenta nel bidone del bagno);
- cortocircuito impianto elettrico;
- guasto ad un motore;
- ...

Per questa funzione si crea un sistema basato su particelle che richiama le texture del fuoco:

```
// create a particle system

scene::IParticleSystemSceneNode* ps =
    smgr->addParticleSystemSceneNode(false);

scene::IParticleEmitter* em = ps->createBoxEmitter(
    core::aabbbox3d<f32>(-7,0,-7,7,1,7), // emitter size
    core::vector3df(0.0f,0.06f,0.0f), // initial direction
    80,100, // emit rate
    video::SColor(0,255,255,255), // darkest color
    video::SColor(0,255,255,255), // brightest color
    800,2000,0, // min and max age, angle
    core::dimension2df(10.f,10.f), // min size
    core::dimension2df(20.f,20.f)); // max size

ps->setEmitter(em); // this grabs the emitter
em->drop(); // so we can drop it here without deleting it

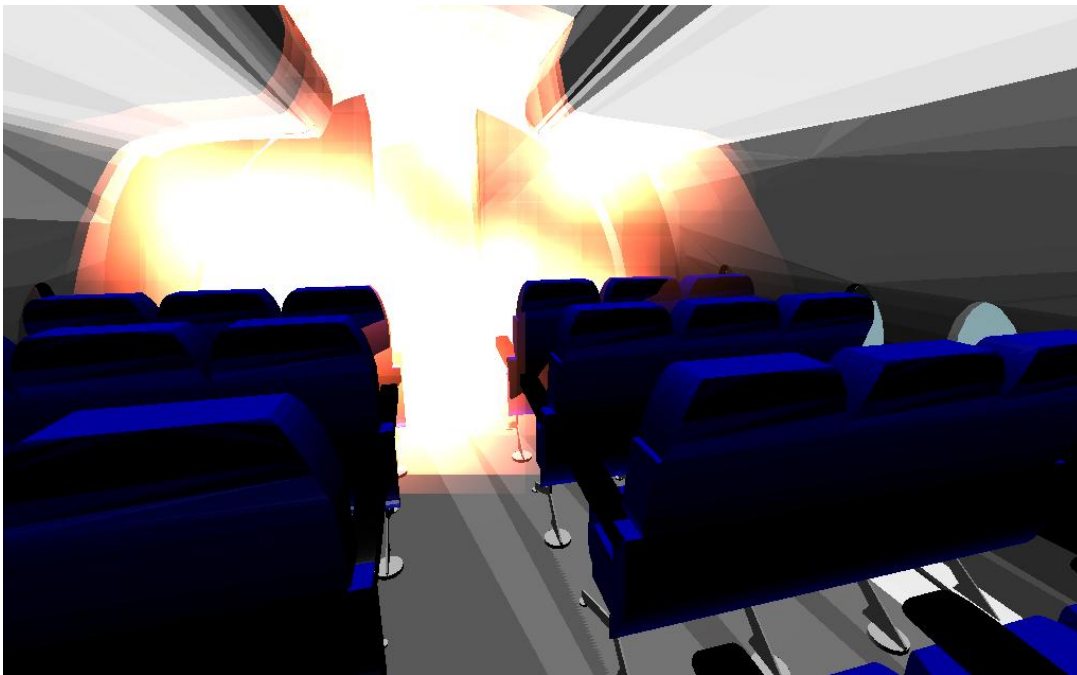
scene::IParticleAffector* paf = ps->createFadeOutParticleAffector();

ps->addAffector(paf); // same goes for the affector
paf->drop();

ps->setPosition(core::vector3df(-30,2,0));
ps->setScale(core::vector3df(2,2,2));
ps->setMaterialFlag(video::EMF_LIGHTING, false);
ps->setMaterialFlag(video::EMF_ZWRITE_ENABLE, false);
ps->setMaterialTexture(0, driver->getTexture("C:/illricht/irrlicht-1.5.2/media/fire.bmp"));
ps->setMaterialType(video::EMT_TRANSPARENT_VERTEX_ALPHA);
```

Listato 12 – modellazione fuoco

Compilando il programma con il solo effetto fuoco e senza il fumo si ottiene il seguente effetto:



**Figura 6 –vista incendio nella parte anteriore della cabina**

L'effetto reale durante un incendio a bordo prevede però la presenza contemporanea sia del fuoco che del fumo; si implementa quindi la scena utilizzando entrambe le funzioni.



## 5 Caso di studio

Per testare la funzionalità dell'ambiente di simulazione, si è deciso di modellare la cabina di un velivolo reale e di provare a svolgere alcuni test di evacuazione.

### 5.1 Descrizione aereo considerato

L'aeromobile considerato in questo studio è un Airbus A320: si tratta di un velivolo molto diffuso, per cui è disponibile in rete molta letteratura.

L'Airbus A320 è il modello base della famiglia di aeroplani A320, che comprende anche i modelli più piccoli, A319 e A318, ed una versione allungata, l'A321. Il velivolo considerato può quindi essere considerato un aeroplano a medio raggio per l'aviazione civile di passeggeri. La prima consegna di questo nuovo modello ebbe luogo nel 1988.

L'Airbus A320 è stato il primo aeroplano civile con pilotaggio Fly By Wire esclusivamente digitale. Fino ad oggi i membri di questa famiglia hanno avuto un ottimo successo di vendita con un totale di oltre 6700 ordini.

L'A320 è un aeroplano bipropulsore con un corridoio centrale nella cabina, quattro ingressi per i passeggeri e quattro uscite d'emergenza (**Figura 8**).

Ciò che è stato sviluppato in questo studio potrebbe essere anche applicato a velivoli di maggiori dimensioni come Airbus A380 o Boeing 767.

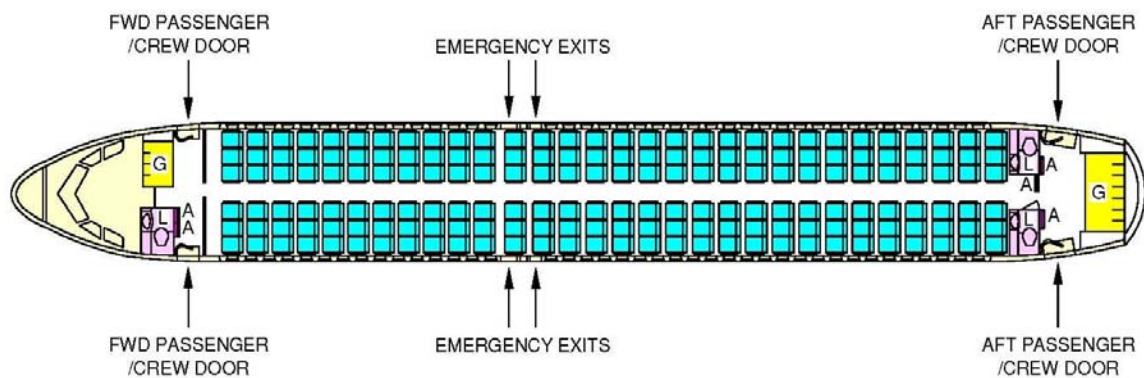


Figura 8 - layout A320 - fonte: <http://www.airbus.com>

In configurazione ad una classe può contenere fino a 180 passeggeri. In una tipica versione a due classi (**Figura 9**), può contenere fino a 150 passeggeri. Il numero massimo di passeggeri imbarcabili scende a 145 nel caso la seconda uscita d'emergenza "Type III", posizionata sopra l'ala (**Figure 10 e 11**), venga disattivata.

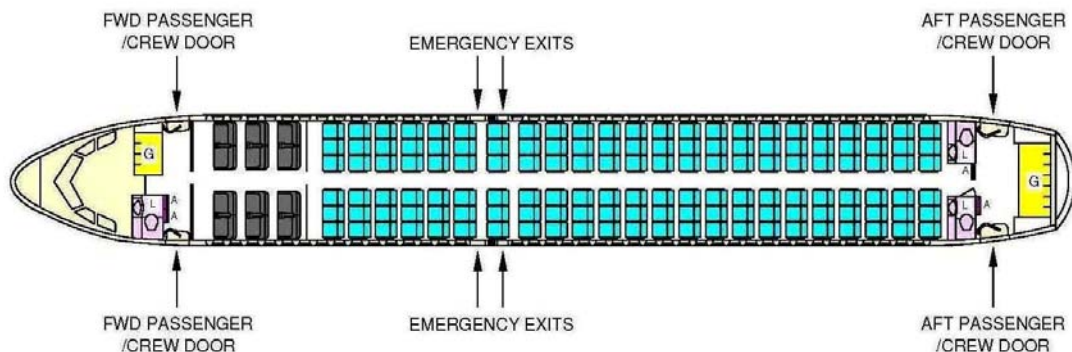


Figura 9 - layout A320 con 2 classi - fonte: <http://www.airbus.com>

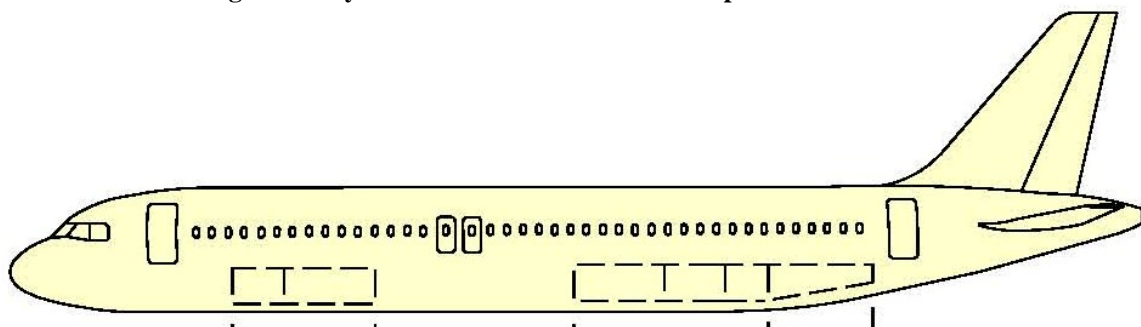


Figura 10 - vista della doppia uscita di tipo III sopra le ali - fonte: <http://www.airbus.com>



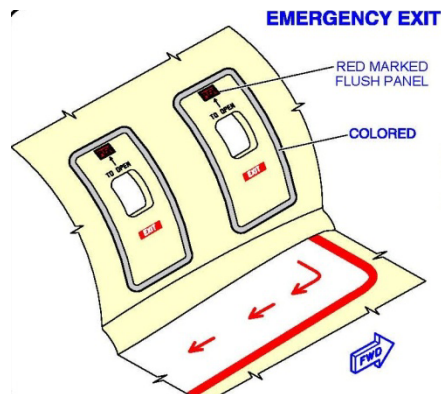


Figura 11 – uscita di tipo III con percorso di uscita - fonte: <http://www.airbus.com>

## 5.2 Software utilizzato per la modellazione della cabina

La modellazione della cabina passeggeri dell'Airbus A320 è stata realizzata attraverso il software grafico Rhinoceros 4.0.

Comunemente chiamato Rhino, esso è un software applicativo commerciale per la modellazione 3D di superfici realizzato da Robert McNeel & Associates, un'azienda di Seattle. Viene normalmente utilizzato per il disegno industriale, l'architettura, il design navale, il design del gioiello, il design automobilistico, il CAD/CAM, la prototipazione rapida, il reverse engineering e il design della comunicazione.

In Rhino, tutte le entità geometriche sono rappresentate mediante NURBS (Non Uniform Rational B-Spline), che si definiscono come una rappresentazione matematica che consente di definire accuratamente geometrie 2D e 3D quali linee, archi e superfici a forma libera. I "plug-in" (moduli aggiuntivi) sviluppati da McNeel comprendono Flamingo (rendering raytrace), Penguin (rendering non foto realistico), Bongo e Brazil (rendering avanzato). Come molte applicazioni di modellazione, Rhino dispone anche di un linguaggio di "scripting" (linguaggio di programmazione) basato su Visual Basic e di un SDK (Software development kit) che permette di leggere e scrivere file direttamente in Rhino.

La sua crescente popolarità è basata sulla sua adattabilità, sulle funzionalità multidisciplinari, sulla bassa curva di apprendimento, sul costo relativamente basso e sulla possibilità di esportare file in oltre trenta formati diversi, rendendolo un vero e proprio strumento di conversione all'interno di un flusso di lavoro tipico di progettazione.

### 5.3 Realizzazione interno

Per questo studio è stata considerata la versione ad una sola classe, che ha la massima portata di 180 passeggeri. Dai disegni tecnici che la casa costruttrice riporta sulla rete, è stato sviluppato un modello tridimensionale della cabina del velivolo (**Figura 12**). Si fa notare come siano state rispettate in modo scrupoloso le dimensioni indicate sui disegni Airbus.



Figura 12 - cabina passeggeri vuota -

Terminata la modellazione della cabina, si è passati alla realizzazione dei sedili passeggeri (**Figura 13**). Anche in questo caso la modellazione ha tenuto conto degli ingombri e della forma reale del gruppo sedie tipicamente installato su questi aeromobili. Il dettaglio nella modellazione è stato fissato come un compromesso fra realismo e dimensioni non troppo elevate del modello geometrico.



**Figura 13 - blocco sedili A320 -**

Si nota che rispetto alle poltrone reali (**Figura 14**), non sono presenti le cinture di sicurezza. Anche se nella prova reale le cinture allacciate ad inizio dimostrazione sono obbligatorie, in una simulazione virtuale queste non vengono modellate per non appesantire troppo il modello. L'immagine seguente mostra come il gruppo sedie modellato sia del tutto simile a delle sedie reali. Se la simulazione lo richiede, può essere inserito un tempo di ritardo (stand-by) in cui il passeggero rimarrà fermo in posizione sul sedile per simulare lo slacciamento delle cinture.

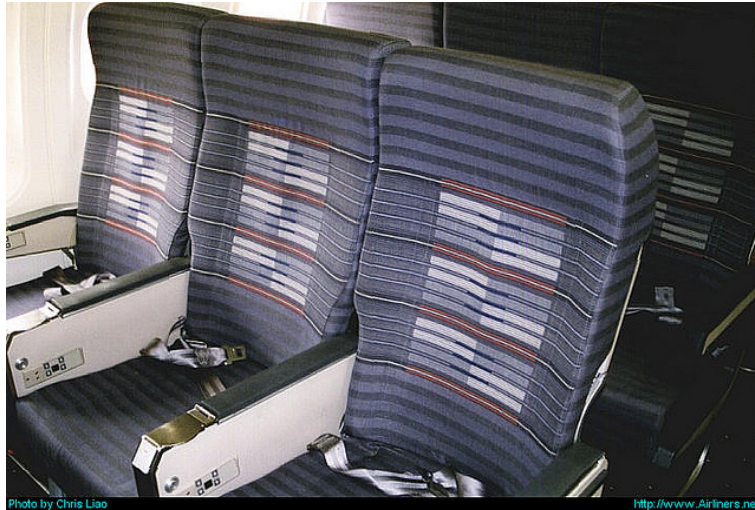


Figura 14 – immagine reale sedili aereo - fonte: <http://aviation-safety.net>

Inserendo il blocco poltrone all'interno della cabina ed eseguendo una ripetizione lineare per il numero delle file presenti si ottiene il seguente risultato (**Figura 15**):



Figura 15 - vista cabina con sedili -

Confrontando l'immagine della cabina passeggeri modellata con una foto reale (**Figura 16**) si nota che mancano i finestrini e le uscite di sicurezza. Nel modello finale si andranno quindi ad aggiungere i finestrini (**Figura 17**), e le uscite di sicurezza del velivolo. Per non appesantire la grafica, le porte di emergenza saranno già prive dei portelli; naturalmente, come già detto, il tempo necessario ad aprire le porte può essere agevolmente tenuto in considerazione durante la simulazione, andando a programmare un ritardo nel movimento in prossimità della porta da parte del primo passeggero che vi arriva vicino. Il modello a cui si è arrivati risulta graficamente perlomeno paragonabile ad altri esempi trovati in rete (**Figure 18 e 19**): Flight Gear e Virtual Exodus.



Figura 16 - immagine reale cabina A320 - fonte: <http://aviation-safety.net>

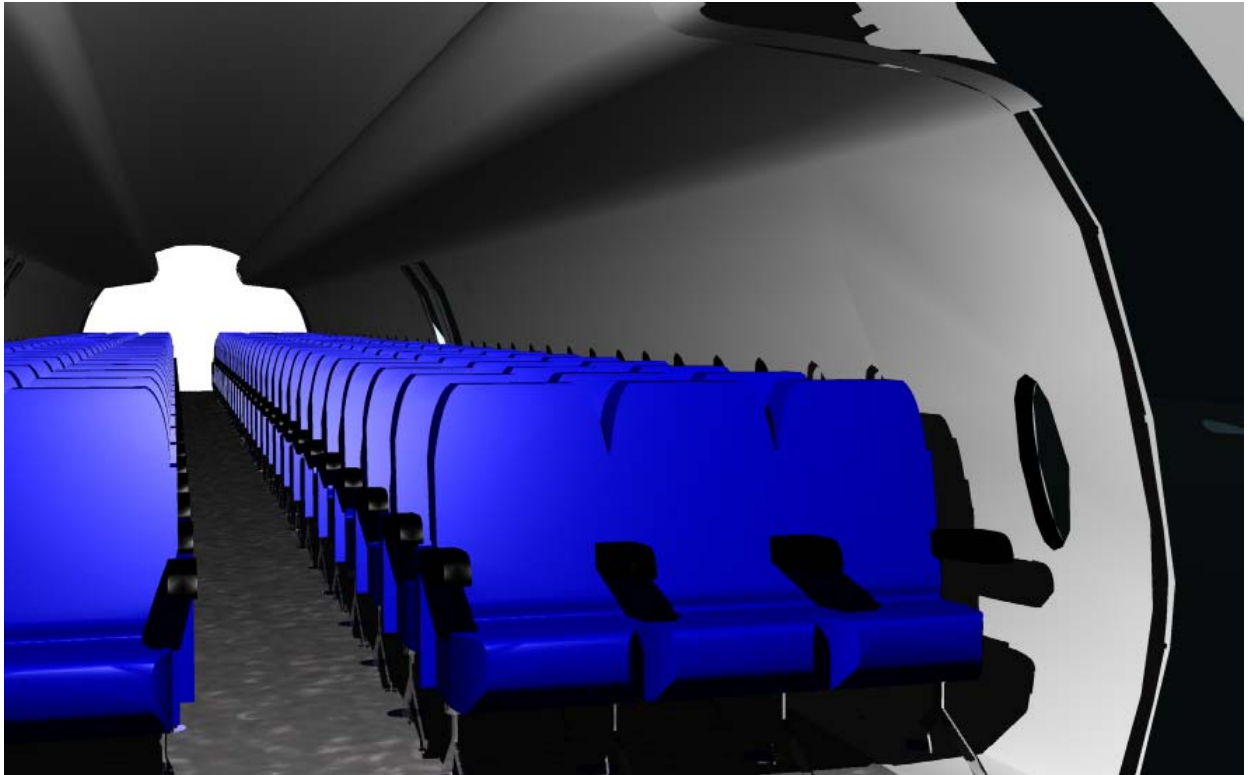


Figura 17 - immagine virtuale cabina A320 -

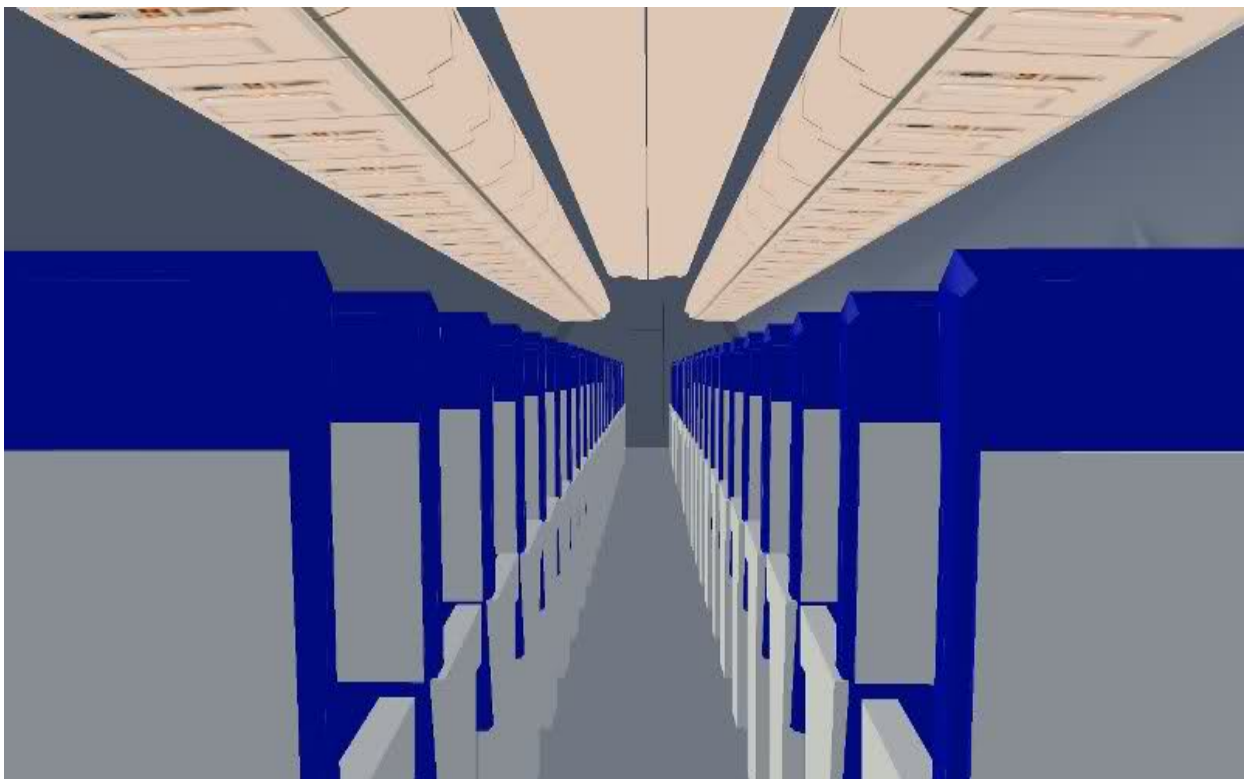


Figura 18 - immagine virtuale A320 reperita nel web - fonte: <http://www.flightgear.org>

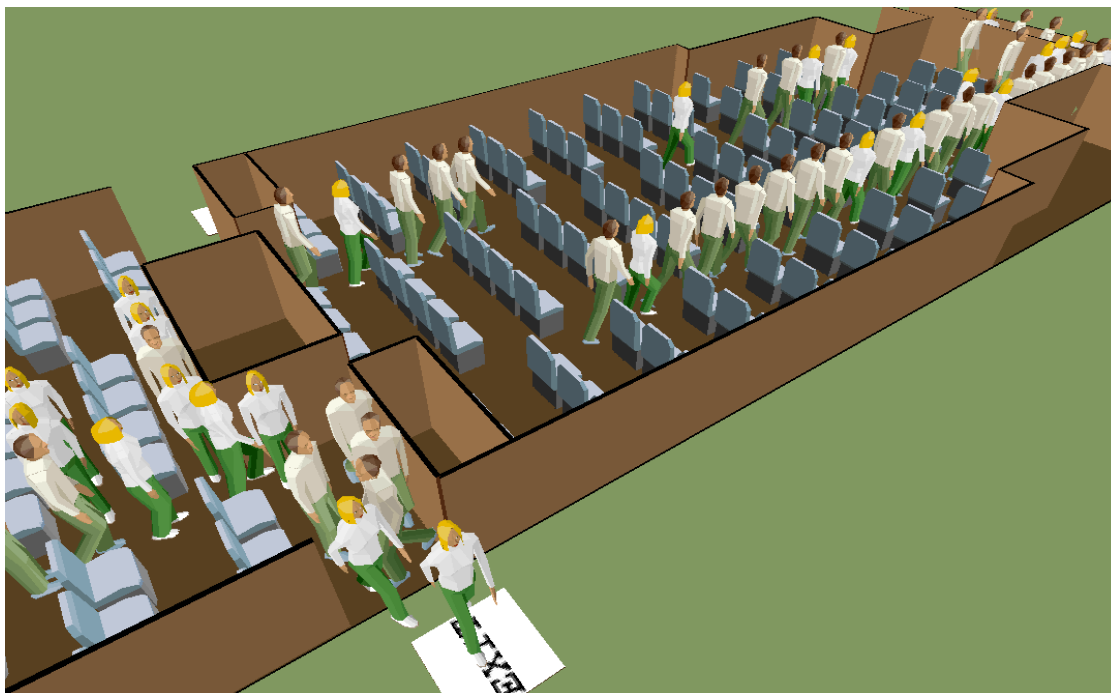


Figura 19 - vista evacuazione da una cabina passeggeri virtuale - fonte:  
<http://fseg.gre.ac.uk/exodus/index.html>

Come nella realtà per le uscite di emergenza sopra le ali del velivolo si è dovuto aumentare la distanza fra le due linee di sedili entro cui è posta l'uscita (**Figura20-21**). Ciò viene svolto per evitare il rallentamento delle operazioni di evacuazione: anche nei velivoli reali si presenta una situazione simile.

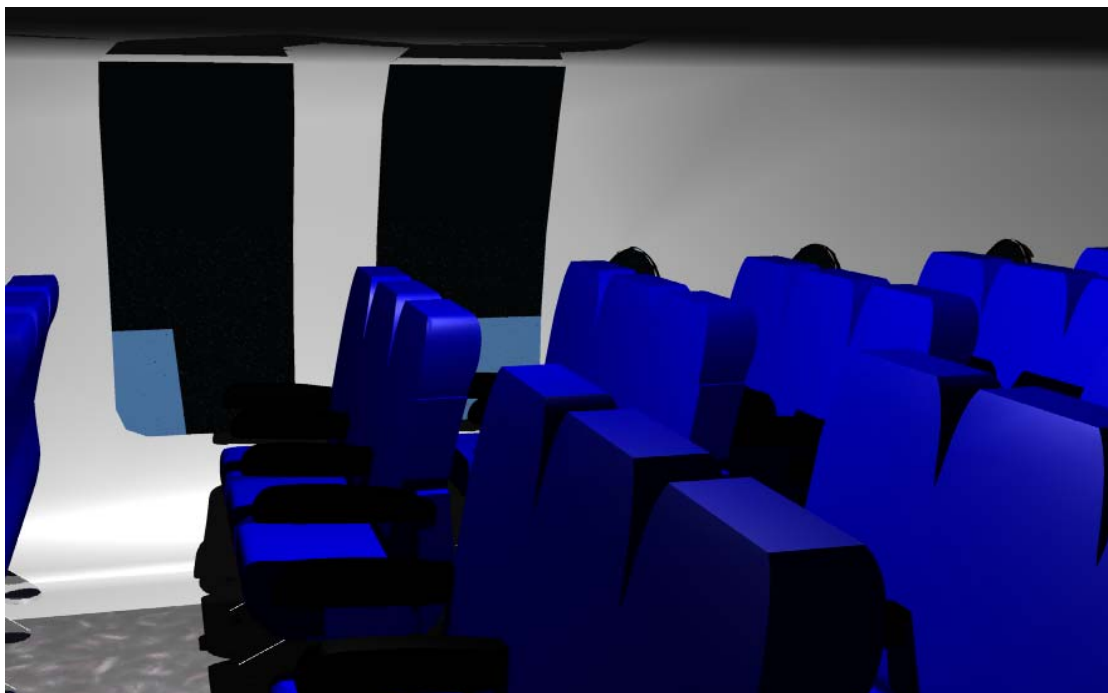


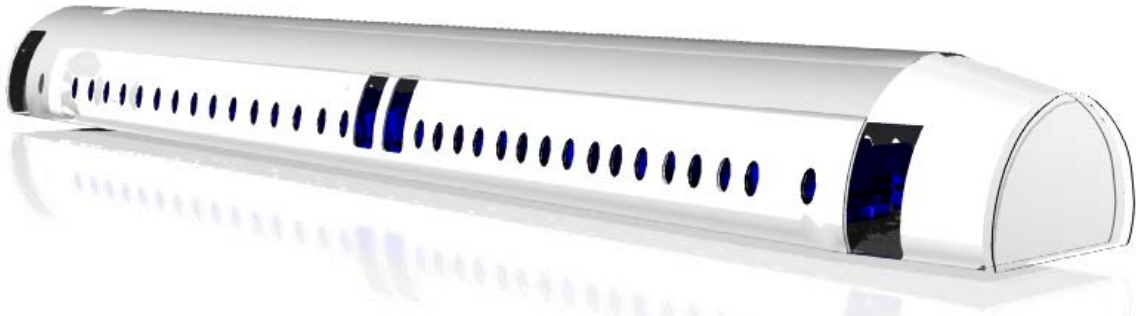
Figura 20 - doppia uscita di tipo III virtuale -



Figura 21 - doppia uscita di tipo III reale - fonte: <http://www.megamodo.com/>

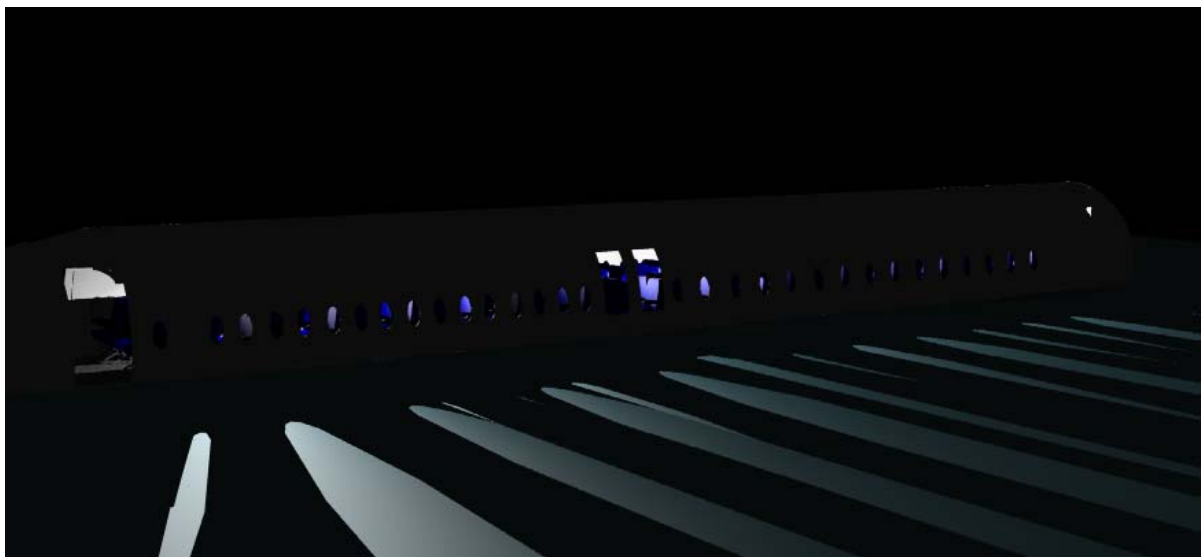


Dall'esterno, la cabina passeggeri modellata si presenterà come si vede in **Figura 22** :



**Figura 22 - vista esterna cabina passeggeri -**

La dimostrazione di evacuazione per i regolamenti FAA ed EASA, deve svolgersi in condizione notturna; agendo opportunamente sulle luci, dall'esterno il modello si presenterà come riportato in **Figura 23**.



**Figura 23 - vista notturna cabina passeggeri dall'esterno -**

## 5.4. Modellazione dei passeggeri

Una delle possibilità per animare i personaggi in questo ambiente è l' utilizzo del programma **3DS Max 2011**.

E' un programma di grafica vettoriale tridimensionale e di animazione, realizzato dalla divisione Media & Entertainment di Autodesk.

3DS Max è uno dei software più utilizzati per creazione 3D per numerose ragioni, tra cui le potenti capacità di "editing" (modifica dei passeggeri) e la sua architettura di plug-in (moduli aggiuntivi). Infatti, anche se molti strumenti non sono disponibili nel prodotto, questo dispone di una grande scelta di plug-in realizzati da terze parti. 3DS Max ha una serie di funzionalità avanzate. Dalla versione 7.0 sono presenti strumenti di texture (immagini) avanzati, che sono stati inclusi per migliorare le capacità di progettazione di video-giochi. A partire dalla versione 6.0, è stato incluso "Mental Ray", un potente sistema di rendering. Dalla 5.0 il software include strumenti di illuminazione avanzata come "Radiosity" e "Light Tracer", simili a strumenti professionali per il rendering fotorealistico come "Final Rende", "Brazil" e "V-ray". 3DS Max include anche Havok Reactor, un software per la creazione di simulazioni dinamiche usate anche per molti videogiochi come Half-life 2 ed Oblivion.

3DS Max è un programma con licenza a pagamento e se non si dispone di tale programma si può utilizzare uno dei programmi che la rete mette a disposizione a livello di Open source, come ad esempio il programma di grafica 3D **Blender 2.5**.

Blender [Blender] è un programma open source di modellazione, "rigging", animazione, "compositing" e "rendering" di immagini tridimensionali. Dispone inoltre di funzionalità per mappature UV per "texture", simulazioni di fluidi, di rivestimenti, di particelle, altre simulazioni non lineari e creazione di applicazioni 3D. E' disponibile per vari sistemi operativi: Windows, Mac, Linux, FreeBSD, assieme a interfacce non ufficiali per BeOS, SkyOS, AmigaOS, MorphOS e Pocket PC. Blender è dotato di un insieme di funzionalità paragonabili, per caratteristiche e complessità, ad altri noti programmi per la modellazione 3D come **Softimage XSI**, **Cinema**

**4D, 3D Studio Max, LightWave 3D e Maya.** Tra le funzionalità di Blender vi è anche l'utilizzo di raytracing e di "script" (in Python).

In origine, il programma è stato sviluppato come applicazione interna dallo studio di animazione olandese NeoGeo. L'autore principale, Ton Roosendaal, fondò la società Not a Number Technologies (NaN) nel 1998 per continuare lo sviluppo e distribuire il programma. Questo inizialmente fu distribuito come software a costo zero (freeware), fino alla bancarotta di NaN nel 2002. I creditori acconsentirono a rilasciare Blender come software libero, sotto i termini della licenza GNU (General Public License). Blender ora è un progetto open source molto attivo ed è guidato dalla Blender Foundation.

Questo software richiede poca memoria in disco rigido per essere installato e può essere utilizzato su molte piattaforme. Viene distribuito senza documentazione o tutorial, ma in rete è possibile trovare molti esempi e istruzioni per il suo utilizzo. Tra le sue potenzialità possiamo ricordare:

- supporto per una grande varietà di primitive geometriche, incluse le mesh poligonali, le curve di Bézier, le NURBS, le metaball e i font vettoriali;
- conversione da e verso numerosi formati per applicazione 3D, come Wings 3D, 3D Studio Max, LightWave 3D e altri;
- strumenti per gestire le animazioni, come la cinematica inversa, le armature (scheletri), la gestione dei movimenti, le animazioni non lineari, i vincoli, il calcolo pesato dei vertici nelle deformazioni;
- gestione dell'"editing" video non lineare;
- caratteristiche interattive, come la collisione degli ostacoli, il motore dinamico e la programmazione della logica, permettendo la creazione di programmi stand alone o applicazioni real-time, come la visione di elementi architettonici o la creazione di videogiochi;
- motore di rendering interno versatile ed integrazione nativa col motore esterno YafRay ( raytracer open source);
- scripting in python per automatizzare e/o controllare numerosi aspetti del programma e della scena.

Blender è noto per essere un programma difficile da imparare. Quasi tutte le funzioni possono essere richiamate con tasti rapidi e per questo motivo quasi tutti i tasti sono collegati a numerose funzioni. Da quando è stato rilasciato come open-source, la GUI (interfaccia grafica) è stata notevolmente modificata, introducendo la possibilità di modificare il colore, l'uso di widget (componenti grafici di una interfaccia) trasparenti, una nuova e potenziata visualizzazione, gestione degli oggetti e altre piccole migliorie.

L'interfaccia di Blender si basa sui seguenti principi:

- modalità di modifica (**edit**): le due modalità principali sono la **Modalità oggetto** (object mode) e la **Modalità modifica** (edit mode), è possibile passare dall'una all'altra per mezzo del tasto **tab**. La modalità oggetto può essere usata per manipolare oggetti singoli, mentre la modalità modifica è usata per modificare i dati di un oggetto. Per esempio, in una mesh poligonale, la modalità oggetto può essere usata per muovere, scalare e ruotare l'intera mesh, mentre la modalità modifica è usata per modificare i vertici individuali della mesh. Ci sono anche altre modalità, come la Vertex Paint, la Sculpt mode e la UV Editing mode;
- scorciatoie da tastiera: la maggior parte dei comandi è impartibile attraverso la tastiera. Fino alla versione 2.x e specialmente nella versione 2.3x, questo era il solo modo per impartire comandi, e questo è stato il principale motivo che ha dato a Blender la reputazione di essere un programma difficile da imparare e capire. La nuova versione ha menu molto più completi, che permettono di usare in larga misura il mouse per impartire i comandi;
- spazio di lavoro completamente ad oggetti: l'interfaccia di Blender è formata da una o più scene, ognuna delle quali può essere divisa in sezioni e sottosezioni che possono essere formate da una qualunque immagine o vista di Blender. Ogni elemento grafico delle viste di Blender può essere controllato nello stesso modo in cui si controlla la

finestra 3D. Si possono ad esempio ingrandire i pulsanti della barra dei menù nello stesso modo in cui si ingrandisce un'immagine nella finestra di anteprima. La disposizione delle componenti dell'interfaccia di Blender è modificabile dall'utente, che può così lavorare a compiti specifici su un'interfaccia personalizzata e nascondere le caratteristiche non necessarie.

A partire dello sviluppo delle versioni 2.5, è stata introdotta una nuova interfaccia, oltre al cambiamento di alcune combinazioni di tasti, rendendo il tutto più intuitivo per chi è alle prime armi con il programma.

Da quando è stato rilasciato il sorgente, Blender è stato notevolmente migliorato e il codice di base ha subito numerose modifiche, soprattutto al fine di poter inserire nuove funzionalità con maggiore facilità. Sebbene Blender (fino alla versione 2.36) abbia sempre cercato di raggiungere i software 3D con licenza a pagamento, e adesso permetta di realizzare praticamente ogni cosa possibile nell'ambito 3D, differisce ancora da programmi come Autodesk Maya, Softimage XSI o Maxon Cinema 4D. Manca ancora un sistema NLA (*Non Linear Animation*) più ricco e flessibile, la possibilità di unire armature (può solo essere emulato con un uso esteso dei vincoli), un'esportazione in formato non binario, un sistema migliorato per gestire le misurazioni e, soprattutto a causa dello sviluppo rapido di Blender, una documentazione coerente e sempre aggiornata.

Il primo grande progetto professionale nel quale Blender è stato usato come strumento primario è stato la previsualizzazione dell'animazione del film Spiderman 2.

## 5.5 Tipologia dei personaggi modellati

Per ottenere un buon livello di realtà simulata occorre inserire personaggi, statici o animati, che imitino le operazioni di evacuazione [Beltrami, 2010], e che assumano pose realistiche. Per realizzare dei modelli virtuali si può partire da una forma geometrica semplice come quella di un parallelepipedo, per poi deformarla tanto da ottenere sembianze umane. Un altro modo è la creazione di un modello multistrato; si parte cioè da una sorta di scheletro interno dove si andranno ad aggiungere strati intermedi che costituiranno la muscolatura e le masse adipose, coprendo il tutto con un ultimo strato di pelle.

### 5.5.1 Animazione dei modelli

Se si vogliono animare i modelli creati si possono seguire vari metodi.

Un primo approccio al problema è la creazione di diversi cicli di locomozione da calcolare in real-time per ogni modello; questa soluzione necessita di una velocità di elaborazione molto alta. Un secondo approccio consiste nell'utilizzare un database di animazioni: si costruisce un database in grado di fornire cicli di camminata che verranno poi richiamati e sfruttati dalla CPU a tempo di esecuzione.

Una qualsiasi categoria di persona (uomo, donna o bambino) può essere descritta da un template (sagoma) umano, che consiste di:

- uno scheletro, composto da giunti che rappresentano le articolazioni;
- un insieme di mesh, ciascuna rappresentante lo stesso umano virtuale ma con un numero di triangoli decrescente;

- un set di sequenze di animazione che il template può eseguire.

Dal template sopra citato si introduce il concetto di mesh deformabile, cioè una superficie formata da un insieme di triangoli (o poligoni) che racchiude uno scheletro; quando lo scheletro si muove, i vertici della mesh seguono il suo movimento, similmente a quello che fa la pelle (animazione dello scheletro). Ogni vertice della mesh è influenzato dai giunti più o meno vicini. L'utilizzo di sole mesh deformabili per rappresentare il simulatore di evacuazione può risultare molto pesante per la velocità di calcolo messa a disposizione dal PC utilizzato per la simulazione. In una delle simulazioni, sono state posizionate le mesh deformabili solamente vicino alla telecamera, mentre le mesh lontane sono state implementate statiche. Per la modellazione di mesh bisogna essere designer abbastanza esperti; questa difficoltà nella creazione dei personaggi viene compensata dal fatto che per rendere differenti dei passeggeri basta cambiare pochi parametri come le texture (immagini), i vestiti (cambio di colore), l'altezza (scala del personaggio). Una mesh statica è una posizione geometrica precalcolata di una mesh deformabile. L'animazione viene eseguita semplicemente come successione di posture precalcolate.

Per i modelli dei personaggi usati nella simulazione sono state utilizzate mesh statiche trovate in rete su siti che mettono a disposizione gratuitamente modelli geometrici. Se si volessero realizzare delle animazioni e modificare i personaggi al fine di rendere più realistica la simulazione di evacuazione, sarebbe necessario importare questi modelli in un programma di disegno avanzato, collocandole al centro delle coordinate spaziali, con i piedi appoggiati al piano xy .

A partire dalla mesh che rappresenta il personaggio, bisogna andare a tracciare segmenti che rappresentano la ossatura della figura stessa. Tali segmenti saranno collegati fra di loro attraverso giunti che rendono possibili solo alcuni movimenti: occorre naturalmente impostare il numero minimo di segmenti indipendenti che permettono di simulare i movimenti che interessano. In secondo luogo si va a selezionare l'influenza del movimento

di queste “ossa” sui poligoni della mesh. In questo modo, quando si va a ruotare o spostare parte dello scheletro, si va anche ad agire sulla mesh a questo associata. Se si modifica lo scheletro secondo movimenti tipici della deambulazione umana o della corsa e si salvano le sequenze si ottiene una serie di “fotogrammi chiave”. La postura risulta realistica visto che la mesh è collegata all’ossatura e quindi si muove in modo coerente ad essa.

Per il processo di animazione è fondamentale che ogni vertice della mesh sia sotto l’influenza di almeno un osso, altrimenti si otterrà uno sgradevole effetto di deformazione della figura. Nel momento in cui si farà partire l’animazione, si creerà un movimento fluido e continuo andando ad interpolare le posizioni assunte dallo scheletro nei diversi fotogrammi chiave.

Le operazioni sopra descritte sono comuni a tutti i programmi che rendono possibile l’animazione degli scheletri e dei personaggi.

### **5.5.2 Modelli inseriti nel simulatore**

Nell’appendice J della normativa CS-25 vengono previste diverse tipologie di persone, per questa ragione sono stati inseriti modelli differenti tra di loro che interpretano i regolamenti dell’EASA.





Figura 24 - Esempi di personaggi - fonte : <http://www.all3dmodel.com/> ;  
<http://www.geo3dmodel.com/>; <http://archive3d.net/>

Si modifica anche una mesh per simulare una persona che si muove a carponi lungo il corridoio della cabina pavimento. Durante un incendio può infatti capitare che la zona superiore della cabina sia troppo calda e con troppo fumo per poter stare in piedi. In questi casi il passeggero si china e avanza “a carponi”.

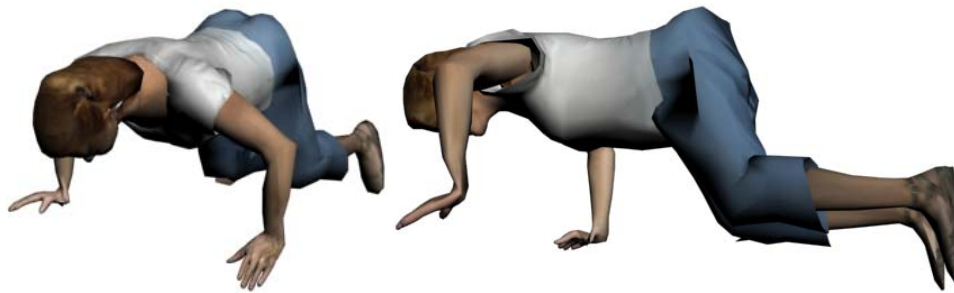


Figura 25 - personaggio a carponi - fonte : <http://www.all3dmodel.com>

Gli stessi personaggi possono essere modificati per rappresentare diverse posizioni assunte durante l'evacuazione (seduti, durante la fase di alzata dalla sedia, in piedi, in cammino, di corsa). A titolo di esempio, in **Figura 26** lo stesso personaggio di **Figura 25** viene rappresentato in diverse posture.

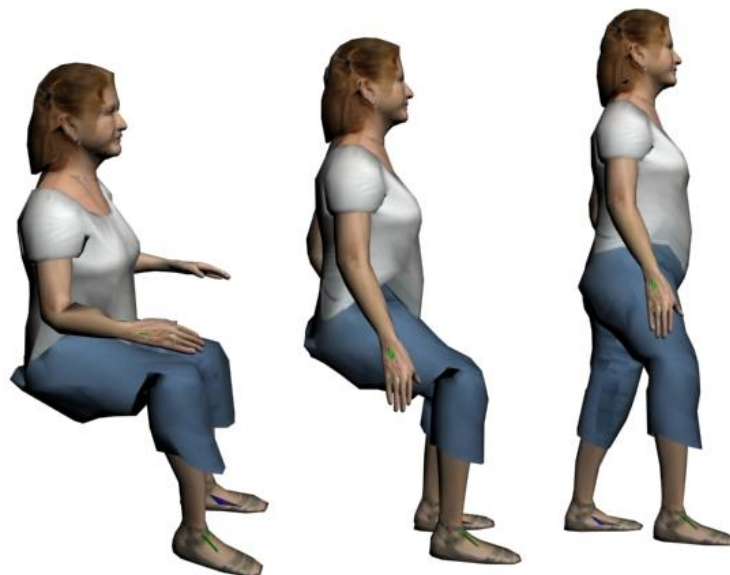


Figura 26 - vista personaggio in tre pose - fonte : <http://www.all3dmodel.com>

Si inserisce nella cabina virtuale anche un personaggio che impersona l'assistente di volo: a livello di modello matematico sarebbe possibile incrementare la velocità di movimento dei passeggeri quando sono in vicinanza del personale di volo in quanto si presume che possa influire positivamente sulla dinamica dell'evacuazione.



**Figura 27 - immagine hostess - fonte : <http://www.all3dmodel.com/>**



## 6 Simulazione di evacuazione

Compilando il programma ed eseguendolo si inizia la navigazione all'interno del modello virtuale. In un primo ipotetico scenario, si osservano i passeggeri che durante le operazioni di evacuazione occupano tutto il corridoio centrale. Per osservare in modo completo questa configurazione ci si deve muovere al di sopra dei personaggi, altrimenti come nella realtà il personaggio collegato al punto di vista si trova "imbottigliato" nella fila e non riesce a muoversi, in quanto ostacolato dai modelli che occupano il corridoio centrale. Il sistema di rilevamento delle collisioni è qui fondamentale per creare in modo verosimile l'affollamento e la incapacità di movimento che si verifica in seguito agli spazi ristretti. Le immagini seguenti mostrano alcune delle fasi di una evacuazione: si parte con cabina libera da fumo per poi andare verso una situazione in cui il fuoco a bordo si propaga e sorge un denso fumo.

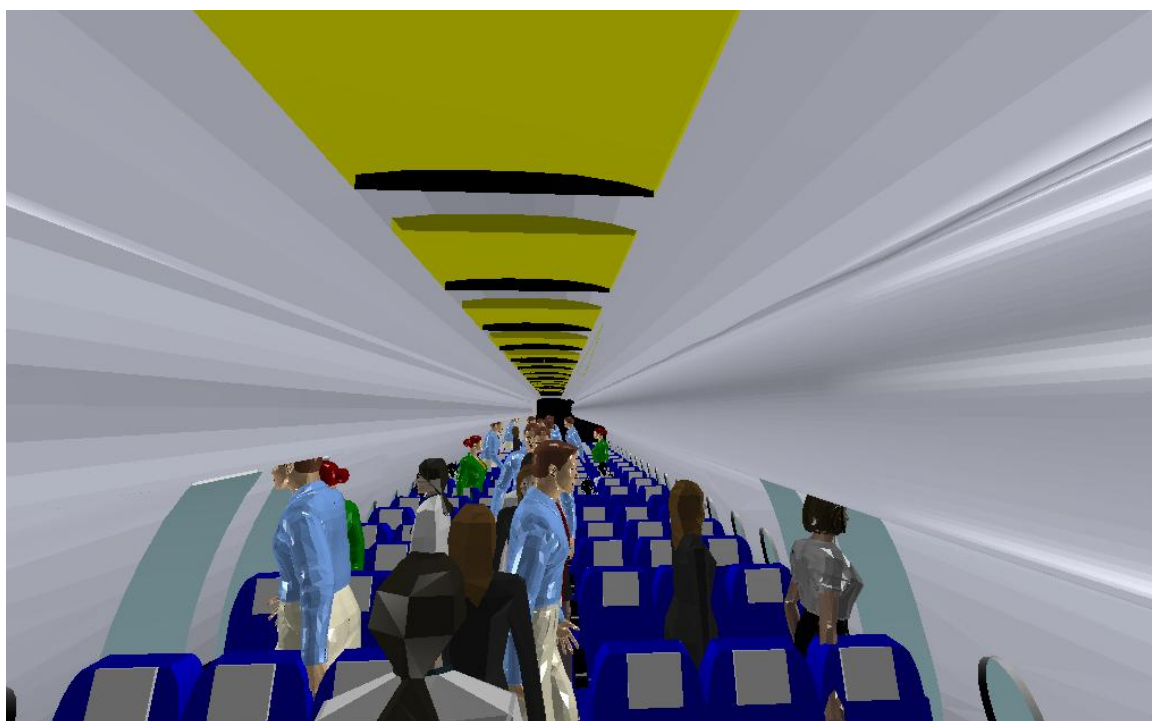


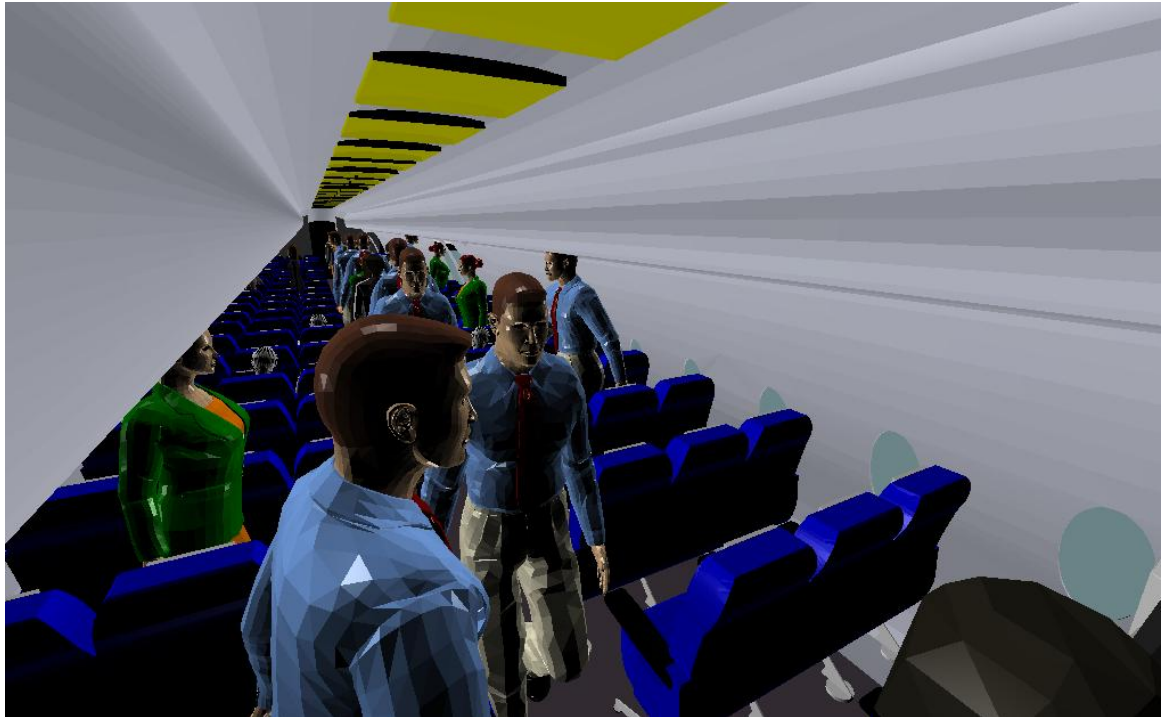
Figura 28 - simulazione di evacuazione -



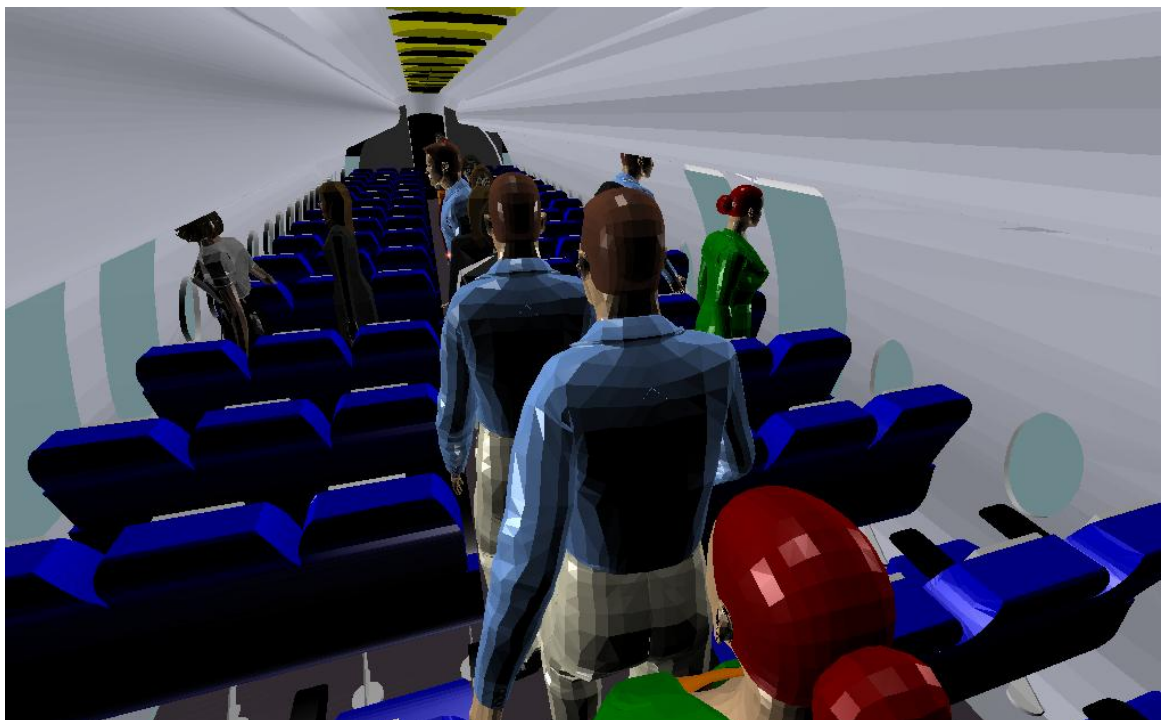
Figura 29 - personaggi in movimento -



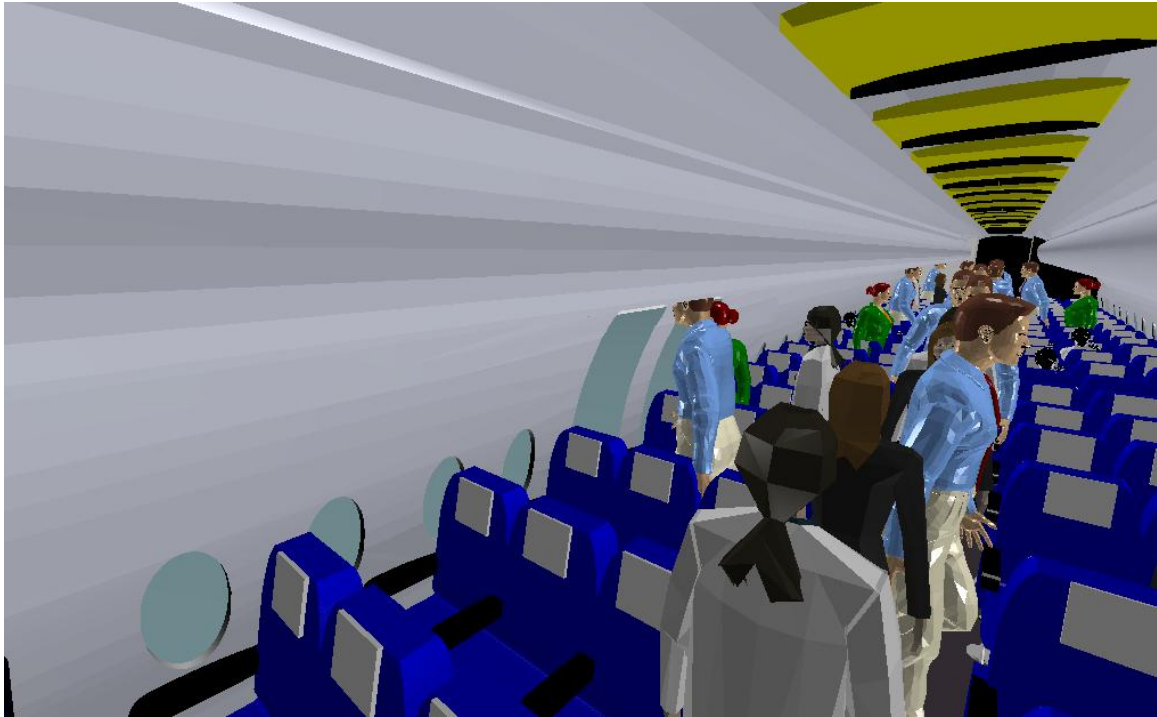
Figura 30 - uscita con personaggi in coda -



**Figura 31 - personaggi nel corridoio in coda -**

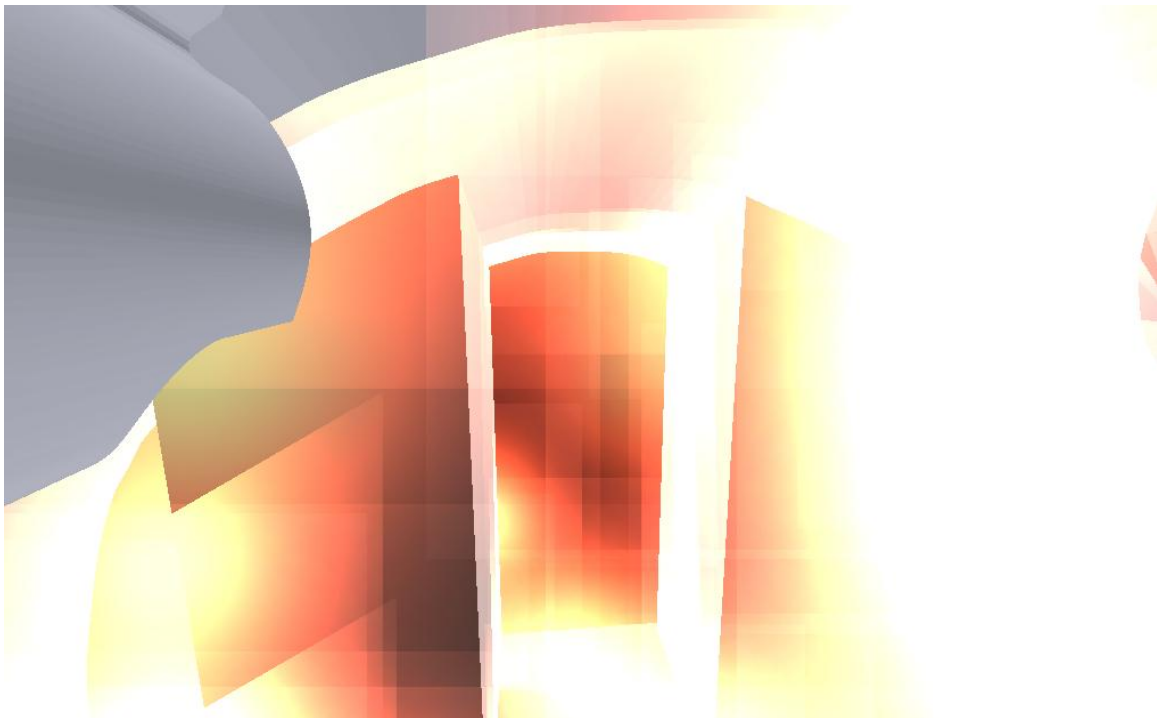


**Figura 32 - coda dei personaggi in uscita -**



**Figura 33 - cabina durante evacuazione prospettiva -**

Inserendo da codice un incendio a bordo l'effetto grafico si presenta come in **Figura 34**



**Figura 34 - incendio visto da vicino -**



Quando a bordo è presente un incendio si sviluppa anche il fumo, che rende gli spostamenti in cabina difficoltosi a causa della scarsa visibilità. L'effetto fumo creato in **Figura 35-36** è molto fitto e consente una visibilità molto scarsa.



**Figura 35 - modellazione fumo -**



**Figura 36 - personaggio visto attraverso il fumo -**

In **Figura 37-38** l'effetto del fumo inserito è meno intenso che nelle immagini precedenti. In molti casi, quando è presente fumo in cabina, le persone avanzano carponi sul pavimento per cercare di respirare meglio; un esempio è mostrato in **Figura 37-38**. Si noti come la possibilità di variare la posizione dei passeggeri permette di descrivere atteggiamenti e situazioni che si verificano nella realtà e che solo pochi programmi di simulazione delle emergenze riescono a descrivere.



**Figura 37 - evacuazione in caso di fumo in cabina -**



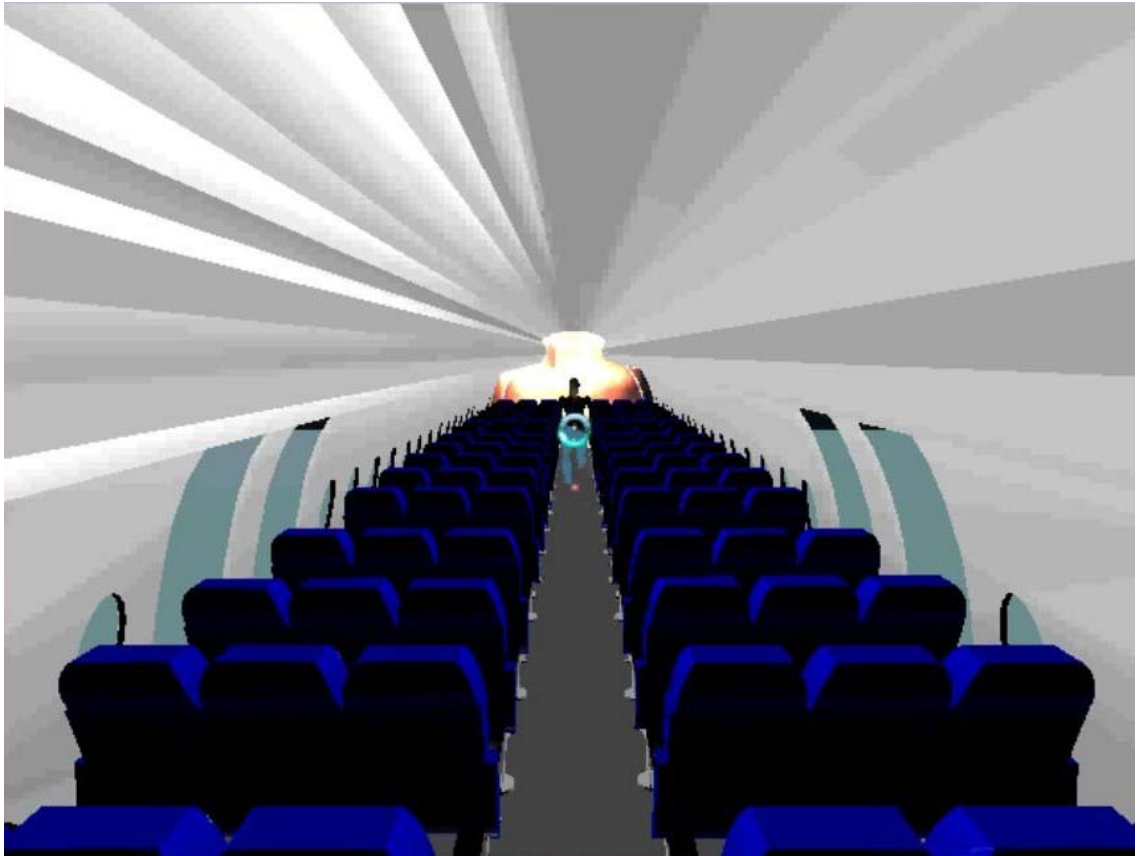
**Figura 38 - personaggio a carponi in fuga -**

In **Figura 39** si è tentato anche di inserire un effetto di “fumo a densità variabile” localizzato in un determinato settore dell’aereo. Questa funzione però non è risultata utile ai fini di una buona rappresentazione grafica perché non permette la visione attraverso il fumo, dando vita ad un effetto poco realistico.

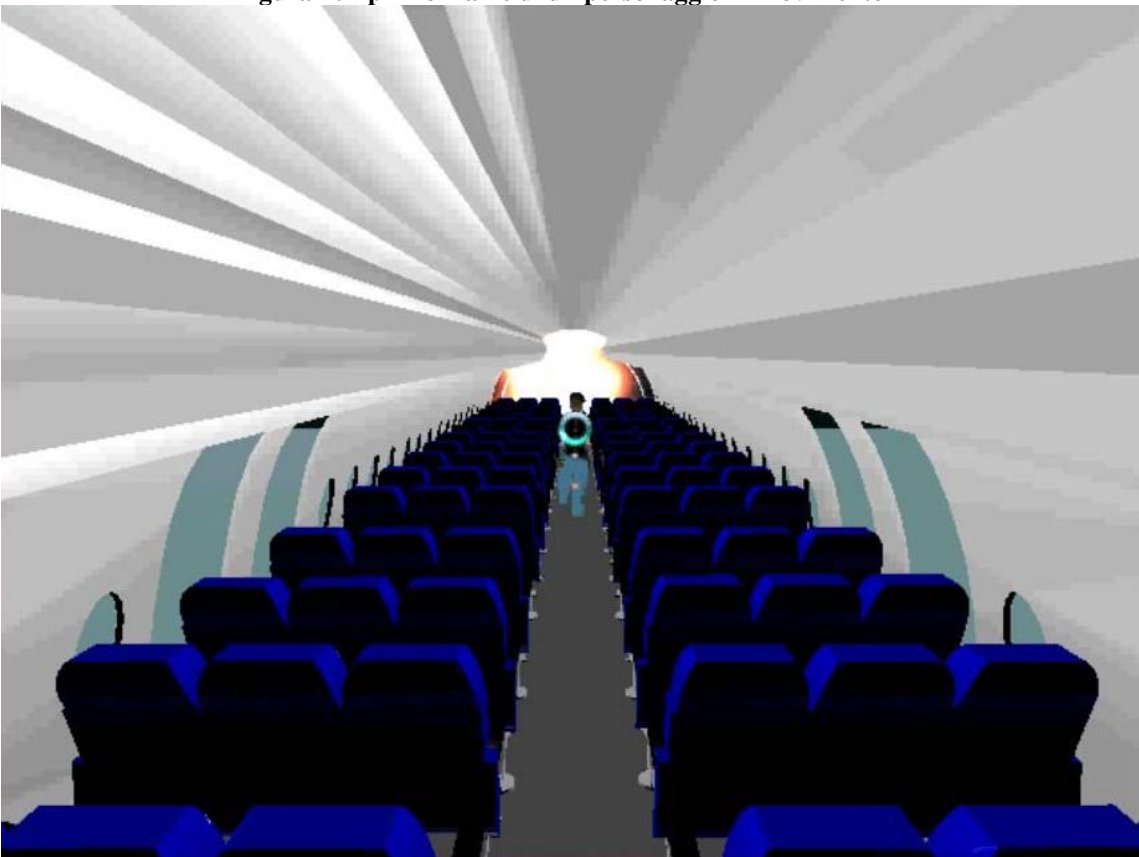


Figura 39 - effetto fumo ristretto in una zona della cabina -

Per creare un esempio dinamico della evacuazione, inclusivo del modello di movimento di un passeggero, è stato introdotto un personaggio pre-animato in cabina e, tramite un codice di spostamento di un nodo, la mesh si muove all'interno dell'ambiente virtuale in modo molto realistico. In questo caso, durante la corsa, gli arti del passeggero (gambe e braccia) ed il busto si muovono in modo del tutto realistico simulando una reale corsa. Visto il carattere dimostrativo della presente tesi, si è semplificato la scena togliendo i particolari non necessari e l'effetto fumo in cabina. Nelle **Figure 40-41-42-43** sono stati catturati degli "screen-shots" dal video. Utilizzando un PC più potente e modellando più tipologie di passeggeri si potrebbe introdurre un numero maggiore di passeggeri con movimento dinamico, in contemporanea ad effetti di fuoco e fumo.



**Figura 40 - primo frame di un personaggio in movimento -**



**Figura 41 - secondo frame di un personaggio in movimento -**

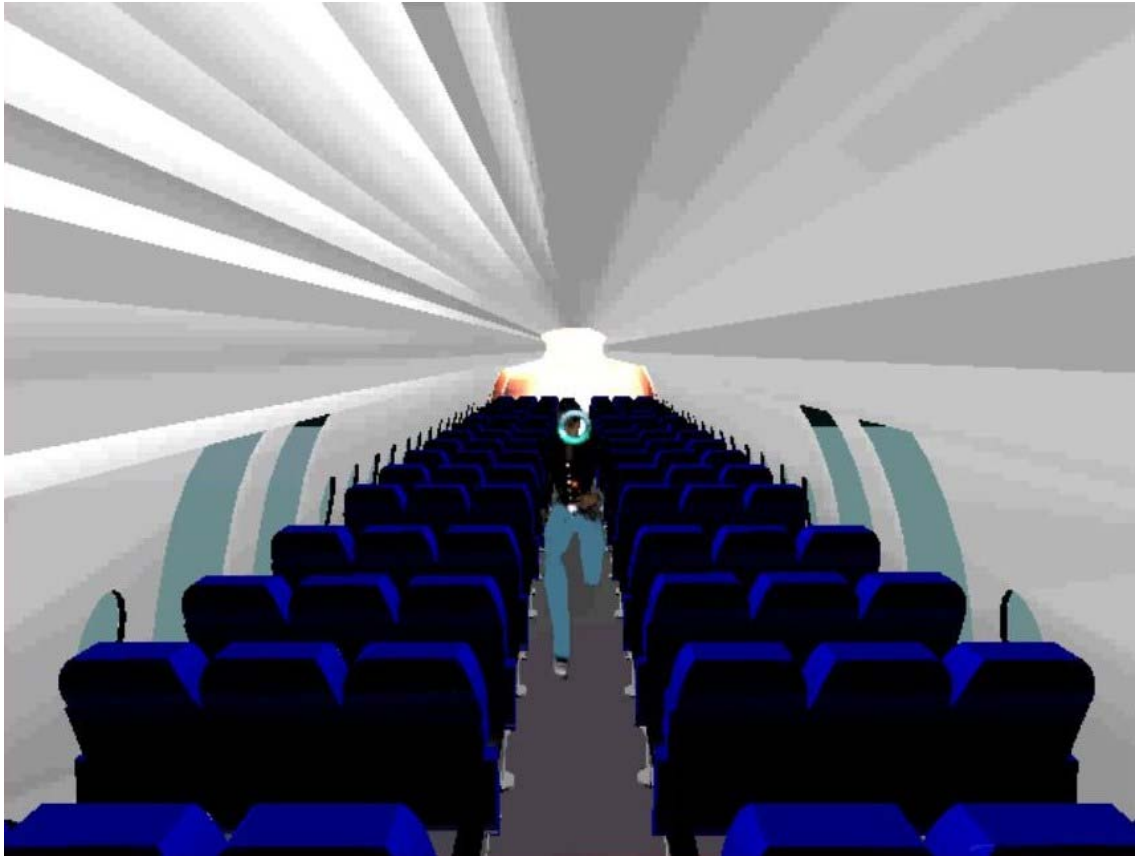


Figura 42 - terzo frame di un personaggio in movimento -

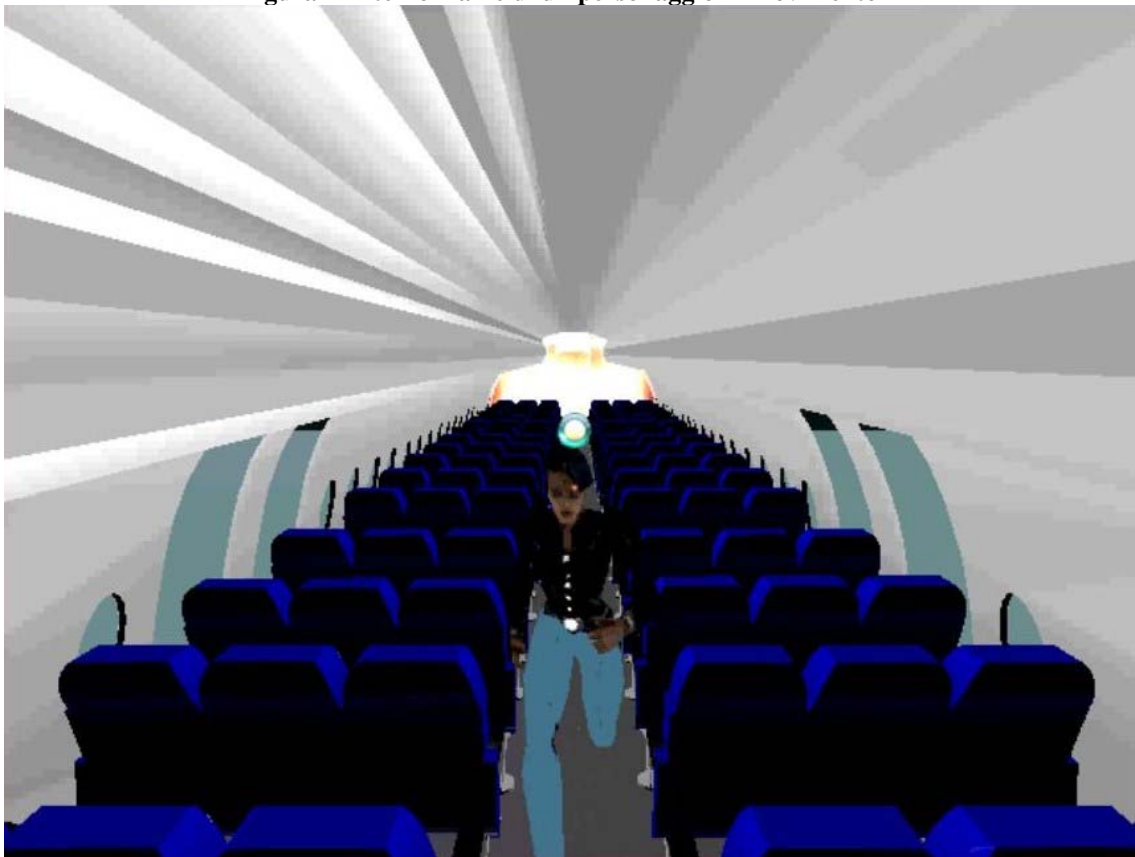


Figura 43 - quarto frame di un personaggio in movimento -

## Conclusioni

Lo scopo di questa tesi è lo sviluppo di un ambiente virtuale per la simulazione della evacuazione dei passeggeri dagli aeromobili da trasporto civili. In particolare, l'attenzione è stata rivolta alla rappresentazione grafica della simulazione, visto che molti modelli matematici sono già stati studiati ed introdotti per prevedere il movimento dei passeggeri. La visualizzazione realistica dell'evacuazione e la possibilità di impersonare un passeggero, permettono di utilizzare la simulazione non solo per calcolare i tempi necessari alla evacuazione, ma anche per aumentare "l'immersività" nella simulazione. Ciò si traduce nella possibilità di andare a visualizzare in modo molto verosimile le dinamiche della evacuazione, in dipendenza dalle azioni che si compiono. Il tema è stato svolto utilizzando come motore grafico un codice utilizzato per sviluppare videogiochi: Irrlicht, un motore grafico scritto in ambiente C++. Tale scelta si è rivelata vincente perché le funzioni già implementate hanno ridotto di moltissimo lo sviluppo di effetti come fuoco, collisioni, illuminazione, fumo, movimentazione dei personaggi.

Nella realizzazione di questa tesi inizialmente si è proceduto alla raccolta della documentazione concernente la normativa che regola le operazioni di evacuazione a terra e i regolamenti necessari per ottenere la certificazione di Tipo dei velivoli: questo è stato necessario per comprendere i requisiti che deve possedere un ambiente virtuale di simulazione realistico.

Lo sviluppo del lavoro di tesi è partito con la scelta di un caso di studio a cui applicare la situazione proposta dalla normativa. Si è quindi proceduto a modellare in un CAD la cabina passeggeri, a reperire in rete il modello geometrico dei personaggi da inserire all'interno della cabina e alla modifica dei personaggi in taluni casi. E' infatti possibile, a partire da un singolo modello di personaggio, modificare le textures e la posizione del corpo: in questo modo si riescono a creare personaggi diversi ed in differenti posizioni (es. seduto, in piedi, in fase di alzata dalla sedia, a carponi). Alla fine del lavoro è stato testato l'ambiente andando a verificare la possibilità di introdurre personaggi nella scena (ciascuno con la sua logica di movimento),

verificare la possibilità di impersonare un personaggio cui è associato il punto di vista e che viene comandato da mouse o da joystick, valutare come sono percepiti a livello grafico eventi come il fumo e il fuoco. Per rendere ancora più realistico il programma, sono state inserite le funzioni di collisioni tra mesh e conseguentemente la camera dell'osservatore in prima persona rimane ferma ed ha il movimento impedito se si trova bloccata dalla struttura della cabina, dalle seggiole, o da altri personaggi. L'ambiente è stato fatto testare a diverse persone per capire la percezione di un utilizzatore in termini di realismo e di coinvolgimento nella simulazione. I commenti degli sperimentatori hanno evidenziato come effetti di collisione, fuoco, personaggi in movimento rendono molto verosimile e coinvolgente l'ambiente. Un commento da parte di molti degli sperimentatori è stato che sicuramente la visualizzazione su ambienti tipo CAVE (Cave Automated Real Environment) o multi-schermo potrebbe aumentare di molto l'immersività: in questo caso infatti i personaggi virtuali assumerebbero dimensioni paragonabili a quelle reali. Sempre a detta di chi ha provato la simulazione, una grande varietà di personaggi con colori e forme diverse aiuta molto ad incrementare il realismo.

In conclusione, si può dire che gli obiettivi prefissi all'inizio del lavoro sono stati raggiunti. E' stato dimostrato che con Irrlicht è possibile modellare effetti come movimento dei passeggeri (dinamico e statico), fuoco, fumo. Si è verificato altresì che è possibile importare un modello geometrico di cabina verosimile in termini di dimensioni, disposizione dei sedili e delle uscite di sicurezza, e illuminazione (effetto notte e giorno). Con semplici operazioni grafiche è poi possibile modificare alcune tipologie di modelli 3D per andare ad ottenere una grande varietà di passeggeri. La modifica del punto di vista con movimento del mouse o di joystick permette un notevole controllo della scena; la presenza di strumenti di individuazione delle collisioni con cabina e con personaggi permette di simulare in prima persona dinamiche reali di movimento. A seguito dei test svolti si può dire che l'applicazione dei motori grafici sviluppati per videogiochi al problema della simulazione della evacuazione apre scenari molto interessanti; in particolare a livello di



immersività e di realismo, con questa strategia lo sperimentatore è in grado di interagire nella simulazione e non solo di visualizzarla passivamente.

## **Sviluppi futuri**

L'attività di sviluppo dell'ambiente di simulazione per l'evacuazione dei passeggeri presenta ampi margini di miglioramento e di sviluppo rispetto a quanto già svolto in questo lavoro di tesi. In particolare, si potrebbe sicuramente migliorare la resa grafica inserendo all'interno del programma personaggi animati che si alzano, camminano, arrivano alle uscite e scendono scale di sicurezza o scivoli. Attualmente infatti il punto di vista resta all'interno della cabina e non si vede cosa succede fuori dall'aereo: in questo modo, oltre alla visualizzazione di quanto accade nella cabina, si potrebbe simulare cosa accade ai passeggeri una volta superata l'uscita di emergenza. Un altro punto su cui lavorare è sicuramente l'audio: registrando e riproducendo suoni veri come ordini dati dall'equipaggio, urla o grida dei passeggeri, crepitio del fuoco si potrebbe coinvolgere in modo ancora più verosimile gli sperimentatori.

Infine sarebbe sicuramente molto interessante ricreare condizioni di emergenza differenti da quelle presentate, come scenari in cui si verifica la decompressione della cabina, l'ammarraggio, un cedimento strutturale, il collasso del carrello di atterraggio, il fuoco ad un motore sulle ali.

# Bibliografia

[Airbus] <http://www.airbus.com/>

[Beltrami, 2010] Tesi di laurea di Rita Beltrami, 26 gennaio 2010, Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, Università degli Studi di Parma:  
“Sviluppo di un sistema per la simulazione grafica di folle in movimento”

[Blender] <http://wiki.blender.org>

[Ceruti e Manzini, 2003] Ceruti, A., and Manzini, R., (2003) Aircraft evacuation dynamic model based on simulation tools. In *Proceedings of advanced simulation technologies conference 2003*.

[EASA] EASA “CS-25 BOOK 1” :<http://www.easa.europa.eu/>

[FAA] FAA “14 CFR” : <http://www.faa.gov>

[Galea, 2006] Galea, E.A. (2006) Proposed Methodology for the Use of Computer Simulation to Enhance Aircraft Evacuation Certification, *Journal of Aircraft* Vol. 43, No 5, September-October 2006, pp. 1405-1413.

[Irrlicht] <http://irrlicht.sourceforge.net/>

[Irrlicht forum] <http://www.irrlicht.it/>

[NTSB, 2000] National Transportation Safety Board SAFETY STUDY 7266 PB2000-917002 NTSB/SS-00/01 Emergency Evacuation of Commercial Airplanes, Washington, D.C. 20594. Available on line at: <http://www.nts.gov/publicatn/2000/SS0001.pdf>

[Rosiello, 2007] Tesi di laurea di Fedele Rosiello, A.A 2007/2008, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica, Università degli studi di Parma:  
“Un sistema per la simulazione di ambienti intelligenti con interazione gestuale basata su visione artificiale”

[Sharma ed altri, 2011] Sharna, S., Otunba, S., e Han, J. Crowd simulation in emergency aircraft evacuation using virtual reality, 16th International Conference on Computer Games (CGAMES), 27-30 July 2011.

[Trenholme and Smith, 2008] Trenholme, D., Smith, S.P., Computer game engines for developing first-person virtual Environments, *Virtual Reality* (2008) 12: pp181–187

[Wikipedia] <http://it.wikipedia.org/>

## **Ringraziamenti**

Un sentito ringraziamento va al mio relatore Dott. Ing. Alessandro Ceruti, che è sempre stato estremamente disponibile e gentile, aiutandomi e mettendomi in condizione di arrivare fino a qui.

Ringrazio il mio correlatore Dott. Ing. Tiziano Bombardi, che con estrema cortesia ha risolto i miei dubbi legati alla programmazione.

Infine ringrazio la mia Famiglia, Giulia, Virginia e tutti quelli che mi sono stati vicini in questo periodo di studi e che mi hanno sopportato (cosa non facile).