

**Progettazione object oriented
di un'interfaccia grafica JavaFX
per il simulatore Alchemist**

Tesi in Programmazione ad Oggetti

Relatore:
Prof. Mirko Viroli

Correlatore:
Prof. Danilo Pianini

Presentata da:
Niccolò Maltoni

Parole chiave

Simulazione

JavaFX

Interfaccia grafica

Sommario

Lo scopo di questa tesi è la progettazione e la successiva implementazione di un’interfaccia grafica 2D per il simulatore Alchemist. La nuova interfaccia permette di interagire con la simulazione a tempo di esecuzione e di vedere chiaramente rappresentate informazioni su di essa.

In particolare, è supportata una struttura modulare di effetti che rende facilmente osservabili determinate entità del sistema ed eventuali loro proprietà: rispetto alla classe di effetti dell’interfaccia classica, la nuova tipologia di effetti non è più una funzione dal singolo nodo alla rappresentazione grafica, bensì fa riferimento all’intero ambiente, permettendo di costruire rendering complessi facilmente esportabili tramite file JSON.

Si è scelto di mantenere un’interfaccia il più possibile *user-friendly*, mantenendo un design più simile ai simulatori a scopo videoludico per favorire l’utilizzo da parte di utenti inesperti. Lo stile estetico al quale si è deciso di allinearsi è il Material Design di Google e la libreria grafica utilizzata per l’implementazione è stata JavaFX.

Indice

Sommario	II
Introduzione	1
1 Background	3
1.1 Alchemist	3
1.1.1 Introduzione ad Alchemist	3
1.1.2 Astrazioni e modello di Alchemist	4
1.1.3 Interfaccia utente classica	6
Esperienza utente	7
Swing	8
Gli effetti	9
1.2 JavaFX	10
1.2.1 Introduzione al framework JavaFX	10
1.2.2 Architettura del framework JavaFX	11
1.2.3 Struttura di una Applicazione JavaFX	12
1.2.4 JavaFX e Swing a confronto	14
1.3 Interfaccia JavaFX per Alchemist: motivazioni	16
2 Contributo	18
2.1 Analisi dei requisiti	18
2.1.1 Requisiti funzionali	18
Rappresentazione dell'ambiente di simulazione	18
Gestione degli effetti	19
Serializzazione <i>Human-readable</i>	19
Effetti standard per nodi e collegamenti	19
Interazione con simulazione e ambiente rappresentato	19

Rappresentazione di ambienti con mappa	20
2.1.2 Requisiti non funzionali	21
JavaFX	21
Performance	21
Supporto Hi-DPI	21
2.2 Stato dell'arte	21
2.2.1 Simulatori a scopo videoludico	22
SimCity	22
Universe Sandbox	23
2.2.2 Material Design	24
2.3 Design dell'interfaccia	24
2.4 Progettazione	26
2.4.1 L'architettura degli effetti	26
I singoli effetti e l'interfaccia EffectFX	26
I gruppi di effetti e l'interfaccia EffectGroup	28
Caricamento, salvataggio e modifica di gruppi di effetti	28
2.4.2 La struttura dei drawer e le proprietà osservabili	29
2.4.3 Nodi grafici come monitor per la simulazione	29
2.4.4 Costruzione e avvio dell'interfaccia	30
2.5 Dettagli implementativi	30
2.5.1 La barra inferiore	30
2.5.2 Drawer, liste e celle	32
2.5.3 Librerie esterne utilizzate	32
ControlsFX	32
JFoenix	33
jIconFont	33
Google Gson	33
2.5.4 Strumenti utilizzati	33
Qualità del codice e controllo del software	33
Controllo di versione	34
Automazione dello sviluppo e integrazione continua	35
Ambiente di sviluppo integrato	35
2.6 Test e valutazione	36
2.6.1 Unit testing e valutazione del codice	36

2.6.2	Valutazione dell’interfaccia	36
3	Conclusioni	40
3.1	Risultati	40
3.2	Lavori futuri	41
A	Simulazione di prova	42
A.1	YAML della simulazione	42
A.2	JSON degli effetti	43
	Bibliografia	44

Introduzione

Il lavoro illustrato in questa tesi è volto alla progettazione e all'implementazione di una nuova interfaccia grafica 2D per il simulatore Alchemist che possa sostituire quella già esistente.

Alchemist è un meta-simulatore estendibile completamente *open-source* che esegue su *Java Virtual Machine* (JVM); nonostante tragga ispirazione dalla chimica stocastica, esso può essere utilizzato come framework di simulazione in differenti ambiti di ricerca a seconda dell'*incarnazione* utilizzata. La simulazione può essere lanciata ed eseguita sia da linea di comando (CLI, *Command Line Interface*), senza coinvolgere in alcun aspetto l'interfaccia grafica, sia attraverso una GUI (*graphical user interface*); in questo elaborato si tratterà unicamente di quest'ultima modalità.

Con “interfaccia grafica” [24] (detta anche “GUI”) si intende l’insieme dei componenti grafici attraverso i quali l’utente può interagire con il computer e, più nello specifico, con un determinato software che viene eseguito dalla macchina. La caratteristica di maggiore importanza per un’interfaccia grafica, come per ogni mezzo di interazione con un oggetto quotidiano [23], sta nel riuscire a offrire le proprie funzionalità nel modo più intuitivo possibile, ossia l’usabilità.

A partire dagli anni ‘80, con l’affermarsi degli studi di ergonomia cognitiva [18], diventano altrettanto rilevanti anche le caratteristiche estetiche e simboliche che il sistema software mette a disposizione, andando a definire quella che viene chiamata “esperienza utente” (o “UX”).

L’interfaccia classica di Alchemist non è in grado di offrire un’esperienza d’uso appagante e risulta poco *user-friendly*, in quanto è difficile per l’utente intuirne le modalità d’uso: nonostante Alchemist si presti ad essere utilizzato come framework di simulazione per ricerche in molti ambiti diversi (ad esempio, la chimica), l’interfaccia grafica è pensata per un utilizzatore avanzato, che predilige l’interazione da riga di comando e che, qualora dovesse necessitare della GUI, ne ha una conoscenza profonda e sa come richiamare rapidamente le

funzionalità desiderate. Questo causa una curva di apprendimento molto ripida, in quanto a primo impatto essa si presenta estremamente poco chiara e dunque poco utilizzabile; ciò sta portando il simulatore ad avere problemi nella diffusione per l'utilizzo in ambito scientifico per simulazioni a scopo di ricerca, poiché gli utenti che intendono utilizzare la GUI prediligono l'utilizzo di altri strumenti che offrono loro una maggiore semplicità.

Le difficoltà di utilizzo e l'aspetto grafico ormai datato hanno dunque portato alla necessità di progettare un'interfaccia grafica nuova: contributi recenti [5] hanno permesso un parziale rinnovamento limitato alla parte di ambiente integrato che accoglie l'utilizzatore che stia lanciando il simulatore senza una simulazione specificata e il lavoro illustrato in questa tesi mira a progettare una nuova interfaccia relativa all'ambiente di esecuzione della simulazione.

Durante la fase di progettazione si è deciso di ispirarsi alle GUI utilizzate da simulatori a scopo videoludico quali SimCity e Universe Sandbox, anziché allo stato dell'arte in ambito scientifico, poiché ritenuti maggiormente orientati all'immediatezza d'uso, requisito essenziale della fase di analisi. Esteticamente, lo stile grafico al quale si è deciso di allinearsi è il Material Design di Google.

La struttura degli effetti è stata completamente riprogettata: da un metodo per rendere graficamente proprietà dei singoli nodi, la nuova tipologia di effetti diventa una funzione dall'intero ambiente alla rappresentazione grafica, offrendo una maggiore libertà allo sviluppatore che volesse implementare rendering complessi per simulazioni specifiche.

La libreria grafica utilizzata per l'implementazione è stata JavaFX. La scelta è stata dettata dalle maggiori funzionalità messe a disposizione dal nuovo framework rispetto a Swing, che permettono di realizzare GUI nel contempo graficamente più leggere, esteticamente più moderne e progettualmente meglio incapsulate e modulari.

La seguente trattazione è strutturata su tre capitoli: nel Capitolo 1 viene introdotto il contesto nel quale il lavoro descritto nella tesi ha avuto luogo, introducendo il simulatore Alchemist, la sua interfaccia grafica classica e il framework JavaFX; nel Capitolo 2 si espone l'intero contributo fornito al progetto, analizzando singolarmente le fasi di analisi dei requisiti, design e progettazione e in ultimo implementazione della nuova interfaccia; infine, il Capitolo 3 analizza i risultati ottenuti, interpretandoli anche in ottica di miglioramenti futuri.

Capitolo 1

Background

1.1 Alchemist

Alchemist¹ [25] è un meta-simulatore estendibile completamente *open-source* che esegue su *Java Virtual Machine* (JVM), nato all'interno dell'Università di Bologna e distribuito su licenza GNU GPLv3+ con *linking exception*; il codice è reperibile su GitHub², dove chiunque fosse interessato può collaborare sviluppando nuove estensioni, migliorando funzionalità esistenti e risolvendo possibili bug.

1.1.1 Introduzione ad Alchemist

In generale, una *simulazione* [3] è una riproduzione del modo di operare di un sistema o un processo del mondo reale nel tempo. L'imitazione del processo del mondo reale è detta *modello*; esso risulta essere una riproduzione più o meno semplificata del mondo reale, che viene aggiornata ad ogni passo di esecuzione della simulazione.

Alchemist rientra nell'archetipo dei simulatori ad eventi discreti (DES) [2, 8]: gli eventi sono strettamente ordinati e vengono eseguiti uno alla volta, determinando il passare del tempo. L'idea dietro al progetto è quello di riuscire ad avere un framework di simulazione il più possibile generico, in grado di simulare sistemi di tipologia e complessità diverse, mantenendo le prestazioni dei simulatori non generici (come ad esempio quelli impiegati in ambito chimico [12]).

Per perseguire questo obiettivo, la progettazione dell'algoritmo è partita dallo studio del lavoro di Gillespie del 1977 [13] e di altri scienziati nell'ambito della simulazione chimica.

¹<http://alchemistsimulator.github.io>

²<https://github.com/AlchemistSimulator/Alchemist>

Nonostante siano presenti algoritmi in grado di eseguire un numero di reazioni addirittura in tempo costante, la scelta dell'algoritmo è infine ricaduta su una versione migliorata dell'algoritmo SSA di Gillespie, il Next Reaction Method [11] di Gibson e Bruck: ad ogni passo di simulazione, esso è in grado di selezionare la reazione successiva in tempo costante e richiede un tempo logaritmico per aggiornare le strutture dati interne al termine dell'esecuzione dell'evento.

1.1.2 Astrazioni e modello di Alchemist

Il modello di astrazione di Alchemist è ispirato dal lavoro della comunità scientifica nell'ambito dei simulatori a scopo di ricerca chimica e ne riprende dunque la nomenclatura. Le entità (visibili in Figura 1.2) su cui lavora sono le seguenti:

Molecola Una *Molecola* rappresenta il nome dato ad un particolare dato all'interno di un *Nodo*, del quale ne astrae parte dello stato.

Un parallelismo con la programmazione imperativa vedrebbe la *Molecola* come un'astrazione del nome di una variabile.

Concentrazione La *Concentrazione* di una *Molecola* è il valore associato alla proprietà rappresentata dalla *Molecola*.

Mantenendo il parallelismo con la programmazione imperativa, la *Concentrazione* rappresenterebbe il valore della variabile.

Nodo Il *Nodo* è un contenitore di *Molecole* e *Reazioni* che risiede all'interno di un *Ambiente* e che astrae una singola entità.

Ambiente L'*Ambiente* è l'astrazione che rappresenta lo spazio nella simulazione ed è l'entità che contiene i *Nodi*.

Esso è in grado di fornire informazioni in merito alla posizione dei *Nodi* nello spazio, alla distanza tra loro e al loro vicinato; optionalmente, l'*Ambiente* può offrire il supporto allo spostamento dei *Nodi*.

Regola di collegamento La *Regola di collegamento* è una funzione dello stato corrente dell'*Ambiente* che associa ad ogni *Nodo* un *Vicinato*.

Vicinato Un *Vicinato* è un'entità costituita da un *Nodo* detto “centro” e da un insieme di altri *Nodi* (i “vicini”).

L'astrazione dovrebbe avere un'accezione il più possibile generale e flessibile, in modo da poter modellare qualsiasi tipo di legame di vicinato, non solo spaziale.

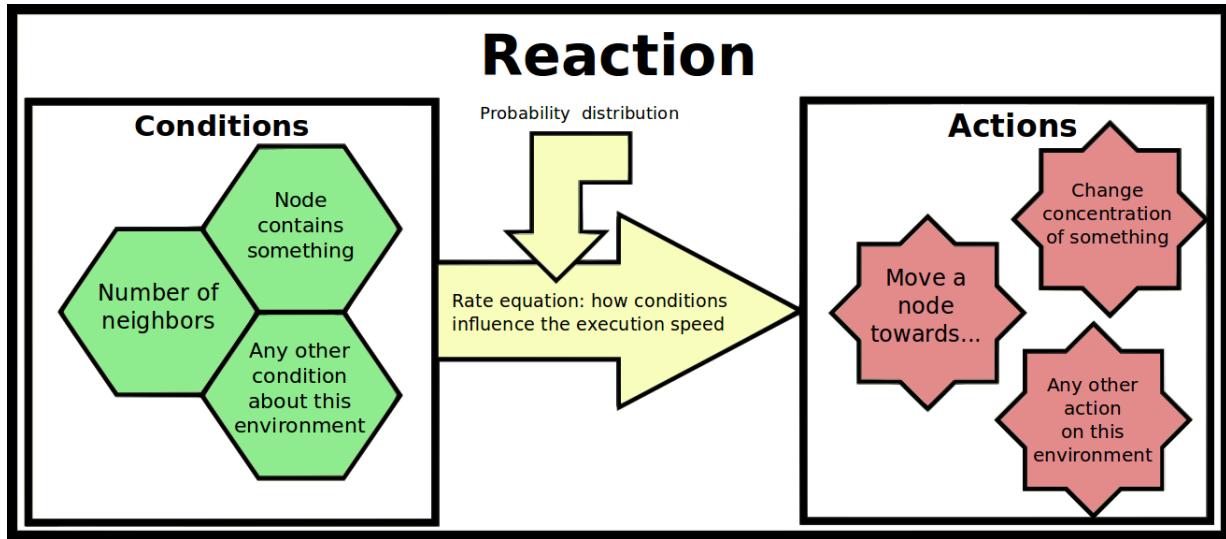


Figura 1.1: La figura, rivisitata da quella disponibile sul sito ufficiale, offre una rappresentazione grafica della *Reazione*.

Reazione Il concetto di *Reazione* è da considerarsi molto più elaborato di quello utilizzato in chimica: in questo caso, si può considerare come un insieme di *Condizioni* sullo stato del sistema, che qualora dovessero risultare vere innescherebbero l'esecuzione di un insieme di *Azioni*.

Una *Reazione* (di cui è si ha una rappresentazione grafica in Figura 1.1) è dunque un qualsiasi evento che può cambiare lo stato dell'*Ambiente* e si compone di un insieme di *Condizioni*, una o più *Azioni* e una distribuzione temporale.

La frequenza di accadimento può dipendere da:

- Un tasso statico;
- Il valore di ciascuna *Condizione*;
- Una equazione che combina il tasso statico e il valore delle *Condizioni*, restituendo un “tasso istantaneo”;
- Una distribuzione temporale.

Ogni *Nodo* è costituito da un insieme (anche vuoto) di *Reazioni*.

Condizione Una *Condizione* è una funzione che associa un valore numerico e un valore booleano allo stato corrente di un *Ambiente*.

Azione Un’*Azione* è una procedura che provoca una modifica allo stato dell’*Ambiente*.

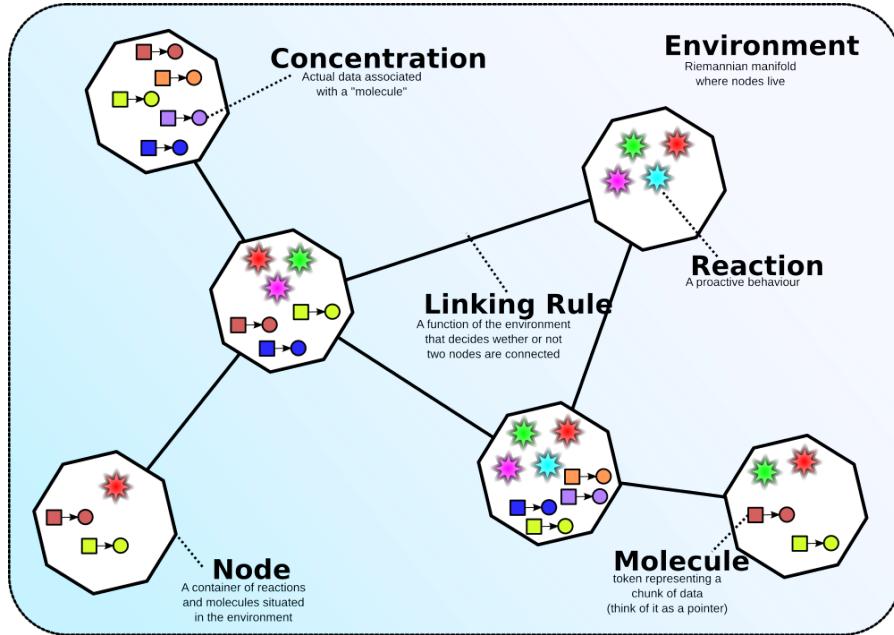


Figura 1.2: La figura, presa dal sito ufficiale, offre una rappresentazione grafica delle diverse entità. All’interno di un ambiente, che modella il sistema, si trovano i nodi connessi tra loro attraverso dei collegamenti; ogni nodo è composto da reazioni e molecole, ognuna delle quali ha associata una concentrazione.

1.1.3 Interfaccia utente classica

L’architettura di Alchemist è progettata con paradigma *Model-View-Controller* [17] (MVC), di conseguenza la suddivisione tra componente grafica (*View*) e il blocco “logico” composto da *Model* e *Controller* è netta. Questa distinzione è evidente anche per quanto riguarda l’utilizzo pratico del software: una simulazione su Alchemist può venire lanciata da terminale, senza che alcuna interfaccia grafica sia necessaria per tutta la durata del periodo di esecuzione, oppure essere inizializzata, lanciata e controllata in tempo reale dalla sua interfaccia grafica.

Per lo scopo di questa tesi, tratteremo esclusivamente della GUI.

Esperienza utente

Un’interfaccia grafica (detta anche GUI, *graphical user interface* [24]) è l’insieme dei componenti grafici con i quali l’utente può interagire per impartire comandi ad un programma del computer, che si contrappone ad un altro metodo di interazione, l’interfaccia a riga di comando (o CLI, *Command Line Interface*).

L’interfaccia grafica è stata ideata negli anni ‘80 a partire da un’esigenza di maggiore usabilità rispetto dalla riga di comando, derivante soprattutto dall’affermarsi degli studi di usabilità [23] e di ergonomia cognitiva [18] di quel periodo.

Più ampio e moderno è invece il concetto di esperienza utente [14] (spesso abbreviata in UX, *User eXperience*): l’ISO 9241-210 [15] la definisce come “le percezioni e le reazioni di un utente che derivano dall’uso o dall’aspettativa d’uso di un prodotto, sistema o servizio”. Di fatto, essa descrive la reazione dell’utente di fronte all’interazione con il programma o lo strumento in base a tre dimensioni:

- *Dimensione pragmatica*: funzionalità e usabilità del sistema;
- *Dimensione estetica/edonistica*: piacevolezza estetica, emotiva e ludica del sistema;
- *Dimensione simbolica*: attributi sociali, forza del brand, identificazione.

L’usabilità, invece, fa riferimento unicamente ai soli aspetti pragmatici (la capacità di svolgere un compito con efficienza ed efficacia).

L’interfaccia utente classica di Alchemist è caratterizzata da un’usabilità appena sufficiente, funzionale alle necessità di un utilizzatore esperto, ma non adeguata a fornire un’esperienza completa e *user-friendly* ad un utente “standard”.

Grazie a contributi recenti [5], la GUI ha subito un parziale rinnovamento, limitato alla parte di ambiente integrato che accoglie l’utilizzatore che stia lanciando il simulatore senza una simulazione specificata; questa parte non è oggetto del lavoro illustrato in questa tesi. Al contrario, è interessante analizzare lo stato dell’interfaccia relativa all’ambiente di esecuzione della simulazione.

La criticità principale, che va a minare non solo il livello di esperienza utente, ma anche il concetto di usabilità “classico”, è evidente nella non intuitività dei controlli: come è possibile vedere in Figura 1.3, non sono presenti bottoni di interazione per, ad esempio, avviare o fermare la simulazione o per cambiare la modalità di interazione con la zona in cui viene rappresentato l’ambiente; questo perché molte possibilità di controllo sono limitate a scorciatoie da tastiera non modificabili e non descritte altrove se non nella documentazione.

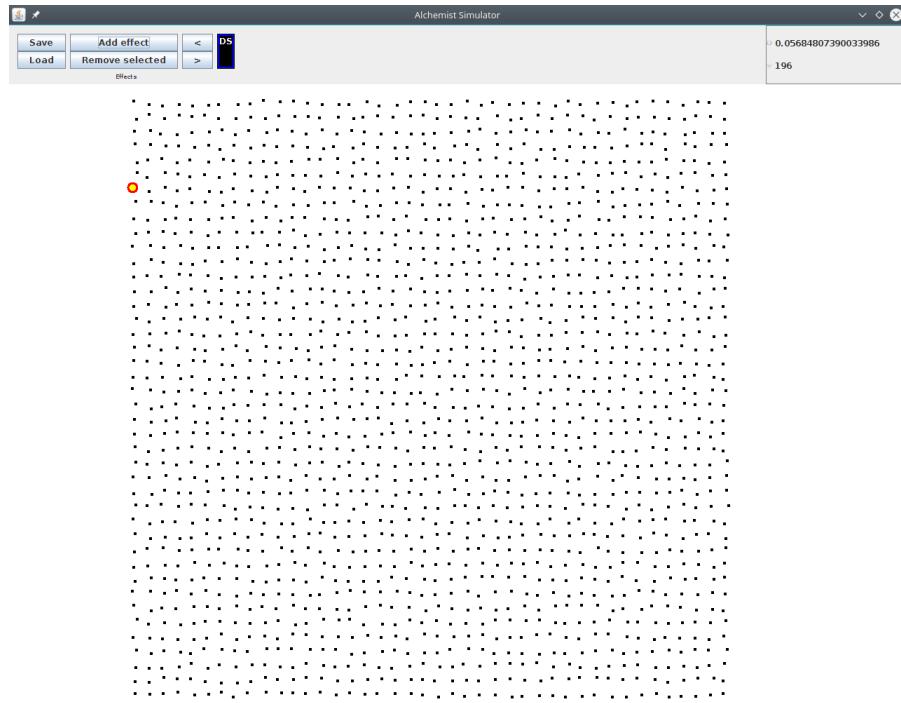


Figura 1.3: Vista principale di una simulazione con l’interfaccia classica

Un’ultima criticità che esula dal contesto pratico, ma che rientra appieno nel contesto estetico importante per una buona UX è, appunto l’aspetto grafico: l’intera interfaccia di simulazione è implementata sfruttando le impostazioni di base del framework Swing, senza alcun tipo di personalizzazione al *look’n’feel* che potesse identificare uno stile originale di Alchemist, né che lo allineasse alle direttive di un design grafico ben definito (come il Material Design³ di Google o Modern UI e Fluent Design System⁴ di Microsoft), né che si adattasse al *look’n’feel* standard del sistema operativo.

Swing

Come detto, Alchemist utilizza Swing come strumento per implementare l’interfaccia grafica. Java Swing è un framework per lo sviluppo di GUI in Java, parte delle *Java Foundation Classes* (JFC) insieme ad AWT (*Abstract Window Toolkit*) e Java 2D.

Come è possibile vedere in Figura 1.4, la libreria sfrutta i componenti forniti da AWT, mettendone a disposizione di nuovi in grado di risolvere diverse debolezze del precedente standard grafico per il linguaggio di Oracle:

³<https://material.io>

⁴<https://fluent.microsoft.com>

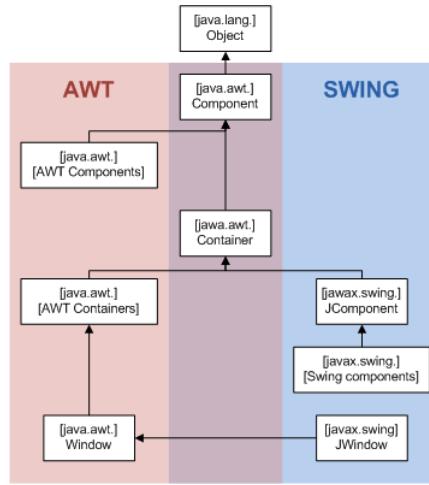


Figura 1.4: Struttura delle classi di Swing e AWT

- Swing è molto più facilmente estendibile e rende possibile un controllo della presentazione grafica dei componenti (il *look'n'feel*) trasparente, non necessitando più di classi specifiche per ogni aspetto grafico.
- I componenti forniti da Swing permettono inoltre di realizzare un’interfaccia più leggera di quella di AWT: essa sfrutta infatti le API fornite da Java 2D, anziché chiamare il *toolkit* di interfacce native del sistema operativo; nel contempo, appoggiandosi al container di AWT, sfrutta l’accesso al framework di gestione delle GUI fornito dall’OS, traducendo gli eventi specifici dell’OS in eventi Java disaccoppiati dalla piattaforma su cui gira la JVM, semplificando la gestione da parte dello sviluppatore.
- Swing rende più semplice appoggiarsi al pattern MVC per implementare software con GUI, separando le classi di modello da quelle grafiche e di controllo.

Gli effetti

Una parte consistente della visualizzazione di una simulazione di Alchemist, nell’interfaccia classica come in quella attuale, è costituita dagli effetti.

Concettualmente, in Alchemist un *effetto* è una rappresentazione grafica di “qualcosa” nell’ambiente; costituisce di fatto una modalità semplificata per l’utente di cogliere quanto accade nella simulazione.

L'effetto classico si presenta come una funzione dal nodo all'interfaccia grafica: esso è in grado di rappresentare qualsiasi proprietà di un nodo dato, ma non può riferirsi se non marginalmente alle altre entità dell'ambiente.

1.2 JavaFX

Nel mese di maggio del 2007 alla conferenza annuale JavaOne, Sun Microsystems annunciò JavaFX Script (chiamato anche F3, *Form Follows Function*), un DSL (*Domain Specific Language*, linguaggio di dominio specifico) pensato per lo sviluppo di interfacce grafiche di Rich Internet Applications [22], e JavaFX Mobile, un sistema software per dispositivi mobili basato su Java e ispirato allora neonato iPhone, che avrebbe avuto come cavallo di battaglia la possibilità di sviluppare app mobile in grado di condividere codice e asset grafici con le controparti desktop e web, semplificando lo sviluppo di ecosistemi strutturati.

Incluso nella versione 1.0 del pacchetto JavaFX rilasciato nel dicembre del 2008, JavaFX Script venne però abbandonato da Oracle (che nel frattempo aveva acquisito Sun Microsystems) meno di 2 anni dopo, in contemporanea con l'ampliamento della disponibilità delle JavaFX API agli altri linguaggi disponibili per JVM; anche JavaFX Mobile, con l'avvento di OS mobili moderni come Android e iOS, è considerato deprecato.

JavaFX continua invece lo sviluppo come framework per la gestione di interfacce grafiche per Java ed altri linguaggi JVM-compatibili, andando di fatto a sostituire Swing e AWT.

In questo capitolo si intende analizzare il framework e le sue funzionalità fino alla versione utilizzata nella stesura del codice, nonché l'ultima versione stabile all'atto di inizio del lavoro illustrato in questa tesi: JavaFX 8.

1.2.1 Introduzione al framework JavaFX

La prima versione di JavaFX ad abbandonare JavaFX Script e JavaFX Mobile, con i quali il framework era nato, per andare ad affiancarsi a Swing è la versione 2.0, distribuita parzialmente su licenza *open-source* verso la fine del 2011. Essa introduceva un nuovo linguaggio XML dichiarativo, l'FXML, in grado di fornire una struttura grafica all'applicazione coinvolgendo minimamente il codice Java, oltre a migliorare il supporto *multi-thread*. Con le successive versioni 2.1 e 2.2, rilasciate nell'arco del 2012, fu esteso il supporto a MacOS e Linux.

La prima versione ad essere parte del JRE/JDK è JavaFX 8, rilasciata il 18 marzo 2014 insieme a Java 8; essa diventa di fatto la nuova libreria di riferimento per lo sviluppo di applicazioni grafiche per ambiente JVM.

Essa si presenta come fortemente orientata verso i pattern di progettazione *Model-View-Controller* e *Model-View-Presenter*; la suddivisione infatti è netta:

- La *componente visiva* è definita su file di markup FXML, logicamente separati da qualsiasi componente Java che non siano le loro classi *Controller*; anche la *presentazione*, definibile attraverso fogli di stile CSS, è indipendente dalle altre componenti Java e XML e può essere anche sostituita a tempo di esecuzione senza difficoltà;
- Il *controllo* dell'applicazione è circoscritto a classi Java specifiche, che vengono associate al caricamento del documento di markup corrispondente; per design sono facilmente sostituibili da differenti implementazioni progettate per interagire con gli oggetti che il parser di JavaFX riconosce nel file FXML;
- In una implementazione che sfrutta appieno gli strumenti messi a disposizione del framework, per design il *modello* non viene coinvolto dalle suddette componenti e resta dunque distaccato dalle suddette componenti.

Oltre al già citato miglioramento per quanto riguarda il *look'n'feel* (che ora può vantare la semplificazione data dai fogli di stile CSS), un ulteriore flessibilità grafica è il supporto Hi-DPI, che permette alle GUI di adattarsi a schermi ad elevata densità di pixel.

1.2.2 Architettura del framework JavaFX

Come è possibile osservare in Figura 1.5, l'architettura interna di JavaFX è costituita da diversi livelli, ciascuno dei quali sfrutta le funzionalità messe a disposizione dai livelli inferiori per offrire nuove API ai livelli superiori e allo sviluppatore finale.

Il livello più elevato per la costruzione di una applicazione JavaFX è il grafo delle scene (*Scene Graph*): esso ospita un albero gerarchico di nodi, ciascuno dei quali rappresentante un elemento visivo dell'interfaccia utente. Questo livello si occupa anche di intercettare gli input e di mettere a disposizione le JavaFX API pubbliche.

Un singolo elemento del grafo delle scene è chiamato *nodo*. Ogni nodo possiede un ID, una classe di stile e un volume delimitato; fatta eccezione per il nodo radice, ogni nodo possiede un solo nodo genitore e può essere a sua volta genitore di uno o più altri nodi.

Su ogni nodo possono essere definiti effetti grafici (come blur e ombre) e livello di opacità, nonché stati specifici per l'applicazione e comportamenti in caso di eventi specifici.

Il livello subito inferiore allo *Scene Graph* è costituito dal *JavaFX Graphics System* (in Figura 1.5 è rappresentato dagli elementi in azzurro), che attraverso il *Quantum Toolkit* e *Prism* mette a disposizione funzionalità più a basso livello per rappresentazioni 2D e 3D.

I processi di *Prism* si occupano del rendering; possono eseguire sia con accelerazione hardware che senza e sono in grado di realizzare sia rendering 2D che 3D. Attraverso questi processi vengono eseguite le rasterizzazioni e i rendering di tutti i grafi delle scene.

Il *Quantum Toolkit* collega invece *Prism* al *Glass Windowing Toolkit* e gestisce le regole di threading per rendering e gestione degli eventi.

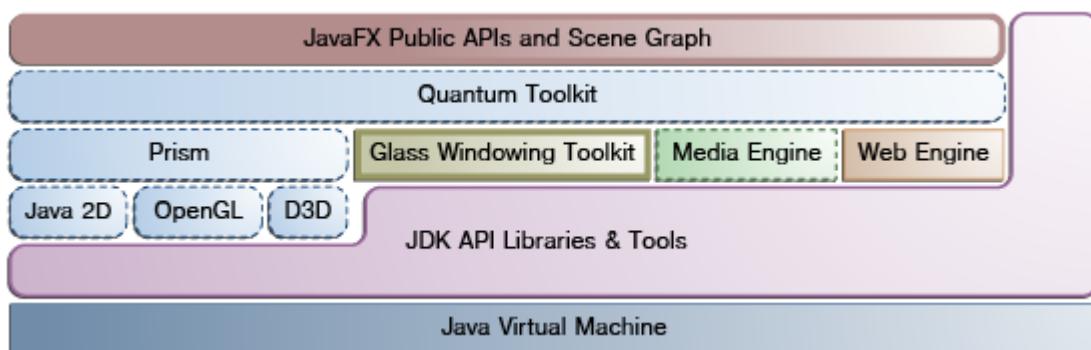


Figura 1.5: La figura, presa dalla documentazione ufficiale di Oracle⁶, rappresenta i diversi livelli che caratterizzano il framework JavaFX

Il terzo livello è costituito dal sopra citato *Glass Windowing Toolkit*, che rappresenta il livello più basso del *JavaFX graphics stack*. Esso si occupa di gestire i servizi nativi forniti dai sistemi operativi per la gestione delle finestre e delle code degli eventi; costituisce la parte *platform-dependent* di JavaFX.

Media Engine e *Web Engine* si occupano del supporto per i file multimediali audiovisivi e per i linguaggi web.

1.2.3 Struttura di una Applicazione JavaFX

JavaFX fornisce le classi di base per strutturare una applicazione completa, delimitando linee guida ben specifiche nella suddivisione della struttura.

La classe principale per una applicazione JavaFX deve estendere da `javafx.application.Application`. Il metodo `start()` è il punto di ingresso principale: lanciando una

⁶<https://docs.oracle.com/javase/8/javase-clienttechnologies.htm>

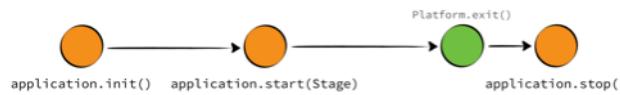


Figura 1.6: La figura rappresenta il ciclo di vita di una applicazione JavaFX

JavaFX Application attraverso il metodo `launch()` della classe di supporto `javafx.application.Platform`, verrà inizializzato il framework e poi verranno chiamati in ordine i metodi `init()` e `start(javafx.stage.Stage)`, che rappresentano di fatto il ciclo di inizializzazione ideale dell'applicazione. Il metodo `main()` non deve essere necessariamente implementato perché l'applicazione possa essere avviata: esso viene infatti creato dal *JavaFX Packager tool* durante l'inserimento del *JavaFX Launcher* nel file JAR.

Il layout con cui un'applicazione JavaFX è costituita a livello grafico si struttura gerarchicamente su tre sezioni principali, visibili in Figura 1.7:

Stage In JavaFX, una finestra è astratta tramite la classe `javafx.stage.Stage`: letteralmente “*palcoscenico*”, è il contenitore di livello più elevato e funge da “guscio esterno” per ogni altro componente grafico e pannello.

Lo **Stage** primario viene costruito dalla piattaforma all'atto di avvio, ma ulteriori **Stage** possono venire costruiti durante l'esecuzione, purché attraverso il *JavaFX Application Thread*.

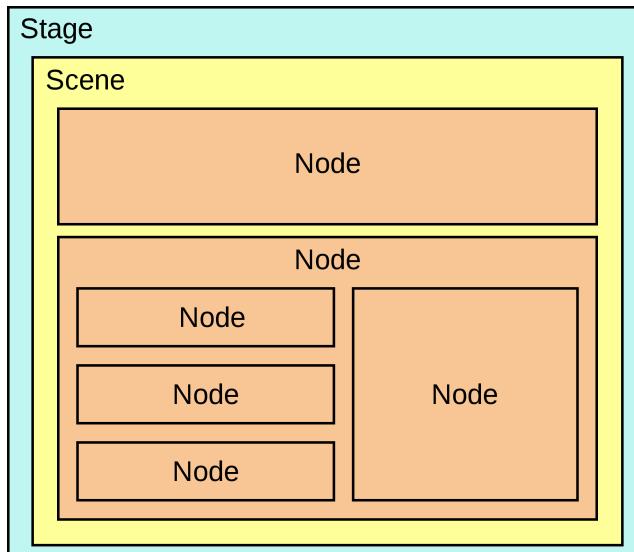


Figura 1.7: Struttura del layout di una applicazione JavaFX

Scene Il contenuto dello *Stage* è rappresentato dalla classe `javafx.scene.Scene`, che è a sua volta contenitore di ogni nodo appartenente a quello specifico *scene graph*.

Pane Come già affermato nella Sezione 1.2.1, ogni elemento appartenente ad una *scena* è detto *nodo*. Il terzo livello è costituito da un particolare tipo di nodo, detto *pannello* (modellato dalla classe `javafx.scene.layout.Pane`), che costituisce il contenuto di una scena e gestisce la disposizione dei nodi al suo interno sullo schermo; è possibile costruire una struttura gerarchica inserendo all'interno di un pannello radice altri pannelli.

Node La classe `javafx.scene.Node` modella ogni singolo componente dello *Scene Graph*, dai già citati pannelli ai bottoni, canvas, campi di testo e così via.

In Figura 1.8 è possibile vedere una rappresentazione gerarchica delle diverse tipologie di *nodo*.

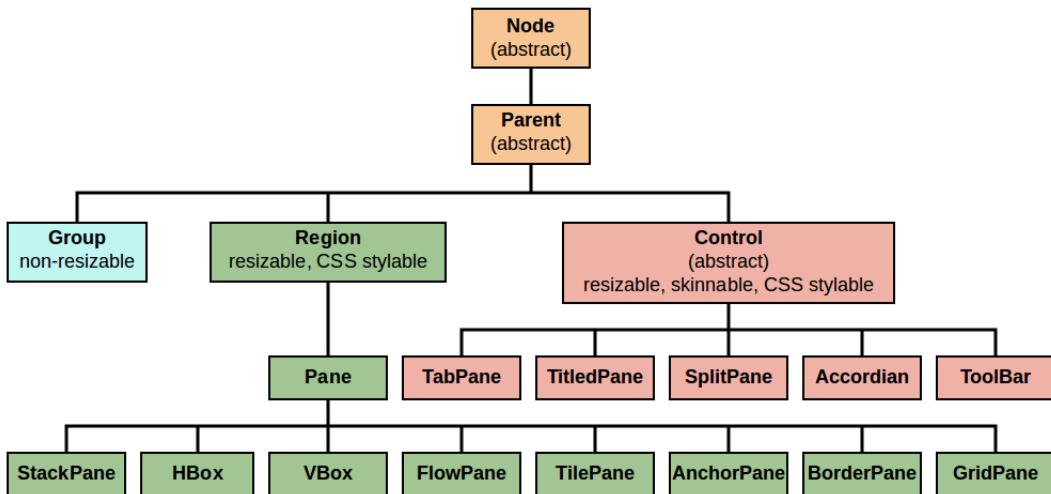


Figura 1.8: Struttura dei nodi di JavaFX

1.2.4 JavaFX e Swing a confronto

Nonostante sia presente un livello di interoperabilità fornito dalle classi `adapter JFX-Panel` e `SwingNode` del package `javafx.embed.swing` (Figura 1.9), come già sostenuto nella Sezione 1.2.1 lo sviluppo del framework JavaFX è orientato prima ad affiancare poi

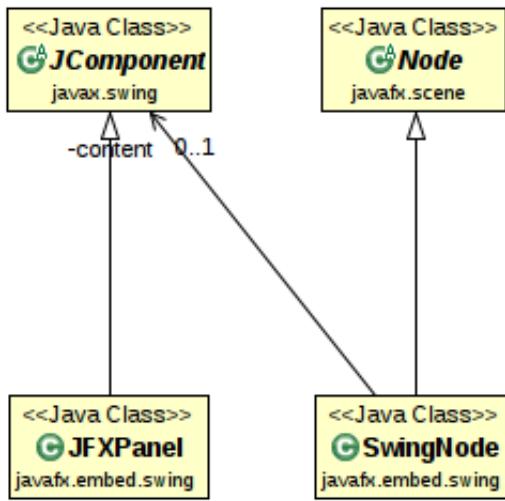


Figura 1.9: Diagramma delle classi *adapter* per *nodi JavaFX* e *componenti Swing*

a sostituire Swing e le *Java Foundation Classes* come ambiente grafico per applicazioni su *Java Virtual Machine*.

Escludendo il fatto di essere la libreria grafica non di terze parti più moderna per Java e il cosiddetto “*eye candy factor*”, JavaFX può vantare diversi vantaggi su Swing:

FXML L’utilizzo di un linguaggio di markup basato su XML per la definizione della componente di UI offre un approccio dichiarativo nel processo di costruzione che Swing non poteva offrire; inoltre, questo porta ad un incapsulamento della componente *View* dei pattern di progettazione MV* sostanzialmente “automatico”.

Da non sottovalutare è anche la presenza di un software ufficiale per il design dell’interfaccia in FXML: *Scene Builder*. Esso offre un’interfaccia *drag’n’drop* per l’aggiunta dei componenti grafici ed è integrato in tutti gli ambienti di sviluppo più utilizzati (Eclipse, IntelliJ IDEA, Netbeans). La versione più recente del software creato da Oracle è distribuito da Gluon⁷.

Skin e CSS Altro miglioramento in merito alla flessibilità riguarda il supporto ai fogli di stile CSS (*Cascading style sheet*): ampiamente utilizzati nello sviluppo web, essi permettono di sviluppare temi per una applicazione JavaFX senza coinvolgere il codice Java, a differenza dei *look’n’feel* di Swing, né i file FXML, incapsulando completamente la componente di presentazione.

⁷<http://gluonhq.com/products/scene-builder>

Supporto multimediale Grazie a JavaFX Media, la piattaforma supporta nativamente i più comuni formati audio (MP3, AIFF, WAV, AAC) e video (FLV con compressione VP6, MP4 con compressione H.264/AVC) senza richiedere l'utilizzo di librerie esterne. Il supporto è incluso anche nella *WebView*.

Animazione Rispetto a Swing, il supporto alle animazioni (sia per quanto riguarda il movimento di componenti grafiche che gli effetti di transizione) è stato notevolmente alleggerito; è stato inoltre introdotto il supporto alle alterazioni regolate dal tempo, precedentemente molto complesse da implementare a causa del paradigma di rappresentazione tramite doppio buffer di default.

Supporto HTML Completamente assente in Swing era la possibilità di rendering di contenuti HTML; con JavaFX è stato inserito il supporto completo a Javascript, HTML5 e CSS tramite motore di rendering WebKit (utilizzato da browser come Safari, Google Chrome e Opera) e nodi *WebView* dedicati.

Scaling e Hi-DPI Recentemente si sta verificando un progressivo innalzarsi delle densità degli schermi: sono sempre più comuni display 4K UltraHD anche di piccole dimensioni, che possono causare problemi di visualizzazione ad applicazioni con interfacce non progettate per una grande varianza di risoluzioni e densità di pixel. Infatti, l'utilizzo di valori assoluti per quanto riguarda la dimensione dei componenti grafici rende la GUI molto piccola e soprattutto quasi totalmente inutilizzabile dall'utente, a causa dell'elevato rapporto di pixel per unità di dimensione.

JavaFX 8 introduce il supporto a Hi-DPI, assente in Swing.

1.3 Interfaccia JavaFX per Alchemist: motivazioni

Come spiegato nella Sezione 1.1.3, l'esperienza utente dell'interfaccia utente classica di Alchemist è estremamente limitata. Miglioramenti recenti [5] sono stati apportati a parte dell'interfaccia, impiegando la libreria JavaFX per implementare un'esperienza d'uso più intuitivo, simile all'utilizzo di un IDE. Evidente era dunque la necessità di una nuova interfaccia grafica per l'ambiente di simulazione, che potesse avvicinare utilizzatori meno esperti in ambito informatico all'utilizzo dei Alchemist per impieghi scientifici nei loro campi di competenza.

Si è scelto dunque di effettuare la reimplementazione in JavaFX anche per questa parte per diversi motivi:

- Poiché l’alternativa valutabile era Swing, la prima motivazione è composta da tutte le nuove funzionalità elencate nella Sezione 1.2.4; in particolare, era importante il supporto ad uno scaling corretto dell’interfaccia su tutti gli schermi e una gestione delle animazioni più leggera che potesse impattare in modo inferiore le risorse della macchina e lasciare maggiore potenza computazionale al motore di simulazione.

Inoltre, è stato considerato interessante l’orientamento “intrinseco” che l’utilizzo di file FXML ha verso il pattern MVC, già utilizzato in Alchemist per il design della struttura dei moduli.

- Una seconda motivazione riguarda il supporto futuro: come illustrato precedentemente, JavaFX si presenta come il nuovo punto di riferimento per quanto riguarda l’implementazione di GUI per applicazioni JVM, dunque è stato considerato più conveniente abbandonare la soluzione *legacy* Swing per la più nuova alternativa.
- In ultimo, vi è una motivazione prettamente estetica: la maggiore flessibilità a livello di personalizzazione grafica che JavaFX è in grado di offrire ha permesso di adottare le direttive grafiche di design molto apprezzati come, in questo caso, il Material Design definito da Google.

Capitolo 2

Contributo

In questo capitolo verrà analizzato il contributo fornito al progetto, elencando i requisiti necessari e analizzando il processo di soddisfazione degli stessi.

L'obiettivo principale è quello di integrare una nuova interfaccia per la simulazione, al fine di semplificare l'adozione del simulatore da parte di utenti inesperti.

2.1 Analisi dei requisiti

Lo studio del lavoro illustrato in questa tesi ha inizio con l'analisi dei requisiti dell'interfaccia utente, ossia cosa l'applicazione deve mostrare a schermo.

Questa sezione si occuperà di enunciare i requisiti funzionali e non funzionali individuati.

2.1.1 Requisiti funzionali

I requisiti funzionali descrivono il comportamento che il sistema deve avere: descrivono le funzionalità del sistema software, in termini di servizi che il sistema software deve fornire, di come il sistema software reagisce a specifici tipi di input e di come si comporta in situazioni particolari.

Rappresentazione dell'ambiente di simulazione

Essendo la componente grafica da reimplementare quella legata alla simulazione in esecuzione, requisito fondamentale è che la GUI possa rappresentare l'ambiente con le maggiori possibilità di dettaglio possibile.

Di conseguenza, deve essere presente uno spazio disegnabile in cui si possa avere una rappresentazione grafica di quanto accade, ma anche contatori che mostrino l'avanzamento della simulazione in termini di tempo (secondi) trascorso e passaggi (*step*) effettuati.

Gestione degli effetti

La nuova interfaccia deve rendere possibile all'utente di poter aggiungere nuovi effetti allo *stack* di rappresentazione e modificarne le proprietà a tempo di esecuzione.

Inoltre, attraverso la GUI l'utente deve poter salvare la pila di effetti presente in quel momento e caricarla in un secondo momento, mantenendo tutte le proprietà definite manualmente.

Infine, deve essere possibile nascondere singoli effetti o gruppi di essi senza rimuoverli dallo *stack*.

Serializzazione *Human-readable*

In riferimento al punto precedente, deve essere possibile serializzare gli effetti in formato testo, in modo tale che file compatibili possano essere creati e/o modificati manualmente in modo semplice, senza coinvolgere necessariamente l'interfaccia di Alchemist.

Effetti standard per nodi e collegamenti

Devono essere implementati effetti adibiti alla rappresentazione dei singoli nodi come punti e dei collegamenti tra i nodi di un vicinato.

Questi effetti dovranno essere caricati automaticamente al lancio dell'applicazione, salvo diversamente specificato.

Interazione con simulazione e ambiente rappresentato

L'interfaccia deve mettere a disposizione dell'utente la capacità di interagire con la simulazione, potendo fermarla e riavviarla, interagire con i nodi e spostarsi tra essi. Deve essere possibile effettuare pan e zoom sull'ambiente rappresentato.

Le possibilità di interazione non devono essere vincolate al puntatore del mouse, ma devono essere supportate anche le scorciatoie da tastiera.

Rappresentazione di ambienti con mappa

Deve essere fornito il supporto alle mappe come sfondo degli ambienti nella rappresentazione di simulazioni che coinvolgano questo aspetto.

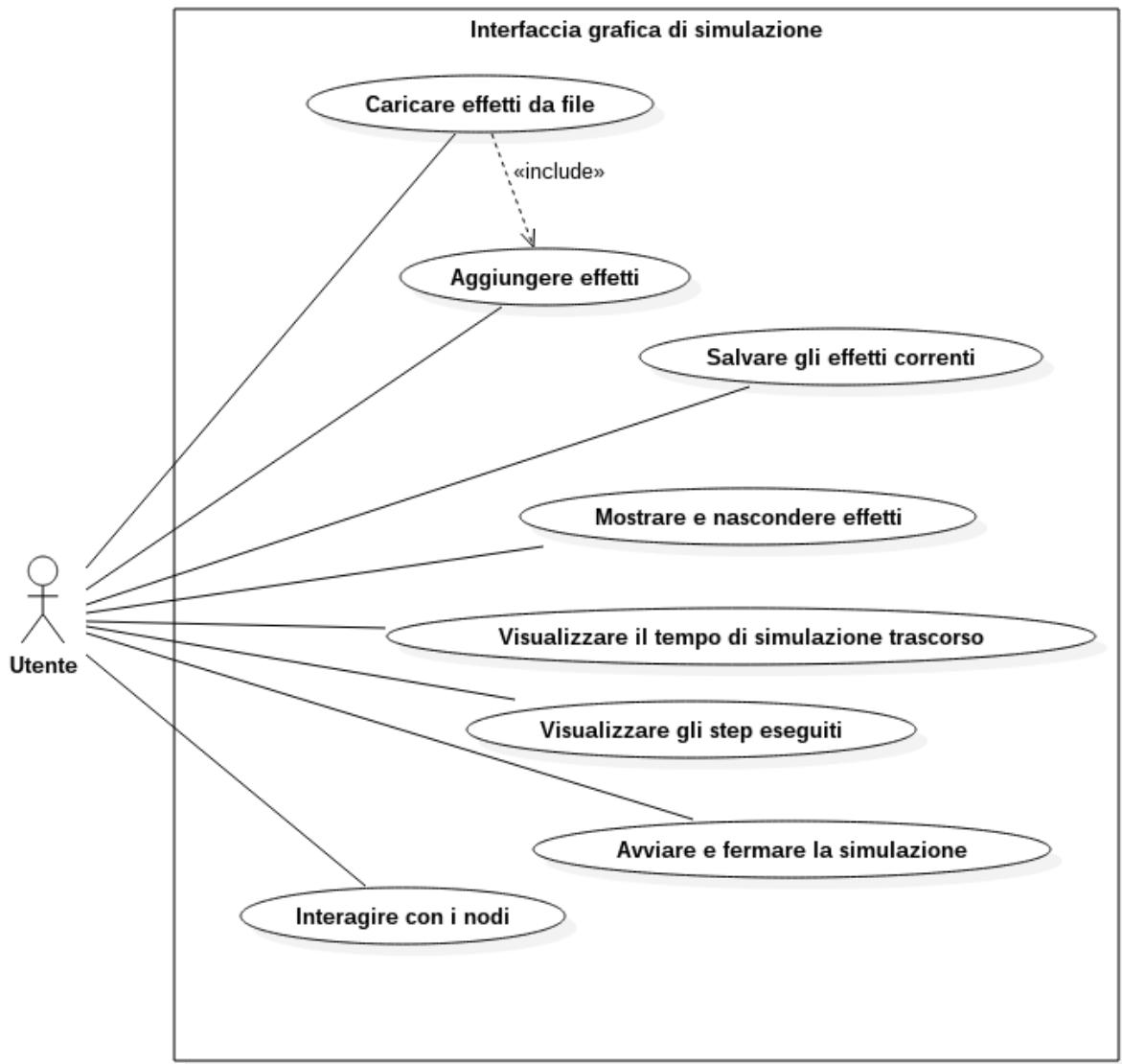


Figura 2.1: Il diagramma UML rappresenta i casi d'uso principali dell'interfaccia

2.1.2 Requisiti non funzionali

I requisiti non funzionali descrivono le proprietà non comportamentali che il sistema deve possedere, come efficienza, affidabilità, sicurezza, performance, ma anche caratteristiche del processo di sviluppo e caratteristiche esterne.

JavaFX

Come specificato nella Sezione 1.3, il processo di sviluppo deve coinvolgere la libreria JavaFX come framework per la costruzione dell'interfaccia.

Performance

L'interfaccia grafica deve quanto più possibile non gravare sulle prestazioni del motore di simulazione; in particolare, poiché JavaFX non è nativamente *thread-safe*, è necessario gestire la concorrenza in modo oculato.

Supporto Hi-DPI

L'interfaccia non deve perdere di usabilità e qualità di rappresentazione su alcun tipo di schermo, indipendentemente dalla risoluzione e dalla densità di pixel. Per fare questo si devono quindi utilizzare quanto più possibile grandezze relative e sfruttare al meglio in tal senso le funzionalità offerte da JavaFX.

2.2 Stato dell'arte

Una volta chiariti i requisiti dell'interfaccia, il passo successivo riguarda la progettazione dell'interfaccia.

Per poter disegnare dei mockup da utilizzare come bozzetti, sono state fatte ricerche in merito alle interfacce grafiche utilizzate da altri simulatori che costituivano lo stato dell'arte per quanto riguarda i software di simulazione, anche e soprattutto a scopo non strettamente scientifico.

Infine, si è scelto tra i design moderni più comuni e apprezzati quale adottare al fine di ottenere un aspetto grafico a cui l'utente medio fosse già abituato e che potesse fornire un'esperienza di utilizzo più gradevole.

2.2.1 Simulatori a scopo videoludico

Come già segnalato nelle sezioni precedenti, è importante che l'interfaccia grafica si presenti semplice e immediata anche per l'utente non avanzato. Di conseguenza, si è scelto di analizzare con più attenzione le GUI di simulatori sviluppati a scopo prettamente videoludico, in quanto più orientati all'immediatezza d'uso rispetto ai simulatori di concezione scientifica.

Tra i videogiochi di simulazione più famosi, è stato interessante analizzare SimCity, il quale all'epoca del lancio fu molto apprezzato [9] appunto per il gameplay e l'interfaccia piuttosto innovativi, e i giochi della serie Universe Sandbox del team Giant Army.

SimCity

La celebre serie di videogiochi di simulazione SimCity, ideata da Will Wright¹ tra gli anni '80 e gli anni '90 ispirandosi ai risultati della ricerca contenuta nel saggio di architettura *A pattern language* [1], è sviluppata da Maxis e distribuita da Electronics Arts ed è tutt'ora considerata una delle più innovative per quanto riguarda la storia dei videogiochi di simulazione.



Figura 2.2: Interfaccia grafica di SimCity (2013), sviluppato da Maxis e distribuito da EA

¹Intervista per la rivista Wired, 1994: <https://www.wired.com/1994/01/wright>

Universe Sandbox

Altra serie di videogiochi simulativi analizzata è Universe Sandbox. Dopo oltre 15 anni di sviluppo², il primo capitolo è stato rilasciato dallo sviluppatore e artista Dan Dixon nel 2008. Il responso positivo lo ha portato a continuare lo sviluppo, tanto da fondare la compagnia Giant Army³, che ha rilasciato nel 2015 la seconda iterazione della saga, Universe Sandbox 2.

Per il design dell'interfaccia, è stato proprio il secondo capitolo a fungere da maggior fonte d'ispirazione. Essa va a riprendere la classica interfaccia utilizzata da videogiochi simulativi come il già citato SimCity, ma andando a rimuovere buona parte degli ornamenti grafici tipici delle GUI a scopo videoludico, andando a preferire uno stile molto più pulito e semplificato; il sistema di interazione a sviluppo verticale e a popup (Figura 2.2) viene sostituito con uno sviluppo orizzontale di pannelli (definito *Modello multi-paned* [6]) che vanno a raccogliere tutte le impostazioni e i parametri (Figura 2.3).

La simulazione viene rappresentata sullo sfondo, come in SimCity, ma con effetti di trasparenza non presenti nel gioco di EA.

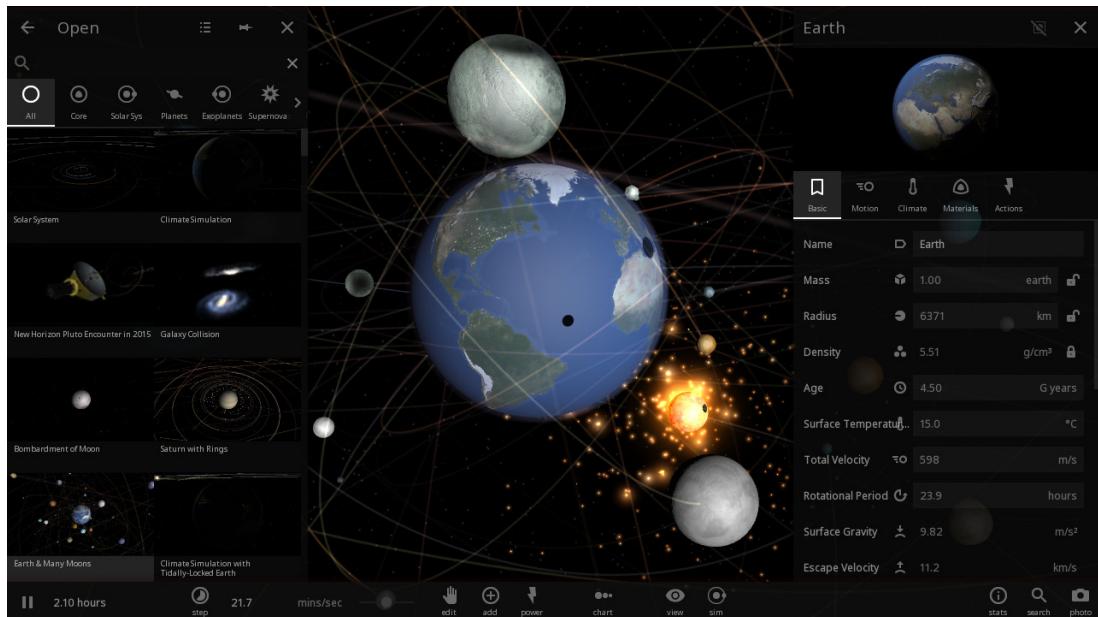


Figura 2.3: Rappresentazione dell'interfaccia di Universe Sandbox 2 (2015), sviluppato e distribuito da Giant Army

²Analisi di Alex Cox per il blog TechCrunch, 2008: <http://www.techradar.com/news/software/computing/how-one-man-created-his-own-universe-470870>

³attualmente composta da Dan Dixon, Christian Herold, Georg Steinröhder, Thomas Grønneløv, Eric Hilton, Naomi Goldenson e Chad Jenkins

2.2.2 Material Design

Uno dei maggiori motivi che hanno portato l'interfaccia grafica di Alchemist a necessitare di un rinnovamento è stata l'intenzione di semplificarla all'occhio dell'utente non esperto, fornendo un'esperienza completa e gradevole. Era dunque necessario scegliere uno stile grafico familiare, moderno e facilmente adattabile a quella che sarebbe essere la nuova interfaccia che si stava progettando.

Prendendo come base l'interfaccia di Universe Sandbox 2 illustrata nella Sezione 2.2.1, è possibile notare che il design di base sia estremamente “*flat*”; si è deciso di valutare i possibili design a cui adeguare la UX che si aveva intenzione di progettare.

La scelta è infine ricaduta sul Material Design sviluppato da Google: dal suo annuncio nel giugno del 2014 al Google I/O 2014 Keynote esso è stato almeno parzialmente adottato in molte applicazioni web, mobile e desktop e ben si presta all'implementazione di un'interfaccia semplice e minimale.

Si è deciso di utilizzare le icone⁴ e le direttive in merito a dimensioni e palette di colore⁵ fornite da Google.

2.3 Design dell'interfaccia

Una volta chiariti i requisiti e le possibili fonti di ispirazione per la struttura della GUI da realizzare, sono stati disegnati dei mockup che potessero rappresentare una linea guida per l'implementazione concreta dell'interfaccia.

Come è possibile vedere dalla Figura 2.4, si è scelto di adottare un'interfaccia composta da uno spazio disegnabile centrale, al quale viene sovrapposta nella parte inferiore una barra contenente dei controlli che permettono un'interazione semplice e diretta con le funzionalità di base:

Play/Pausa Partendo da destra, è presente un bottone che permette di avviare e mettere in pausa la simulazione.

Esso funge anche da indicatore per lo stato attuale della simulazione: qualora essa venga avviata o fermata da terminale o tramite una scorciatoia da tastiera, l'icona rappresentata sul bottone viene aggiornata per adeguarsi al nuovo stato.

⁴<https://material.io/icons/>

⁵<https://material.io/color/>

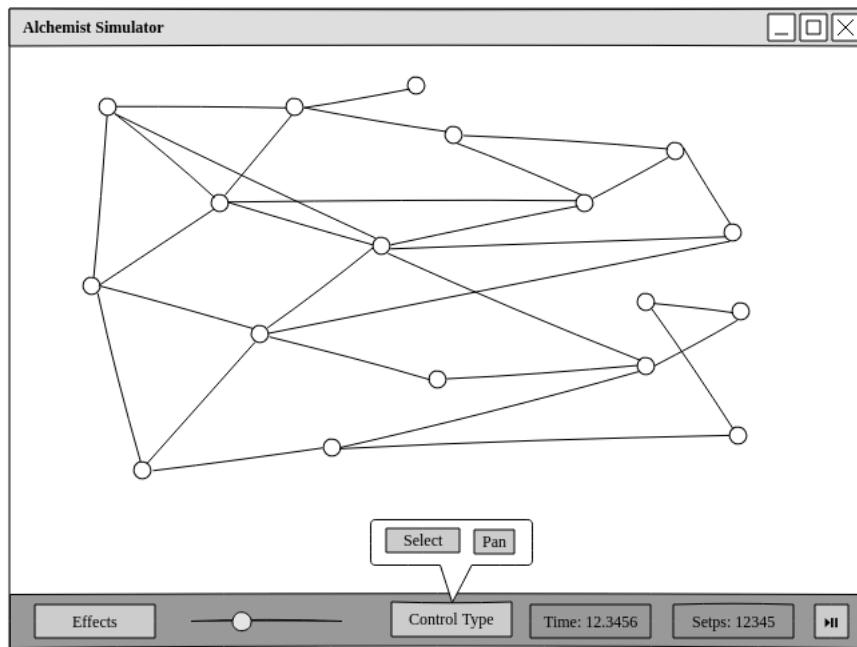


Figura 2.4: Mockup dell'interfaccia principale

Avanzamento in termini di tempo e step Continuando verso sinistra, si trovano spazi dedicati al numero di secondi di simulazione rappresentati e di step effettuati; essi vengono aggiornati durante tutto l'avanzamento del motore di simulazione.

Gestione del sistema di controllo Poiché l'interazione tramite mouse deve permettere sia di spostarsi nell'ambiente che selezionare i nodi e interagirvi, è presente un bottone che apre un pannello che permette di scegliere tra spostamento (*pan*) e selezione.

Gestione della velocità Una barra a scorrimento permette di regolare la velocità di rappresentazione della simulazione.

Gestione degli effetti Un bottone sul lato sinistro della barra permette di aprire un pannello sul medesimo lato della finestra per poter controllare gli effetti con i quali rappresentare cosa sta avvenendo nella simulazione.

Nella Figura 2.5 è possibile osservare i diversi livelli del drawer laterale degli effetti.

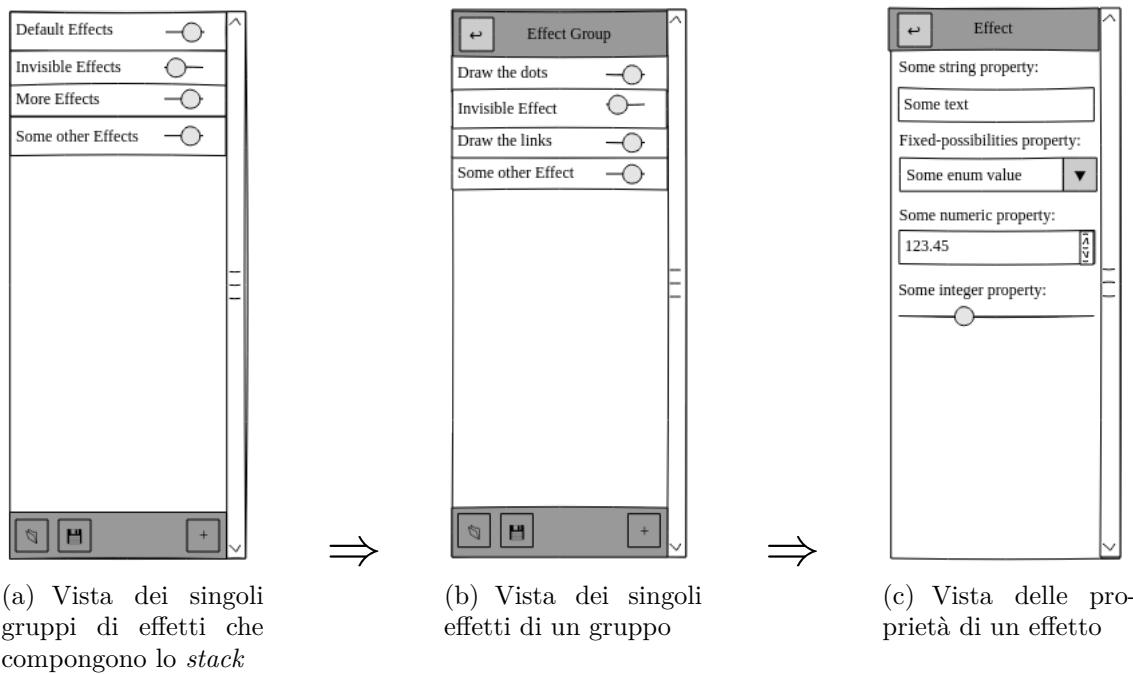


Figura 2.5: Mockup del pannello laterale degli effetti nei diversi livelli

2.4 Progettazione

Terminata la realizzazione dei mockup, il passo successivo riguardava la progettazione della struttura del sistema software. Durante la progettazione, in molti casi ci si è serviti di pattern di progettazione specifici, secondo quanto definito dalla cosiddetta *Gang of Four*⁶ nel loro celebre saggio [10] del 1995.

2.4.1 L'architettura degli effetti

I singoli effetti e l'interfaccia `EffectFX`

La componente architettonica più complessa da progettare probabilmente è costituita dagli effetti. Infatti, concettualmente il nuovo archetipo di effetti (di cui è possibile vedere l'UML in Figura 2.6) rappresenta un oggetto completamente diverso:

- esso non si relaziona più con il singolo nodo, del quale può considerare le proprietà, bensì con l'intero ambiente; in questo modo, l'effetto agisce in blocco su un

⁶John Vlissides, Richard Helm, Ralph Johnson, Erich Gamma

determinato tipo di entità allo stesso modo, garantendo una migliore uniformità di applicazione.

- esso ha un *nome* che lo identifica dalle altre istanze della medesima classe; questo permette all’utente di identificarlo con più semplicità e gestirlo in modo più naturale, soprattutto nel caso si trovi a gestire, attraverso l’interfaccia grafica, una moltitudine di effetti.
- esso possiede un campo di *visibilità* individuale, che permette di nasconderlo temporaneamente, aumentando le possibilità di rappresentazione anche per blocchi di effetti predefiniti.
- le proprietà peculiari di ciascun effetto sono pensate per implementare il pattern *Observer* [20], permettendo di effettuare collegamenti con l’interfaccia in modo trasparente ed ottimizzato, in quanto gestito completamente dal framework di JavaFX.
- infine, l’effetto viene serializzato in formato *human-readable*, il quale facilita la creazione e la modifica anche al di fuori dell’interfaccia di Alchemist.

Si è scelto di utilizzare il formato JSON⁷ (*JavaScript Object Notation* [7]), un formato di testo per la serializzazione dei dati strutturati, basato sugli oggetti JavaScript, che risulta essere facile da leggere e scrivere per le persone e facile da generare e analizzarne la sintassi per le macchine; è un formato di testo indipendente dal linguaggio di programmazione, ma utilizza convenzioni riconosciute dalla maggior parte dei programmati di linguaggi.

Come rappresentato graficamente nel diagramma UML in Figura 2.6, un effetto viene concretizzato secondo il pattern *Template Method* [21]: la struttura di funzionamento di base viene parzialmente definita da una classe astratta che implementa il metodo principale dell’interfaccia effetto, `computeDrawCommands()`, come metodo template, il quale chiama i due metodi astratti `getData()` e `consumeData()` per adempiere al proprio compito. La suddivisione permette a ciascun effetto concreto di separare le procedure che coinvolgono l’interrogazione del modello da quelle che portano alla costruzione della coda di comandi per effettuare la rappresentazione grafica.

⁷<https://www.json.org/index.html>

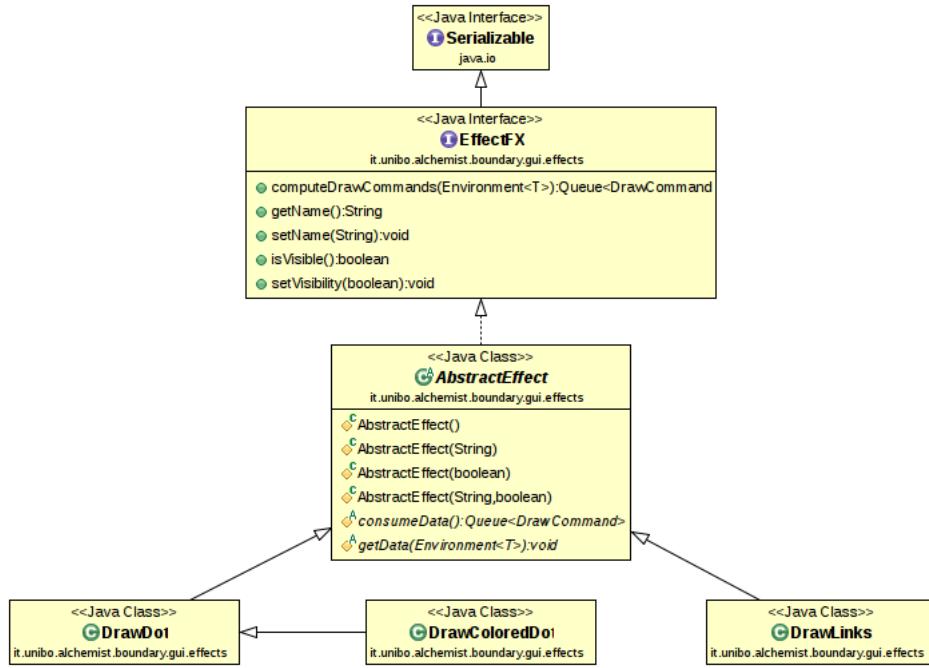


Figura 2.6: Diagramma UML delle classi che modellano la nuova struttura di effetti

I gruppi di effetti e l’interfaccia `EffectGroup`

L’esigenza di permettere all’utente di poter realizzare rappresentazioni complesse con numerosi effetti ha portato alla definizione di una classe collezione specifica:

- la classe, secondo il contratto classico definito dall’interfaccia `Collection` di Java, è pensata per essere iterabile [19] e per permettere l’applicazione in blocco degli effetti che la compongono;
- anche il gruppo di effetti è definito da un nome che lo distingue dagli altri, permettendo all’utente di distinguerli in modo più immediato;
- altra proprietà che accomuna la collezione con gli oggetti che è stata pensata per contenere è la visibilità: essa permette di mostrare e nascondere in blocco tutti i suoi effetti senza andare a modificare la visibilità di ciascuno degli effetti; l’interfaccia consente comunque di agire anche singolarmente sulla visibilità dei singoli nodi.

Caricamento, salvataggio e modifica di gruppi di effetti

Come detto a pagina 27, il salvataggio e il caricamento degli effetti avvengono tramite file JSON. Si è deciso di modellare una *stateless utility class* che si comportasse da inter-

mediario con la libreria utilizzata per la serializzazione, comportandosi secondo il pattern strutturale di tipo *Facade* [10]. È possibile vedere la rappresentazione UML in Figura 2.7.

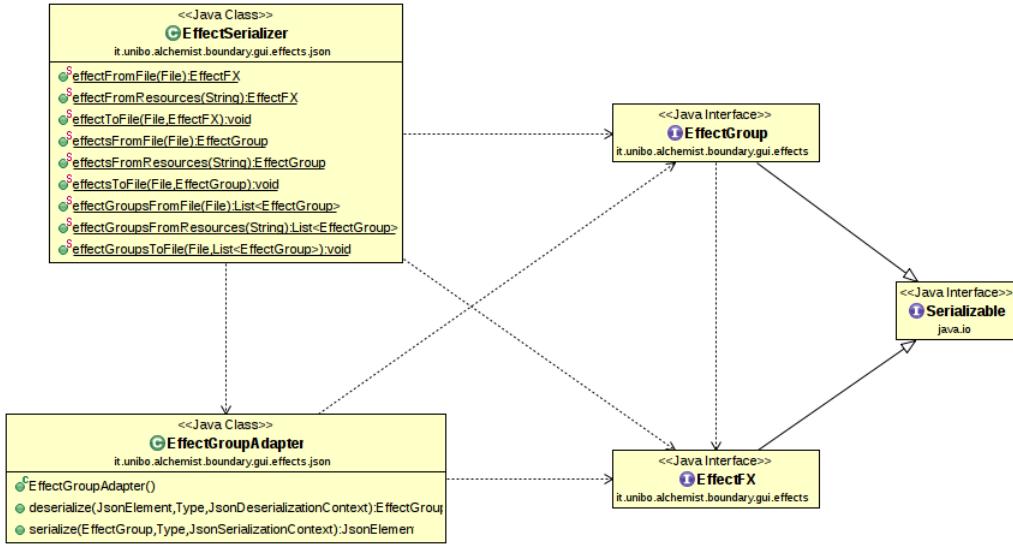


Figura 2.7: Diagramma UML delle classi che modellano la logica di serializzazione degli effetti tramite *Facade stateless*

2.4.2 La struttura dei drawer e le proprietà osservabili

Una volta realizzato il mockup illustrato nella Sezione 2.3, l'attenzione si è spostata su progettarne la struttura a livello software. Trascurando i dettagli implementativi prettamente legati all'implementazione grafica, di cui si parla nella Sezione 2.5, è stato importante progettare la gestione degli eventi di modifica di proprietà di effetti e gruppi. Come detto nella Sezione 2.4.1, si è deciso di fare ampio uso del pattern *Observer*, ciascun effetto è progettato per implementare proprietà osservabili, che possono implementare ascoltatori di eventi dedicati in modo semplice, potendosi avvalere delle API messe a disposizione dal framework JavaFX.

2.4.3 Nodi grafici come monitor per la simulazione

Il canvas in cui vengono rappresentati gli effetti, il bottone che controlla l'avvio della simulazione e le etichette che mostrano il progresso della simulazione in termini di tempo e step sono indubbiamente nodi grafici; in fase di progettazione, si è scelto però di modellarli anche come monitor per il motore della simulazione, sfruttando ancora una volta il pattern

Observer per mettere in ascolto gli elementi della GUI legati alla simulazione stessa al fine di ricevere comunicazione di doversi aggiornare ad ogni step eseguito che li riguardi.

2.4.4 Costruzione e avvio dell’interfaccia

L’interfaccia classica gestiva l’avvio della GUI per la simulazione in tempo reale, costruendo l’interfaccia con componenti Swing specifici assemblati in base ai parametri richiesti.

La nuova interfaccia grafica è progettata conservando l’impiego di pattern *Builder*, presentando un oggetto adibito all’interpretazione dei parametri e alla semplificazione del processo di costruzione. Si differenzia però per l’assenza di frammentazione della struttura: essa è modellata come un’unica applicazione JavaFX con un layout predefinito e il builder si occupa di modificare il comportamento e il tipo di canvas per adattarlo alla simulazione, oltre a caricare gli effetti e la simulazione stessa, ma non influenza l’aspetto della UI.

2.5 Dettagli implementativi

2.5.1 La barra inferiore

La barra inferiore (Figura 2.8) è stata trasposta quasi perfettamente dal mockup al codice: si è utilizzato la classe `javafx.scene.control.ButtonBar` per modellare il layout della barra, mentre sono state impiegate le classi `JFXButton` e `JFXSlider` fornite nel package `com.jfoenix.controls` della libreria JFoenix per modellare i controlli mantenendoli sul prescelto stile del Material Design di Google. Il popup per la modifica del sistema di controllo è stato realizzato tramite la classe `org.controlsfx.control.PopOver` presente nella libreria ControlsFX.



Figura 2.8: La barra inferiore concretamente realizzata

Gli effetti di colore e i valori di dimensione in unità di misura dinamica sono stati implementati con diverse specifiche inserite nel foglio di stile CSS, inline nel documento FXML e attraverso i suddetti componenti.



Figura 2.9: Vista del drawer laterale degli effetti nei diversi livelli

2.5.2 Drawer, liste e celle

L'impiego dei drawer, elemento tipico del Material Design, è stato possibile, ancora una volta, grazie alle classi `JFXDrawer` e `JFXDrawersStack` forniti da JFoenix.

La struttura di un drawer è costituita dagli elementi seguenti:

- una opzionale barra superiore, che va a rappresentare il nome dell'elemento di cui si va a modificare il contenuto (ed è dunque assente nella vista di tutti i gruppi di effetti caricati);
- una barra inferiore, che fornisce possibili interazioni:
 - tornare al drawer precedente nello stack; questa funzionalità è presente su ogni livello tranne il primo.
 - aggiungere nuovi effetti o gruppi di effetti, andando a cercare tramite *reflection* quelli presenti all'interno del classpath; questa funzionalità è assente nel drawer che mostra le proprietà di uno specifico effetto.
 - salvare e caricare gruppi di effetti da file; questa funzionalità è disponibile solo nel primo drawer.
- la parte centrale del drawer, che può essere costituita da una `ListView` di `EffectFX` o di `EffectGroup`, o da una rappresentazione delle proprietà dell'effetto costruita a tempo di esecuzione sfruttando la *reflection* per identificare quale nodo di controllo utilizzare.

Nel caso della lista, le celle sono state personalizzate per poter essere riordinate tramite *drag'n'drop* e per permettere la modifica della visibilità tramite un `JFXToggleButton`.

2.5.3 Librerie esterne utilizzate

Per realizzare questa interfaccia grafica è stato necessario utilizzare delle librerie esterne che forniscono ulteriori funzionalità. Le librerie esterne utilizzate sono le seguenti.

ControlsFX

Controlsfx⁸ è una libreria *open-source* per JavaFX, fornita da FX Experience e sponsorizzata da Gluon, che mette a disposizione controlli per interfacce di alta qualità e altri

⁸<http://fxexperience.com/controlsfx>

strumenti complementari a quelli distribuiti con JavaFX. È stata sviluppata per JavaFX 8 e successivi.

È stata utilizzata per alcuni nodi ed elementi di layout.

JFoenix

JFoenix⁹ è una libreria *open-source* per JavaFX che implementa il Google Material Design utilizzando i componenti Java.

È stata impiegata per implementare per buona parte dei componenti della GUI in quanto già configurata per integrarsi in una UI Material.

jIconFont

jIconFont¹⁰ fornisce API per rendere disponibili icone generate tramite i più comuni font di icone, quali *Elusive*, *Entypo*, *Font Awesome*, *Google Material Design Icons*, *Open Iconic* e *Typicons*; è disponibile sia per Swing che per JavaFX.

È stata usata nella sua versione per JavaFX con le icone del pacchetto *Google Material Design Icons* per evitare di utilizzare numerosi file immagine e mantenere una perfetta scalabilità grafica anche a risoluzioni elevate.

Google Gson

Gson¹¹ è una libreria Java *open-source* sviluppata da Google adibita a convertire gli oggetti Java nella loro rappresentazione JSON e a convertire una stringa JSON nell'equivalente oggetto Java.

È stata sfruttata per implementare la lettura e la scrittura del file JSON di salvataggio dei gruppi di effetti.

2.5.4 Strumenti utilizzati

Qualità del codice e controllo del software

Date le dimensioni di Alchemist, è necessario fare uso di strumenti che controllino la qualità del codice e diano la possibilità di testarlo in modo immediato.

⁹<http://www.jfoenix.com>

¹⁰<https://jiconfont.github.io>

¹¹<https://github.com/google/gson>

Gli strumenti di qualità del codice permettono di revisionare il codice in modo sistematico, così da evitare errori che a volte possono verificarsi, senza bisogno che il programma venga realmente eseguito: essi analizzano il codice sorgente per individuare potenziali bug o codice duplicato e per indicare i possibili miglioramenti e ottimizzazioni.

Il progetto Alchemist utilizza i seguenti strumenti:

FindBugs¹² è un analizzatore di codice statico *open-source* che rileva possibili bug all'interno del codice Java realizzato da Bill Pugh e David Hovemeyer e marchio registrato dall'Università del Maryland.

Classifica i potenziali errori in categorie, per dare un'idea migliore allo sviluppatore di quale potrebbe essere il loro impatto sul software; opera direttamente sul bytecode di Java.

Checkstyle¹³ è un analizzatore di codice statico *open-source* per diversi linguaggi di programmazione che verifica che il codice scritto aderisca a un determinato stile di codifica.

Esso effettua un controllo sulla presentazione e non sul contenuto, dunque non permette di assicurare la correttezza e la completezza del software.

PMD¹⁴ è uno strumento di analisi del codice sorgente statico per Java e altri linguaggi che prevede un set di regole, personalizzabile dallo sviluppatore, per definire quando una parte di esso è errata.

Generalmente, gli errori segnalati riguardano scelte implementative subottimali e imperfezioni nel codice, che non inficiano direttamente il funzionamento del programma ma per la maggior parte il livello del sorgente.

Componente importante è il *Copy/Paste Detector* (CPD) che utilizza l'algoritmo di Rabin–Karp per la ricerca delle stringhe [16], che permette di identificare codice duplicato con elevata precisione.

Controllo di versione

Il controllo di versione utilizzato per Alchemist è affidato al DVCS (*Distributed Version Control System*) Git, utilizzato con flusso di lavoro di tipo *Git flow*.

¹²<http://findbugs.sourceforge.net>

¹³<http://checkstyle.sourceforge.net>

¹⁴<https://pmd.github.io>

Automazione dello sviluppo e integrazione continua

Alchemist si avvale di Gradle per il processo di *build automation* e di Travis CI per la fase di test in *continuous integration* dopo l'aggiunta del codice al repository ufficiale su GitHub.

Gradle¹⁵ è un sistema per l'automazione dello sviluppo, nato per includere tutte le caratteristiche provenienti da Apache Ant, Maven e Ivy attraverso la definizione di *buildscript* in Groovy. Pensato per i linguaggi che compilano per JVM, questo sistema permette di avere una gestione controllata delle dipendenze (*dependency management*), le quali vengono scaricate dai vari repository Maven durante la fase di compilazione.

Travis CI¹⁶ è un sistema di integrazione continua distribuito, utilizzato per la compilazione e il test di progetti caricati su repository GitHub; è gratuito per progetti *open-source*.

Il comportamento è definibile attraverso un file YAML; Alchemist richiede di effettuare una procedura di *building* completa con Gradle ad ogni commit su repository.

Ambiente di sviluppo integrato

Un IDE (*Integrated Development Environment*), o ambiente di sviluppo integrato, è un software che aiuta i programmatore nello sviluppo del codice sorgente di un programma, mettendo a disposizione una serie di strumenti che permettono scrittura, compilazione o interpretazione, debug e analisi del codice da un unico ambiente, appunto, integrato.

Durante lo sviluppo è stato utilizzato inizialmente Eclipse¹⁷ in versioni *Neon.3* e *Oxygen.1*, con l'integrazione dei plugin *Gradle Buildship*, *Xtext IDE*, *Scala IDE*, *e(fx)clipse*, *FindBugs*, *Checkstyle* e *PMD*.

Successivamente è stato utilizzato anche JetBrains IntelliJ IDEA¹⁸ in versione *Community 2017.2.6*, con l'integrazione dei plugin per il supporto a Scala e Xtend.

In congiunzione ai due IDE per lo sviluppo del codice Java è stato utilizzato anche Gluon Scene Builder¹⁹ per una prima definizione dei file FXML di layout.

¹⁵<https://gradle.org>

¹⁶<https://travis-ci.org>

¹⁷<https://eclipse.org>

¹⁸<https://www.jetbrains.com/idea>

¹⁹<https://gluonhq.com/products/scene-builder>

2.6 Test e valutazione

2.6.1 Unit testing e valutazione del codice

Durante lo sviluppo del codice si è prestata particolare attenzione alla qualità dello stesso: come detto Sezione 2.5.4, sono stati utilizzati strumenti di analisi statica del codice (quali *Checkstyle*, *PMD* e *FindBugs*) che potessero garantire una buona attinenza alle convenzioni e una riduzione delle possibilità di bug.

Per garantire il corretto funzionamento delle componenti più cruciali non strettamente collegate a elementi di interazione grafica, sono state create classi dedicate allo *unit testing* attraverso la libreria JUnit²⁰, nella sua versione 4.12.

In particolare, è stato testato a fondo il comportamento delle classi relative agli effetti, alla loro serializzazione e alle proprietà osservabili e serializzabili implementate: i risultati forniti dallo strumento di analisi della *coverage* messo a disposizione da IntelliJ IDEA per i package `it.unibo.alchemist.boundary.gui.effects` e `it.unibo.alchemist.boundary.gui.view.properties`, ad esclusione delle classi precedenti annotate come deprecated, sono visibili in Figura 2.10.

Overall Coverage Summary			
Package	Class, %	Method, %	Line, %
all classes	96,2% (25/ 26)	66% (163/ 247)	60% (566/ 943)
Coverage Breakdown			
Package ▲	Class, %	Method, %	Line, %
<code>it.unibo.alchemist.boundary.gui.effects</code>	83,3% (5/ 6)	57,7% (64/ 111)	47,1% (197/ 418)
<code>it.unibo.alchemist.boundary.gui.effects.json</code>	100% (8/ 8)	90,6% (29/ 32)	92,5% (98/ 106)
<code>it.unibo.alchemist.boundary.gui.view.properties</code>	100% (12/ 12)	67,3% (70/ 104)	64,7% (271/ 419)

Figura 2.10: Coverage per le classi relative agli effetti, alla loro serializzazione e alle proprietà osservabili e serializzabili implementate

2.6.2 Valutazione dell’interfaccia

L’interfaccia grafica risulta essere, per le funzionalità implementate, conforme ai requisiti concordati nella fase di analisi:

- L’ambiente di simulazione è stato rinnovato ed è in grado di renderizzare correttamente gli effetti applicati per una simulazione. Inoltre, l’utente è in grado di visualizzare

²⁰<http://junit.org>

in tempo reale l'avanzamento della simulazione in termini di tempo e step tramite contatori dedicati.

- La gestione degli effetti, accuratamente testata come specificato nella Sezione precedente, risulta immediata all'utilizzo, con bottoni dedicati al salvataggio e al caricamento dei file JSON (Figura 2.9(a), barra inferiore) che aprono l'interfaccia fornita dal *file manager* del sistema operativo per la scelta del file.

È possibile modificare l'ordine di effetti e gruppi di effetti nella pila con un semplice *drag'n'drop* (Figura 2.11).

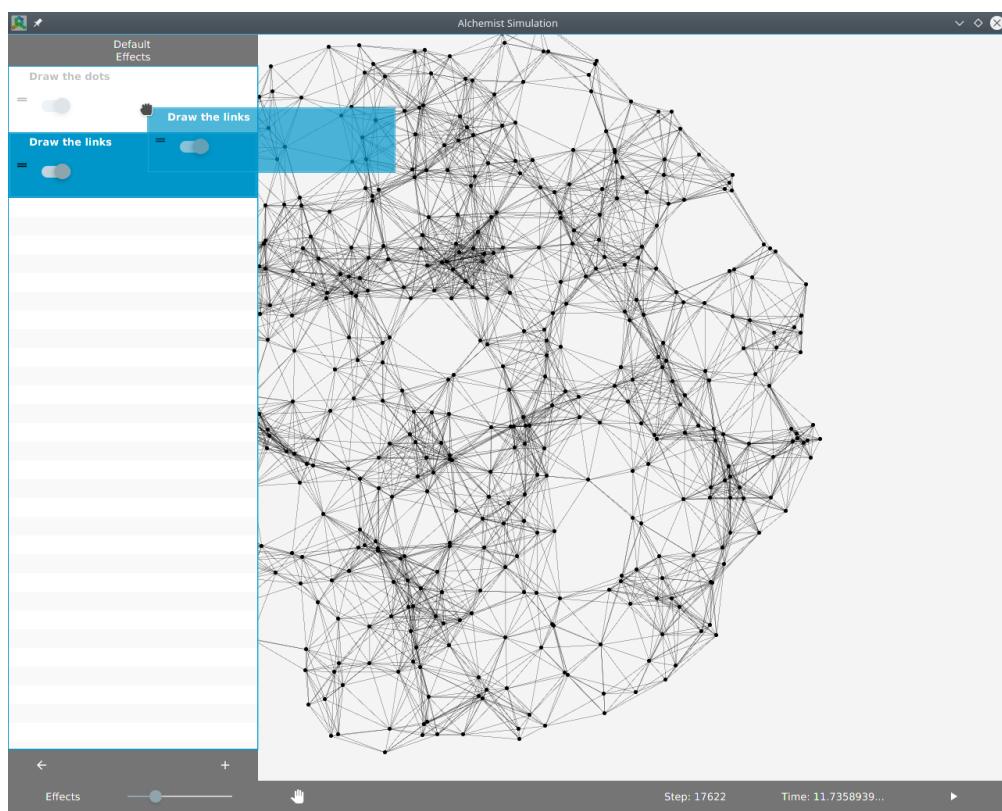


Figura 2.11: Gestione *drag'n'drop* degli effetti

- Sono stati realizzati effetti standard per la rappresentazione di nodi e collegamenti, che possono essere utilizzati da altri sviluppatori come punto di partenza per realizzare rappresentazioni più complesse e flessibili (Figura 2.12).
- L'aumento di carico sulle risorse dovuto alla presenza di un'interfaccia grafica da renderizzare è pienamente accettabile: in particolare, una simulazione di test (YAML

ed Effetti utilizzati in Appendici A.1 e A.2) nell’incarnazione *protelis* con 500 nodi disposti in cerchio, connessi tra loro se sufficientemente vicini e che si muovono di moto browniano, con gli effetti standard è in grado di eseguire mediamente 1 step ogni 1,29ms circa.

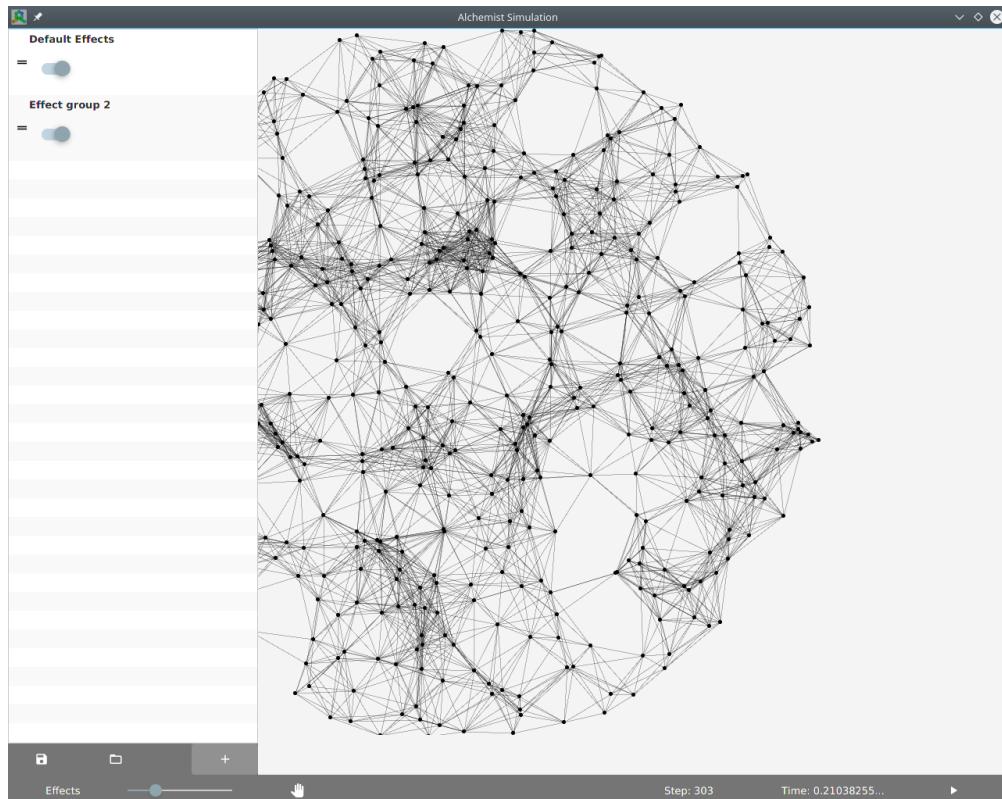


Figura 2.12: Il drawer laterale aperto mostra i gruppi di effetti

- L’interfaccia non utilizza valori di misura assoluti e scala perfettamente su diversi tipi di risoluzione e densità di pixel.
- Le possibilità di interazione con l’ambiente di simulazione tramite mouse e tastiera sono presenti, ma limitate: è possibile controllarne il flusso di esecuzione sia tramite la pressione del tasto “play/pausa” che attraverso una scorciatoia da tastiera ed è possibile effettuare uno zoom nell’ambiente rappresentato tramite scroll.

Non è possibile, al momento, spostarsi nell’ambiente tramite *drag’n’drop*.

A causa della mole di lavoro necessaria, non è stato possibile implementare la rappresentazione di ambienti con mappe di sfondo.

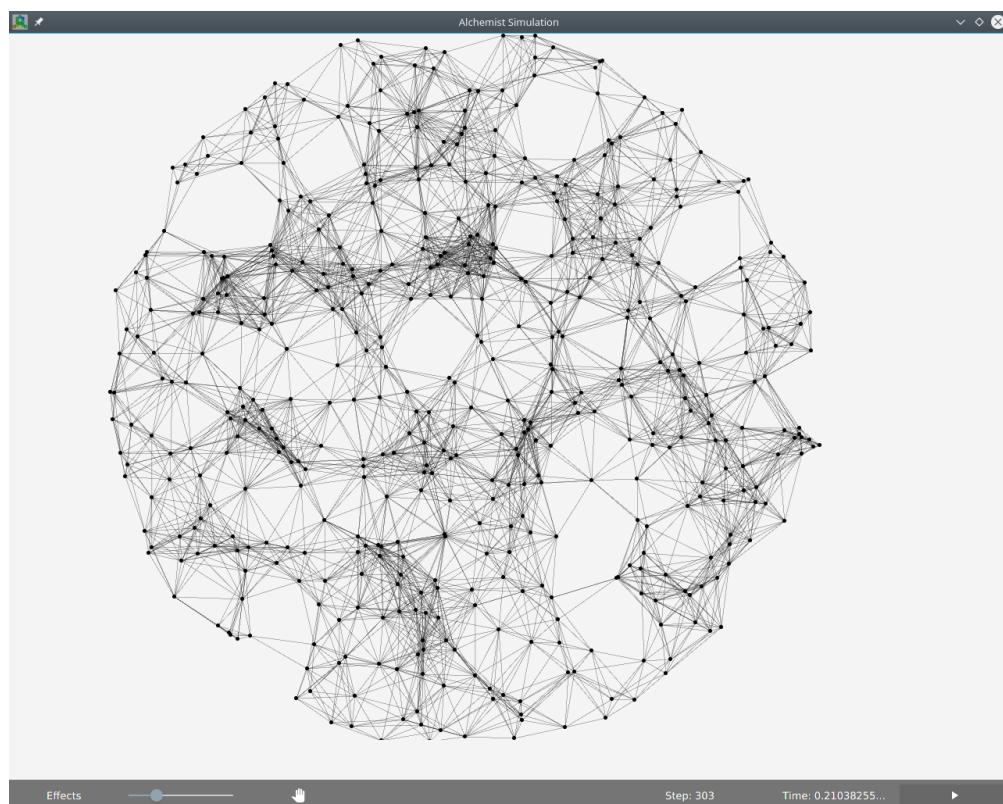


Figura 2.13: Simulazione in corso di esecuzione

Capitolo 3

Conclusioni

3.1 Risultati

L’obiettivo di questa tesi era quello di realizzare un’interfaccia grafica per l’ambiente di simulazione di Alchemist che sostituisse la precedente e si andasse ad integrare con i recenti contributi dati ad altre sezioni della GUI del software, andando a fornire una esperienza utente più semplice e gradevole anche per i meno esperti.

L’interfaccia, realizzata con la libreria JavaFX, ha comportato un restyling completo a livello estetico e una reimplementazione di numerose parti del codice. Al termine del lavoro illustrato in questa tesi, essa risulta essere in grado di caricare una simulazione, rappresentarla a schermo attraverso effetti importabili ed esportabili per mezzo di file JSON e controllarne il flusso d’esecuzione; l’impatto sulle performance di simulazione rispetto a un’esecuzione *headless* è accettabile e nei margini di quanto previsto.

Nonostante il lavoro svolto abbia portato a un software correttamente funzionante, la nuova interfaccia grafica non può ancora sostituire completamente quella classica sul canale stabile a causa del mancato supporto ad ambienti con mappe di sfondo, del quale non è stato intrapreso lo sviluppo in quanto la mole di lavoro necessaria non avrebbe permesso di mantenere i livelli attuali di ottimizzazione e stabilità.

Nel paragrafo successivo sono illustrati i lavori futuri che possono essere apportati per rendere la GUI utilizzabile nel ramo stabile.

3.2 Lavori futuri

Al termine del lavoro svolto, è rilevante valutare i possibili contributi futuri che possono essere forniti ad Alchemist a partire da ciò che è stato sviluppato per questa tesi. In particolare, per portare sul canale stabile l’interfaccia grafica realizzata è importante implementare un monitor che sia in grado di rappresentare ambienti di simulazione con mappe di sfondo: ciò dovrebbe essere possibile estendendo dalla medesima classe astratta che costituisce la base del monitor utilizzato attualmente per il rendering dell’ambiente, `AbstractFXDisplay`, con una classe capace di interfacciarsi con distributori di mappe come Google Maps oppure OpenStreetMaps.

Ulteriori lavori potrebbero coinvolgere lo sviluppo di effetti più complessi e il miglioramento delle possibilità di interazione con gli elementi dell’ambiente.

Appendice A

Simulazione di prova

A.1 YAML della simulazione

```
1 incarnation: protelis
2 network-model:
3   type: EuclideanDistance
4   parameters: [10]
5 displacements:
6   - in:
7     type: Circle
8     parameters: [500, 0, 0, 50]
9   programs:
10    -
11      - time-distribution: 1
12        program: 0
13        - program: send
14        - time-distribution: 1
15          type: Event
16          actions:
17            - type: BrownianMove
18              parameters: [1]
```

A.2 JSON degli effetti

```
1  {
2      "name": "Default Effects",
3      "visibility": true,
4      "transparency": 100,
5      "effects": [
6          {
7              "type": "DrawDot",
8              "size": {
9                  "name": "Size",
10                 "value": 5.0,
11                 "lower bound": 0.0,
12                 "upper bound": 100.0
13             },
14             "color": {
15                 "Red": 0.0,
16                 "Green": 0.0,
17                 "Blue": 0.0,
18                 "Alpha": 1.0
19             },
20             "name": "Draw the dots",
21             "visibility": true
22         },
23         {
24             "type": "DrawLinks",
25             "size": {
26                 "name": "Size",
27                 "value": 0.15,
28                 "lower bound": 0.0,
29                 "upper bound": 100.0
30             },
31             "color": {
32                 "Red": 0.0,
33                 "Green": 0.0,
34                 "Blue": 0.0,
35                 "Alpha": 1.0
36             },
37             "name": "Draw the links",
38             "visibility": true
39         }
40     ]
41 }
```

Bibliografia

- [1] C. Alexander, S. Ishikawa, M. Silverstein, M. Jacobson, I. Fiksdahl-King e S. Angel. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction (Center for Environmental Structure)*. Later printing. Oxford University Press, ago. 1977. ISBN: 9780195019193.
- [2] E. Babulak e M. Wang. «Discrete event simulation: State of the art». In: *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 4.2 (2007), pp. 60–63. DOI: 10.5772/9894. URL: <https://doi.org/10.5772/9894>.
- [3] J. Banks e J. S. Carson II. «Introduction to Discrete-event Simulation». In: *Proceedings of the 18th Conference on Winter Simulation*. WSC '86. Washington, D.C., USA: ACM, 1986, pp. 17–23. ISBN: 9780911801118. DOI: 10.1145/318242.318253. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/318242.318253>.
- [4] J. Bloch. *Effective Java (2Nd Edition) (The Java Series)*. 2^a ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2008. ISBN: 9780321356680.
- [5] E. Casadio. «Revisione e refactoring dell’interfaccia utente del simulatore Alchemist». Tesi di laurea. URL: <http://amslaurea.unibo.it/12310>.
- [6] B. Clark e V. Feliberti. *Multi-pane navigation model for graphical user interfaces*. US Patent App. 11/333,164. Mag. 2006. URL: <https://www.google.com/patents/US20060101353>.
- [7] D. Crockford. *The application/json Media Type for JavaScript Object Notation (JSON)*. RFC 4627. Lug. 2006. URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc4627.txt>.
- [8] G. S. Fishman. *Principles of Discrete Event Simulation*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1978. ISBN: 9780471043959.
- [9] T. Friedman. «Making sense of software: Computer games and interactive textuality». In: *Cybersociety; Computer-Mediated Communication and Community. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications* (1994).

- [10] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson e J. Vlissides. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN: 9780201633610.
- [11] M. A. Gibson e J. Bruck. «Efficient Exact Stochastic Simulation of Chemical Systems with Many Species and Many Channels». In: *The Journal of Physical Chemistry A* 104.9 (2000), pp. 1876–1889. DOI: 10.1021/jp993732q. eprint: <http://dx.doi.org/10.1021/jp993732q>. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/jp993732q>.
- [12] D. T. Gillespie. «A general method for numerically simulating the stochastic time evolution of coupled chemical reactions». In: *Journal of Computational Physics* 22.4 (1976), pp. 403–434. ISSN: 0021-9991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(76\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0021-9991(76)90041-3). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021999176900413>.
- [13] D. T. Gillespie. «Exact stochastic simulation of coupled chemical reactions». In: *The Journal of Physical Chemistry* 81.25 (1977), pp. 2340–2361. DOI: 10.1021/j100540a008. eprint: <http://dx.doi.org/10.1021/j100540a008>.
- [14] M. Hassenzahl. «User Experience (UX): Towards an Experiential Perspective on Product Quality». In: *Proceedings of the 20th Conference on L'Interaction Homme-Machine*. IHM '08. Metz, France: ACM, 2008, pp. 11–15. ISBN: 9781605582856. DOI: 10.1145/1512714.1512717. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1512714.1512717>.
- [15] *Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems*. Standard. ISO 9241-210:2010. Geneva, CH, mar. 2009. URL: <https://www.iso.org/standard/52075.html>.
- [16] R. M. Karp e M. O. Rabin. «Efficient randomized pattern-matching algorithms». In: *IBM Journal of Research and Development* 31.2 (mar. 1987), pp. 249–260. ISSN: 0018-8646. DOI: 10.1147/rd.312.0249. URL: <https://doi.org/10.1147/rd.312.0249>.
- [17] G. E. Krasner, S. T. Pope et al. «A description of the model-view-controller user interface paradigm in the smalltalk-80 system». In: *Journal of object oriented programming* 1.3 (1988), pp. 26–49.
- [18] J. Long e A. Whitefield, cur. *Cognitive Ergonomics and Human Computer Interaction*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1989. ISBN: 9780521371797.

- [19] J. E. McDonough. «Iterator Design Pattern». In: *Object-Oriented Design with ABAP: A Practical Approach*. Berkeley, CA: Apress, 2017, pp. 239–246. ISBN: 9781484228388. DOI: 10.1007/978-1-4842-2838-8_18. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2838-8_18.
- [20] J. E. McDonough. «Observer Design Pattern». In: *Object-Oriented Design with ABAP: A Practical Approach*. Berkeley, CA: Apress, 2017, pp. 155–171. ISBN: 9781484228388. DOI: 10.1007/978-1-4842-2838-8_13. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2838-8_13.
- [21] J. E. McDonough. «Template Method Design Pattern». In: *Object-Oriented Design with ABAP: A Practical Approach*. Berkeley, CA: Apress, 2017, pp. 247–254. ISBN: 9781484228388. DOI: 10.1007/978-1-4842-2838-8_19. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2838-8_19.
- [22] F. Moritz. «Rich Internet Applications (RIA): A Convergence of User Interface Paradigms of Web and Desktop-Exemplified by JavaFX». In: *University of Applied Science Kaiserslautern, Deutschland* (2008).
- [23] D. A. Norman. *The Design of Everyday Things*. New York, NY, USA: Basic Books, Inc., gen. 1988. ISBN: 9780465067107.
- [24] T. C. O'rourke, B. T. O'neill, R. C. Cook, K. O. Taner, S. P. Synder, A. R. Joyner et al. *Graphical user interface*. US Patent 5,349,658. Set. 1994.
- [25] D. Pianini, S. Montagna e M. Viroli. «Chemical-oriented simulation of computational systems with ALCHEMIST». In: *Journal of Simulation* 7.3 (ago. 2013), pp. 202–215. ISSN: 1747-7786. DOI: 10.1057/jos.2012.27. URL: <https://doi.org/10.1057/jos.2012.27>.