

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**

**Facoltà di Economia**

**Corso di Laurea Specialistica in Finanza Aziendale e  
Mercati Finanziari**



**Tesi di Laurea**

**Flash Crash: Simulazione ad agenti degli effetti  
dell'High Frequency Trading nei mercati finanziari**

Relatore: Prof. Pietro Terna

Correlatore: Prof. Sergio Margarita

Candidato: Alessandro Larosa

Anno accademico 2010/2011

# Indice

<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>1. High Frequency Trading e Flash Crash del 6 maggio 2010.....</b>	<b>4</b>
1.1 Che cosa è accaduto? .....	4
1.2 Definizione di High Frequency Trading.....	11
1.3 Field Programmable Gate Array (FPGA).....	13
1.3.1 Schema di trading: Esempio di FIX Order Cancel System .....	16
1.4 Letteratura accademica .....	20
<b>2. Analisi delle contrattazioni e microstruttura del Flash Crash .....</b>	<b>23</b>
2.1 Equity-Based High Frequency Traders .....	23
2.2 Option market makers.....	29
2.3 Stub quotes.....	29
2.4 Influenza di fattori addizionali.....	31
2.4.1 NYSE Liquidity Replenishment Points .....	31
2.5 Dichiarazione di Self-Help nei confronti del NYSE Arca.....	34
2.5.1 Rule 611.....	35
2.5.2 Valutazione delle Dichiarazioni di Self-Help.....	36
2.6 Distribuzione dei dati di mercato.....	37
2.7 Analisi degli <i>order book</i> di alcuni titoli del mercato statunitense .....	40
2.7.1 Accenture plc (ACN):.....	41

2.7.2 International Business Machines Corp (IBM).....	44
2.7.3 Apple Inc. (AAPL) .....	46
2.7.4 General Electric Co. (GE).....	48
2.8 Interventi possibili .....	50
2.9 Microstruttura del Flash Crash .....	52
2.9.1 Misura della “tossicità”: il VPIN metric.....	53
2.9.2 Misura della “tossicità” dei flussi di ordini prima del Crash.....	54
2.9.3 Soluzioni proposte .....	56
<b>3. Discussione in materia di regolazione.....</b>	<b>58</b>
3.1 Differenze tra mercati europei e statunitensi .....	58
3.2 Proposte di regolazione da parte della SEC.....	59
3.2.1 Naked/Unfiltered Sponsored Access .....	59
3.2.2 Flash Order .....	60
3.3 Rule 201, “Alternative Uptick Rule” .....	61
3.4 Iniziative di regolazione in Europa.....	62
3.4.1 CESR Technical Advice to the European Commission .....	62
3.4.2 Report on Regulation of Trading in Financial Instruments .....	63
3.4.3 Review of the Markets in Financial Instruments Directive (MiFID) ..	64
3.5 Obiettivi della discussione in materia di regolazione .....	65
3.5.1 Rischio Sistemico .....	65
3.5.2 Meccanismi di salvaguardia del mercato.....	66
3.6 Il ritorno della Tobin tax .....	68

<b>4. La Simulazione ad Agenti.....</b>	<b>71</b>
4.1 Perché una simulazione ad agenti? .....	72
4.2 Gli usi della simulazione ad agenti .....	74
4.2.1 Reti neurali e algoritmi genetici .....	75
4.2.2 Da modelli semplici a risultati complessi.....	76
4.2.3 La struttura dei modelli.....	77
4.3 Un esempio di applicazione: I pagamenti interbancari.....	78
4.3.1 Rischio sistemico e Real-Time Gross Settlement System.....	78
4.3.2 Vantaggi di un approccio agent-based.....	80
4.3.3 Il modello in StarLogo TNG .....	81
4.4 Applicazioni dei modelli di simulazione ai mercati finanziari .....	84
4.4.1 Santa Fe <i>Artificial Stock Market</i> .....	84
4.4.2 Agenti <i>zero intelligence</i> .....	85
4.4.3 Il modello SUM, A Surprising (Un)realistic Market.....	86
 <b>5. Descrizione del modello “High Frequency Trading” .....</b>	 <b>89</b>
5.1 Interfaccia grafica e tipologie di agenti .....	90
5.1.1 Variabili .....	96
5.1.2 Setup del modello .....	97
5.1.3 Descrizione delle procedure di simulazione .....	99
5.1.4 Procedura di generazione degli <i>order books</i> : <i>logB</i> e <i>logS</i> .....	101
5.1.5 Procedura di scambio sul mercato .....	102
5.1.6 Procedura di innesco dell’invio di ordini <i>high frequency</i> .....	103
5.1.7 LRP e procedura di interruzione degli scambi automatizzati.....	104
5.1.8 Realizzazione dei grafici.....	105

5.2 Piano degli esperimenti.....	106
5.2.1 Invio di ordini <i>low frequency</i> .....	107
5.2.2 Invio di ordini <i>low frequency</i> con diversa probabilità.....	109
5.2.3 Invio di ordini <i>high frequency</i> .....	113
5.2.4 Innesco di Liquidity Replenishment Points.....	117
5.2.5 Effetti dell'introduzione della Tobin tax .....	127
5.3 Risultati della simulazione.....	134
 <b>Conclusioni e sviluppi futuri .....</b>	 <b>136</b>
 <b>Appendice A.....</b>	 <b>140</b>
 <b>Codice del programma in NetLogo .....</b>	 <b>140</b>
 <b>Bibliografia.....</b>	 <b>146</b>

# Introduzione

L'High Frequency Trading (HFT) ha fatto la sua comparsa sui mercati negli ultimi anni e ha destato un crescente interesse poiché permette di inviare, eseguire e cancellare ordini nell'arco di pochi millisecondi, avvalendosi di tecniche di contrattazione che impiegano algoritmi e tecnologie avanzate che sfruttano movimenti di prezzo anche transitori e di modesta entità. Tale metodo di contrattazione, rappresenta ormai oltre il 70% del volume di scambi sul mercato statunitense ed è utilizzato soltanto da alcuni partecipanti al mercato e, in particolare, da coloro che possono permettersi di affrontare l'elevato costo di una tecnologia così avanzata. Una tale strategia, ormai così dominante, rende i mercati più fragili, e questa fragilità può portare a eventi di instabilità, che risultano essere alquanto pericolosi per il sistema finanziario a livello globale.

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di investigare in merito all'evoluzione compiuta dai metodi di negoziazione, alla luce dei recenti eventi che hanno riguardato i mercati statunitensi. A questo scopo, è stato sviluppato un modello di simulazione ad agenti che simula un mercato finanziario in cui è introdotto l'High Frequency Trading.

Appare chiaro che un metodo di contrattazione automatizzata ad altissima frequenza, sfugga al controllo degli esseri umani, e questo facilita le possibili manipolazioni messe in atto da alcuni partecipanti, tanto più che non esiste una chiara ed univoca regolamentazione dei mercati in tal senso. L'obiettivo di questa ricerca è, dunque, quello di capire quali rischi possa comportare l'utilizzo dell'HFT e in che modo un intervento del regolatore sia utile a ridurre la possibilità di un rischio sistemico.

L'evento che più di tutti ha risvegliato l'interesse e la preoccupazione di partecipanti e opinione pubblica, è il Flash Crash del 6 maggio 2010. Nei capitoli 1 e 2 si analizza quanto accaduto sul mercato statunitense nel corso di quella giornata, in cui molti titoli ed Exchange Trade Fund contrattati, hanno registrato, in un brevissimo lasso di tempo, un ribasso anche del 60%, prima di subire un rialzo tale da arrivare a coprire, in molti

casi, il totale delle perdite, riportando i prezzi ai livelli pre-crash. Al fine di avere un'analisi più approfondita, si prende in considerazione un report del *Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issue*, una commissione composta da uno staff appartenente a CFTC<sup>1</sup> e SEC<sup>2</sup>, che ha investigato su quanto è accaduto sui mercati statunitensi durante il Flash Crash. È chiaro che una tale variazione di prezzo, in un così breve periodo di tempo, sia opera di un sistema di negoziazione che chiama in causa l'High Frequency Trading.

Considerata l'importanza di questi eventi, la discussione si indirizza verso un sistema di regole che disciplini l'utilizzo di un trading automatizzato ad altissima velocità. Nel capitolo 3 sono enunciate le proposte in materia di regolazione e i provvedimenti messi in atto o ancora in discussione, sia relativamente al mercato europeo, sia per quello che riguarda il mercato statunitense. La proposta che più di tutte sembra giocare un ruolo fondamentale nel disincentivare azioni che possono mettere a rischio i mercati globali, riapre il dibattito sull'introduzione di una tassa sulle transazioni, meglio nota come Tobin tax.

Allo scopo di fornire un contributo metodologico, si è utilizzata la capacità descrittiva dei modelli di simulazione ad agenti, conosciuti anche come Agent-Based Model (ABM), per simulare che cosa accade in un mercato finanziario a seguito dell'introduzione dell'High Frequency Trading, e per capire meglio come sia possibile regolarne l'attività, al fine di arginare o eliminare i danni provocati dal suo utilizzo. Nel capitolo 4 si fornisce una descrizione generale dei modelli di simulazione ad agenti, come uno strumento in grado di illustrare le dinamiche dei fenomeni oggetto di studio, che offre molteplici opzioni di sviluppo e che permette la rappresentazione di processi complessi. Inoltre, sono riportati alcuni esempi di applicazione dei modelli riguardanti la simulazione dei mercati finanziari.

Nel capitolo 5, quindi, si descrive nel dettaglio il modello "*High Frequency Trading*" che rappresenta lo strumento di simulazione sviluppato ai fini di questa ricerca. Sono esplicate tutte le fasi e le procedure di creazione del modello e sono presentati gli esperimenti artificiali che permettono di visualizzare gli effetti sul mercato finanziario

---

<sup>1</sup> Commodity Futures Trading Commission

<sup>2</sup> Securities and Exchange Commission

derivanti dall'utilizzo dell'HFT, e di testare alcune delle proposte di regolazione esaminate nei capitoli precedenti. In Appendice, infine, si riporta il codice di programmazione del modello, sviluppato tramite il programma NetLogo.



# Capitolo 1

## High Frequency Trading e Flash Crash del 6 maggio 2010

Dal 2005, il termine High Frequency Trading ha assunto sempre più una maggiore rilevanza, ma ha destato un particolare interesse a seguito di un evento accaduto negli Stati Uniti il 6 maggio 2010, evento meglio noto come “Flash Crash”. Quel giorno, il prezzo di alcuni titoli del mercato statunitense (in particolare il Dow Jones Industrial Average, DJIA) hanno subito un declino incredibilmente rapido e un altrettanto rapido rialzo.

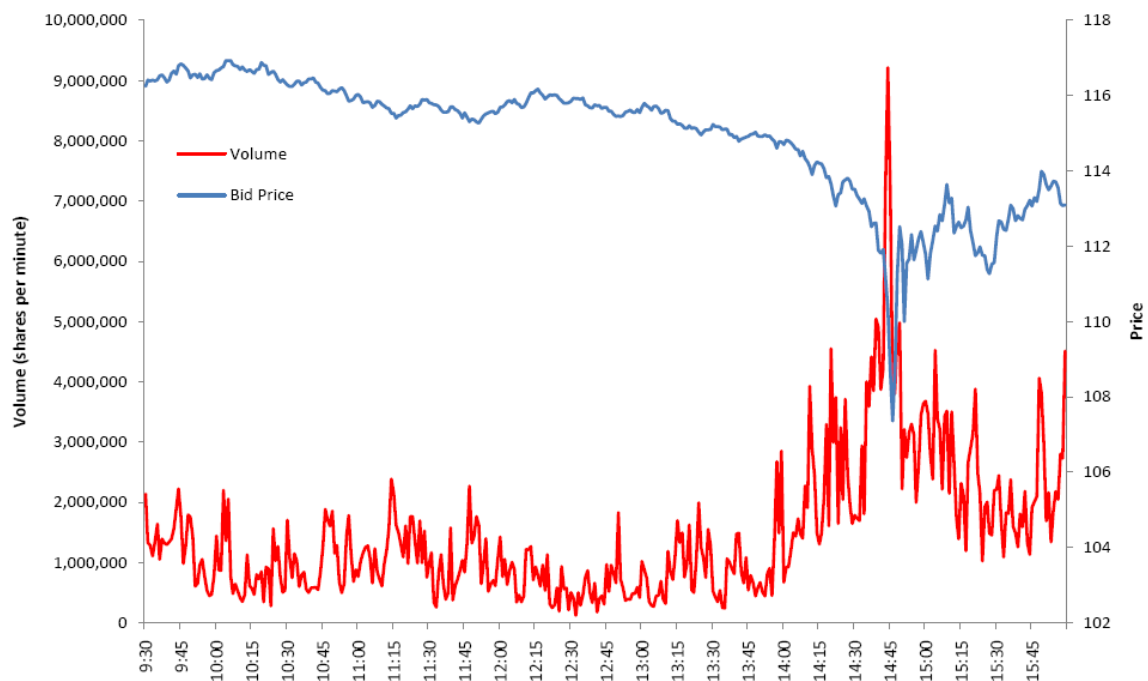
Molti dei quasi 8.000 titoli e Exchange Trade Funds (ETFs) contrattati quel giorno, hanno registrato, in un brevissimo lasso di tempo, un ribasso dell'ordine del 5 – 10% fino al 15%, prima di sperimentare un rialzo tale da arrivare in alcuni casi a coprire il totale delle perdite. Alcuni titoli, hanno conosciuto movimenti al ribasso e al rialzo anche più marcati. Oltre 20.000 contrattazioni, di più di 300 titoli, sono state eseguite a prezzi che differivano anche del 60% dai loro valori precedenti, per poi ritornare ai loro livelli pre-crash.

### 1.1 Che cosa è accaduto?

In primo luogo, è utile ricordare che cosa stava accadendo sui mercati mondiali quel 6 maggio 2010. Negli Stati Uniti, la giornata di contrattazione iniziò influenzata dalle notizie preoccupanti che giungevano da oltreoceano, a causa della crisi del debito europea, osservando, in particolare, un rialzo dei premi per comprare protezione, da parte del governo greco, per coprirsi dal default. Tutto questo fece sì che alle ore 13, ora statunitense, l'Euro iniziasse un notevole ribasso nei confronti di Dollaro e Yen.

Questo impulso negativo del mercato ebbe immediate ripercussioni, generando un aumento della volatilità di alcuni titoli, considerando, inoltre, che il Liquidity Replenishment Points (LRPs), che fornisce informazioni sulla volatilità, calcolato su titoli contrattati sul New York Stock Exchange (NYSE), iniziò, in quel lasso di tempo, a crescere particolarmente sopra i livelli medi.

Alle ore 14.30, l'indice di volatilità dello S&P 500 (VIX) salì del 22.5% sopra il livello di apertura e il Dow Jones Industrial Average calò del 2,5%. Inoltre, la liquidità dei contratti futures E-Mini S&P 500, così come l'exchange trade fund S&P 500 SPDR (SPY), i due indici più attivi contrattati sui mercati tecnologici, passarono, dai livelli del mattino, di circa 6 miliardi ai 2,65 miliardi di dollari per quanto riguarda l'E-Mini (un ribasso di circa il 55%), e da 275 milioni a 220 milioni (calando del 20%) invece per l'indice SPY.



**Figura 1.1:** Volume e prezzo SPY.

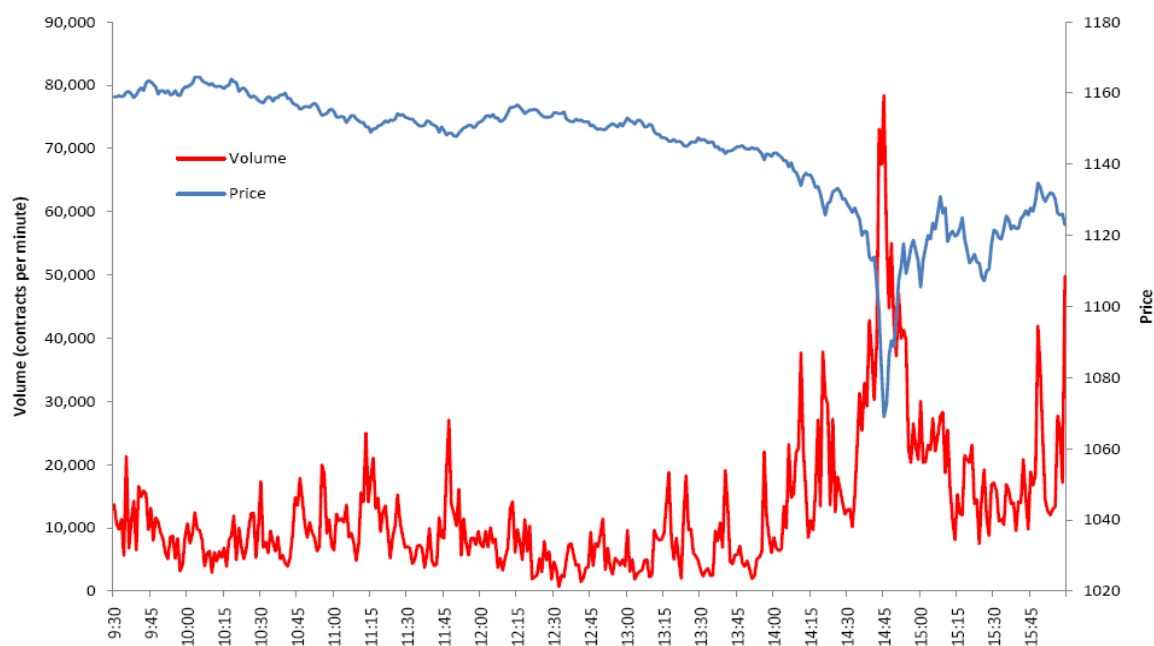
In seguito, alle ore 2:32 p.m., un grosso operatore (un mutual fund) iniziò un programma di vendita dell'ordine di 75.000 contratti E-Mini (valutati in circa 4,1 miliardi di dollari).

Generalmente, un utente può scegliere tra diverse possibilità su come condurre una vasta contrattazione sul mercato. In primo luogo, può gestire le sue posizioni tramite un intermediario; Secondo, può introdurre manualmente gli ordini sul mercato. Come terza possibilità, può eseguire un ordine attraverso un meccanismo automatizzato, tramite l'esecuzione di un algoritmo, che tenga conto dei bisogni dell'utente, prendendo in considerazione il prezzo, il tempo o il volume.

Questo programma di vendita è stato osservato nella maggior parte degli scambi su contratti E-Mini dall'inizio dell'anno (1 gennaio 2010 fino al 6 maggio 2010). Nei 12 mesi precedenti al 6 maggio, sono stati eseguiti soltanto due programmi di vendita di pari entità. In quel caso, l'operatore avrebbe utilizzato, nel corso della giornata, una combinazione di trading con inserimento degli ordini di tipo manuale, e un'esecuzione di tipo automatizzata attraverso algoritmi che tenessero conto di prezzo, tempo e volume. In tale occasione, ci vollero più di 5 ore per portare a termine la vendita dei primi 75.000 contratti.

Il 6 maggio, invece, l'algoritmo scelto per l'ordine di vendita, tenendo conto del solo volume, e non di prezzo e tempo, eseguì il programma in soltanto 20 minuti.

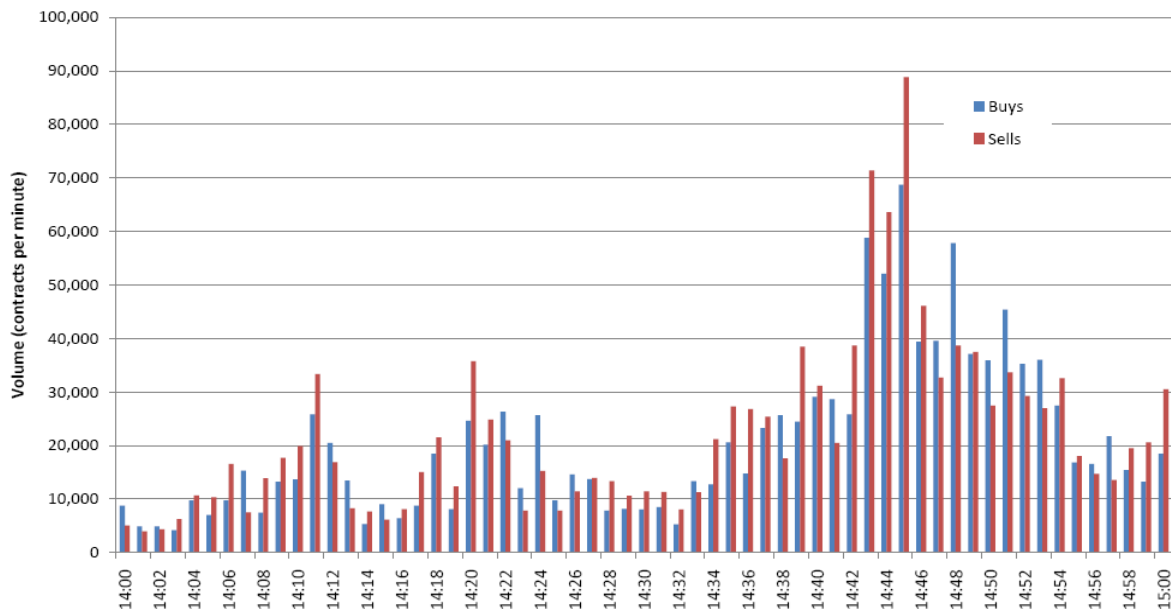
Gli operatori high-frequency, accumularono una *long position* netta su 3.300 contratti e, tra le 2:41 e le 2:44 p.m., vendettero aggressivamente 2.000 contratti E-Mini per ridurre temporaneamente la loro posizione di acquisto. Allo stesso tempo, tali operatori contrattarono 140.000 contratti E-Mini, pari a oltre il 33% del volume totale di contrattazione. Tutto questo è in accordo con la pratica degli *high frequency traders*, di portare a termine un alto numero di contratti, cercando però di non accumularne più di 3 o 4000 in vendita o in acquisto.



**Figura 1.2:** Volume e prezzo E-Mini.

L'algoritmo di vendita utilizzato generò un incremento dei volumi, senza che gli ordini inviati venissero completamente assorbiti dai fundamental buyers o dai cross market arbitrageurs. In alta volatilità, il volume dell'high frequency trading non è, dunque, necessariamente, un indicatore affidabile della liquidità di mercato. In un giorno di negatività del mercato e di alta volatilità, l'azione combinata di HFT, algoritmi di vendita e altri partecipanti, portò il prezzo dell'E-Mini ad un ribasso di circa il 3% in solo 4 minuti, dalle 2:41 p.m. alle 2:44 p.m.

Il 6 maggio, degli oltre 15.000 operatori, i 16 classificati come HFT scambiarono più di 1.455.000 contratti, quasi un terzo del volume totale giornaliero. L'azione ripetuta di acquisto e vendita, soprattutto dalle 2:41 alle 2:45 p.m., generò un effetto "patata bollente"; in particolar modo, dalle 2:45:13 alle 2:45:27, gli HFT scambiarono oltre 27.000 contratti, circa il 49% del volume totale.



**Figura 1.3:** E-Mini, volume stabilito da venditori e compratori.

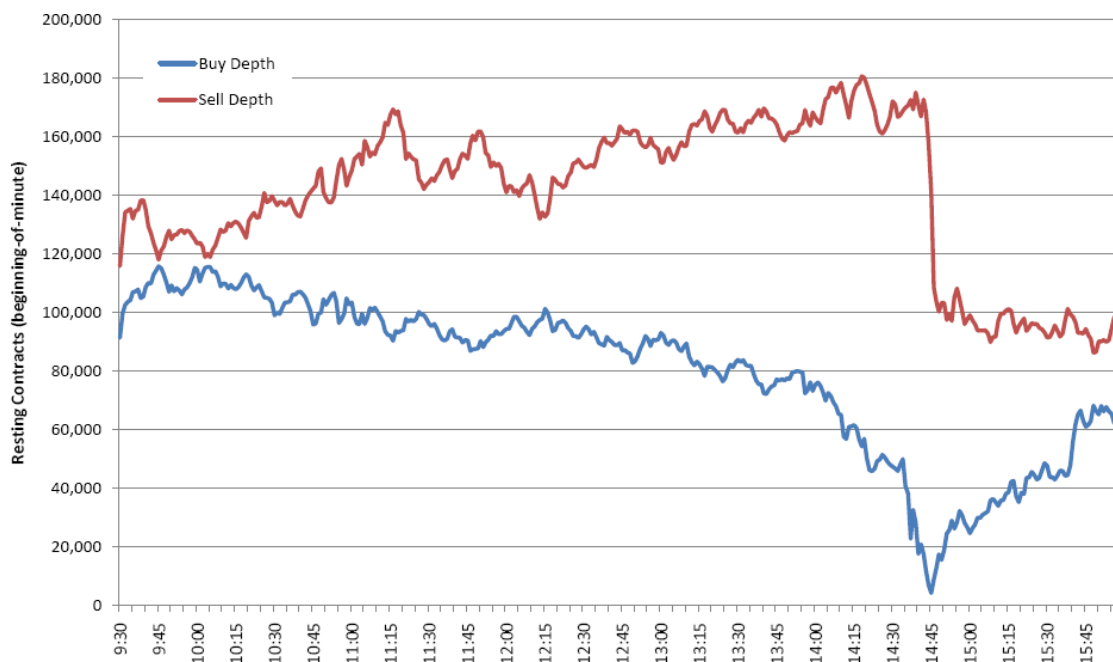
Tra le 2:32 e le 2:45 p.m. l'Algoritmo di vendita scambiò circa 35.000 dei 75.000 contratti E-Mini presi in considerazione (valutati approssimativamente in 1.9 miliardi di dollari). Questo livello di vendita fu 15 volte superiore, paragonato allo stesso intervallo di 13 minuti dei tre giorni precedenti.

Alle 2:45:28 p.m., la contrattazione degli E-Mini fu interrotta per 5 secondi, al fine di prevenire un effetto domino dei prezzi. In quel breve arco temporale, la pressione al lato della vendita di E-Mini fu parzialmente alleviata, e quando fu ripresa l'attività, alle 2:45:33 p.m., i prezzi si stabilizzarono lentamente e l'E-Mini iniziò a recuperare.

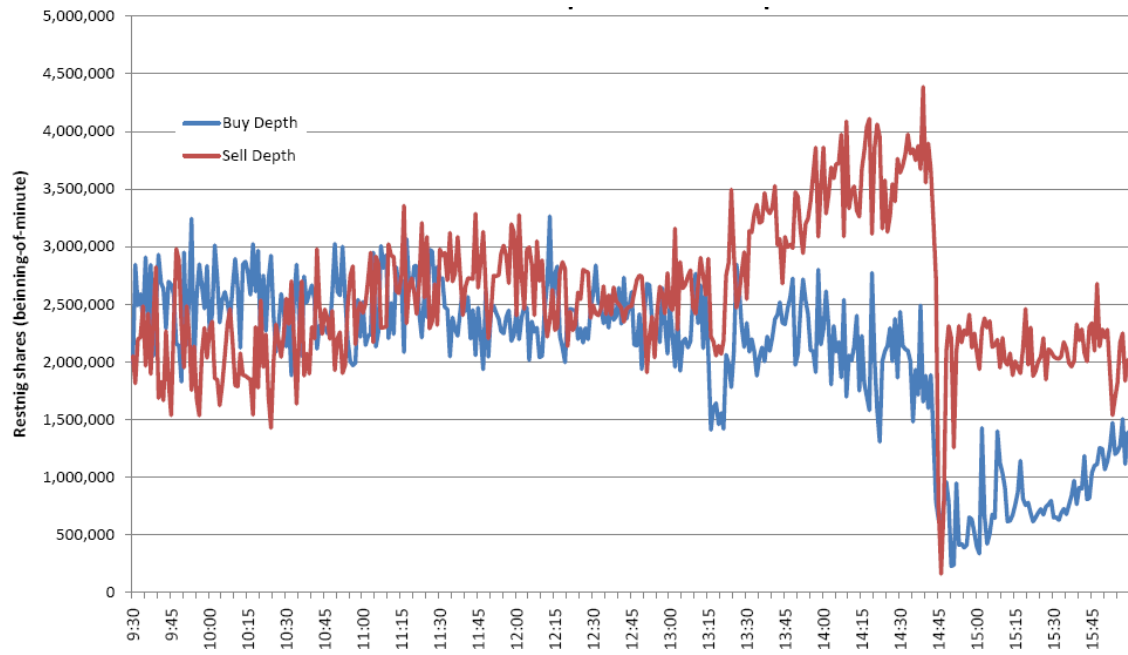
I dati relativi all'E-Mini rivelano che in quei 5 secondi di pausa arrivò un'ingente quantità di ordini da parte di *Opportunistic* e *Fundamental buyers*, che inizialmente arrestarono la caduta dei prezzi, facendoli salire successivamente. Mentre gli HFT non alterarono le loro strategie dopo questo rialzo dei prezzi, metà degli intermediari si ritirarono dal mercato.

L'Algoritmo di vendita continuò il suo programma fino alle 2:51 p.m., durante il rialzo dei prezzi di E-Mini e SPY, scambiando i restanti 40.000 contratti E-Mini dei 75.000 considerati (del valore di circa 2.2 miliardi di dollari).

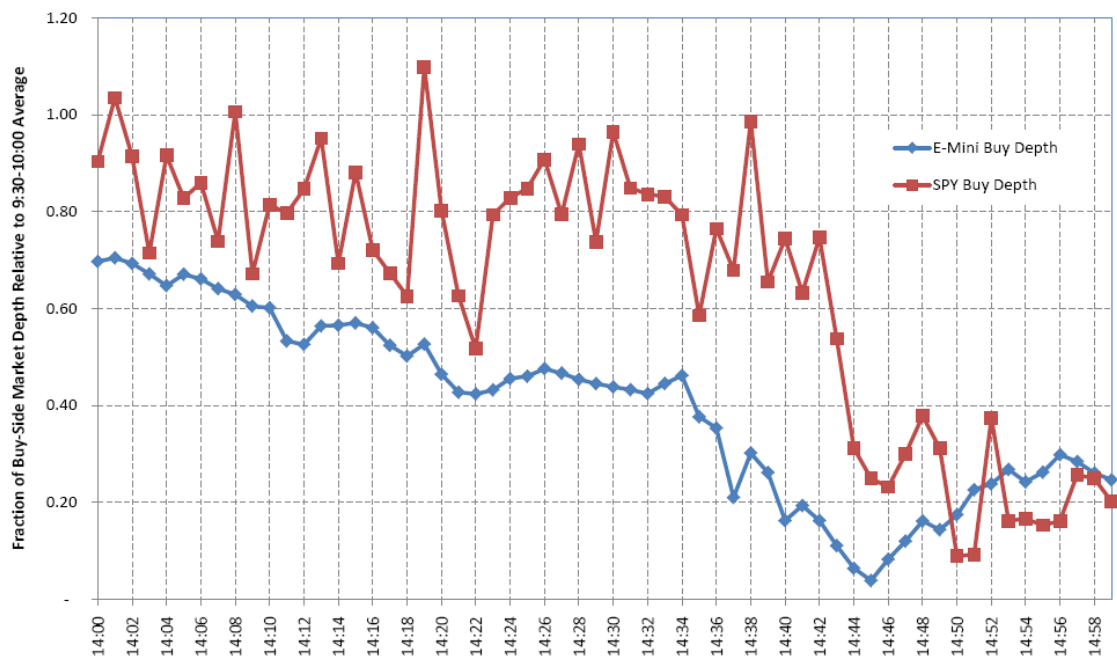
Alle 3:08 p.m. l'aumento della domanda da parte di *Fundamental* e *Opportunistic buyers* riportò i prezzi E-Mini all'incirca ai livelli "pre-crash".



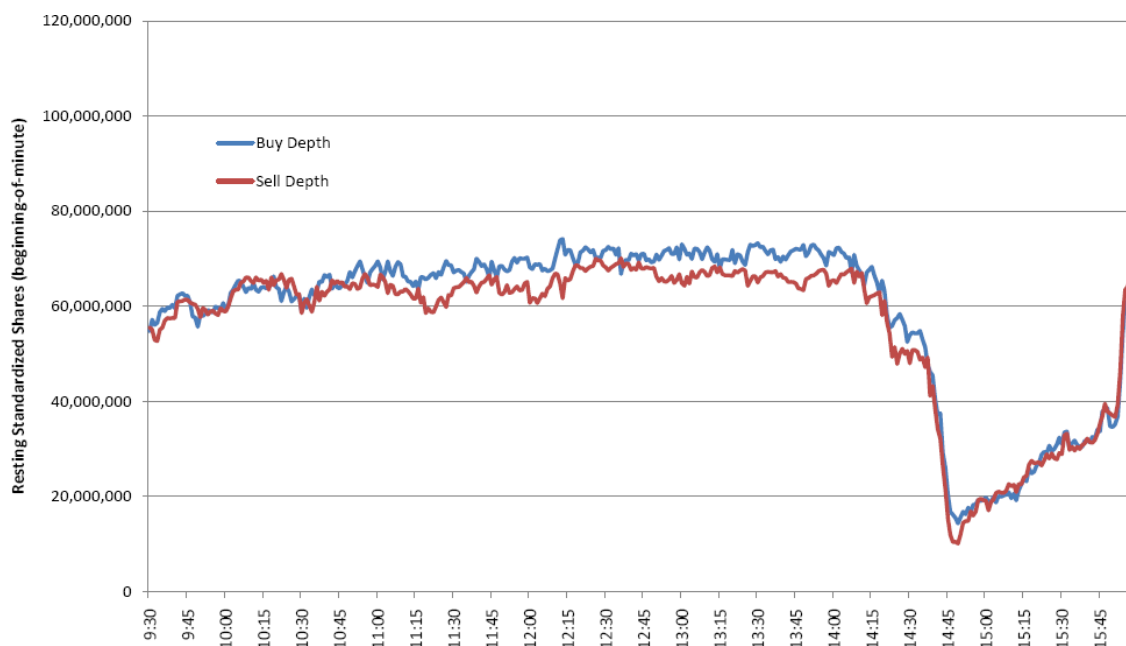
**Figura 1.4:** E-Mini Buy-side and Sell-side Market Depth.



**Figura 1.5:** SPY Buy-side and Sell-side Market Depth.



**Figura 1.6:** Buy-side Market Depth per E-Mini e SPY.



**Figura 1.7:** Market depth aggregato dell'S&P 500.

La Figura 1.7 mostra l'*order book* aggregato relativo all'S&P 500 riportato in 500 punti base. Il livello del *market depth* giornaliero in vendita e in acquisto si attesta intorno ai 70 milioni di titoli standardizzati. Alle 2:00 p.m. entrambi gli ordini iniziano un rapido declino precipitando dopo le 2:30 p.m. Alle 2:45 p.m. il *market depth* dal lato della vendita era pari a 20 milioni di titoli, circa il 28% del suo valore all'inizio del pomeriggio, arrivando fino a 14 milioni, intorno alle 2:49 p.m., prima di "rimbalzare" verso l'alto.

## 1.2 Definizione di High Frequency Trading

Occorre, dunque, cercare di definire che cosa indica il termine High Frequency Trading. Non vi è, in realtà, una definizione chiara e univoca per individuare questo sistema di contrattazione rapido, controllato da processi computerizzati; in letteratura ne esistono diverse. Si può intendere l'Algorithmic Trading, e dunque l'HFT in quanto sottogruppo, come uno strumento per trader professionisti, che osserva informazioni e parametri di



mercato in tempo reale e genera automaticamente decisioni di contrattazione senza alcun intervento umano.

In particolare, le strategie HFT, aggiornano gli ordini molto velocemente, si parla di millesimi di secondo, e ne effettuano la rapida cancellazione. Questo permette la realizzazione di piccoli profitti su un grande numero di scambi, concentrandosi, dunque, su strumenti altamente liquidi. Gli high frequency trader, tendono a liquidare rapidamente le loro posizioni e solitamente terminano la giornata di contrattazione senza aver acquisito una posizione rilevante.

L'Algorithmic Trading può essere definito come "l'uso di algoritmi per prendere decisioni di trading automaticamente tramite computer, inviare e gestire gli ordini." (Hendershott e Riordan, 2009).

Ancora più nello specifico:

"In algorithmic trading (AT), computers directly interface with trading platforms, placing orders without immediate human intervention. The computers observe market data and possibly other information at very high frequency, and, based on a built-in algorithm, send back trading instructions, often within milliseconds. A variety of algorithms are used: for example, some look for arbitrage opportunities, including small discrepancies in the exchange rates between three currencies; some seek optimal execution of large orders at the minimum cost; and some seek to implement longer-term trading strategies in search of profits." (Chaboud et al.2009).

Algorithmic e High Frequency Trading sono molto simili tra loro, in quanto entrambi usano una tecnologia che genera decisioni automaticamente tramite processi computerizzati. Differiscono, invece, tra di loro, poiché l'Algorithmic Trading può avere un *holding period* di minuti, giorni, settimane o anche più lungo, mentre l'HFT, per definizione, tiene le sue posizioni per un periodo più breve cercando di chiudere la giornata di scambi in una posizione neutrale.

Più dettagliatamente, le caratteristiche comuni tra AT e HFT sono:

1. Decisioni di trading prestabilite

2. Strumenti usati da trader professionisti
3. Osservazioni dati di mercato in tempo reale
4. Invio automatico di ordini
5. Gestione automatica degli ordini
6. No intervento umano
7. Uso dell'accesso diretto al mercato

Si vanno ad elencare, ora, gli elementi esclusivi che caratterizzano l'HFT:

1. Altissimo numero di ordini
2. Rapida cancellazione degli ordini
3. Proprietary trading (ovvero quei trader che utilizzano solo capitale proprio per le loro attività)
4. Profitto dall'attività di acquisto e vendita (come intermediari)
5. No posizioni significative alla fine della giornata (flat position)
6. Holding period molto breve
7. Margini di profitto per contrattazione bassi
8. Low latency<sup>3</sup>
9. Uso di co-location/proximity service<sup>4</sup> e individual data
10. Focus su strumenti altamente liquidi

## 1.3 Field Programmable Gate Array (FPGA)

L'High Frequency Trading, come nuova struttura di scambio computerizzata, si avvale di una tecnologia principalmente basata su dispositivi programmabili che operano, tramite algoritmi, per conto di società, dette appunto High Frequency firms.

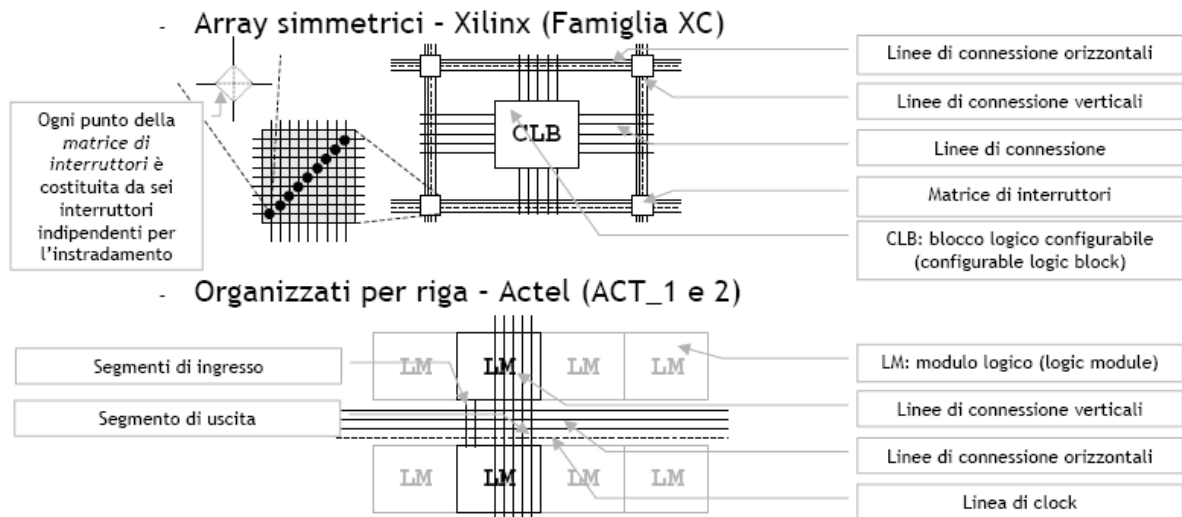
Queste società basano i loro sistemi tecnologici di contrattazione automatica, in particolare, su circuiti integrati denominati Field Programmable Gate Array (FPGA). Le

---

<sup>3</sup> Low latency fa riferimento a quella rete di connessioni usate dalle istituzioni finanziarie per connettere i mercati e le reti di comunicazione elettronica al fine di eseguire transazioni finanziarie.

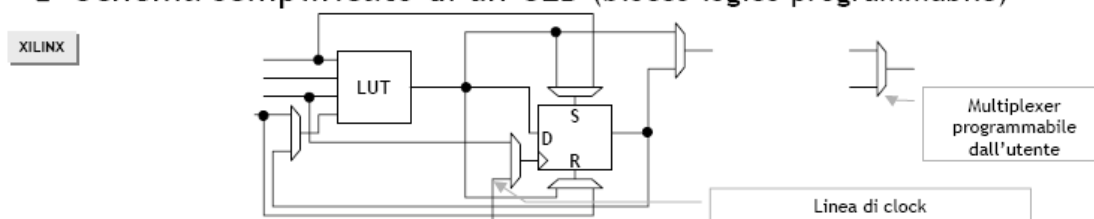
<sup>4</sup>Fa riferimento alla possibilità per le società finanziarie partecipanti ad un mercato di collocare computer contenenti gli algoritmi di scambio vicino alla sede del mercato ed evitare in questo modo ritardi nell'invio di ordini.

FPGA sono dispositivi programmabili direttamente dall'utente e sono costituiti da un *array* di componenti logici collegabili tra loro tramite risorse di interconnessioni (linee + switch).



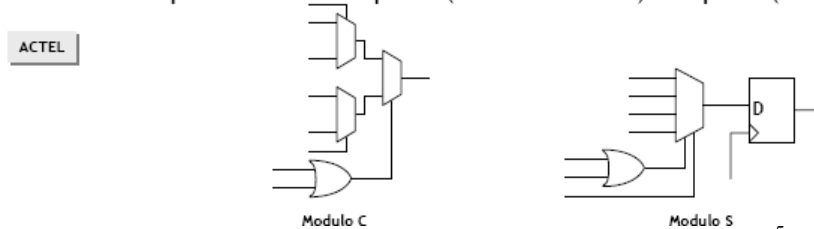
**Figura 1.8:** Architettura di FPGA.

□ Schema semplificato di un CLB (blocco logico programmabile)



□ Schema semplificato di un LM (modulo logico)

- 2 tipi di moduli: tipo C (combinatorio) e tipo S (sequenziale)



**Figura 1.9:** Schema di blocchi logici<sup>5</sup>.

Tale hardware riconfigurabile è utilizzato per ottimizzare i sistemi di trading, aiutando il processo di generazione di dati di rete. Una FPGA è programmata usando un Hardware Description Language (HDL) come ad esempio Verilog o VHDL. Non tutti gli algoritmi possono essere implementati su una FPGA. Questi linguaggi sono alquanto difficili e hanno *source code* molto lunghi. Ad esempio il codice VDHL utilizzato per calcolare la radice quadrata di un numero può occupare dalle 117 alle 396 linee. Il Financial Information eXchange (FIX) Protocol<sup>6</sup>, che rappresenta un criterio di comunicazione di dati per gli scambi elettronici in tempo reale di titoli, utilizza funzioni basate su “stringhe”.

La tecnologia Field Programmable Gate Array (FPGA) è stata sviluppata per i dati di mercato e sta ora trovando applicazione nella generazione di messaggi di trading. Le tecnologie utilizzate solitamente su Wall Street sono PXI, FlexRio e LabVIEW FPGA. Utilizzando le piattaforme FPGA e un High Level Hardware Description Language come LabVIEW FPGA, si possono sviluppare hardware per sistemi di trading accelerato per la gestione di rischi e costi. PXI è una piattaforma aperta che può

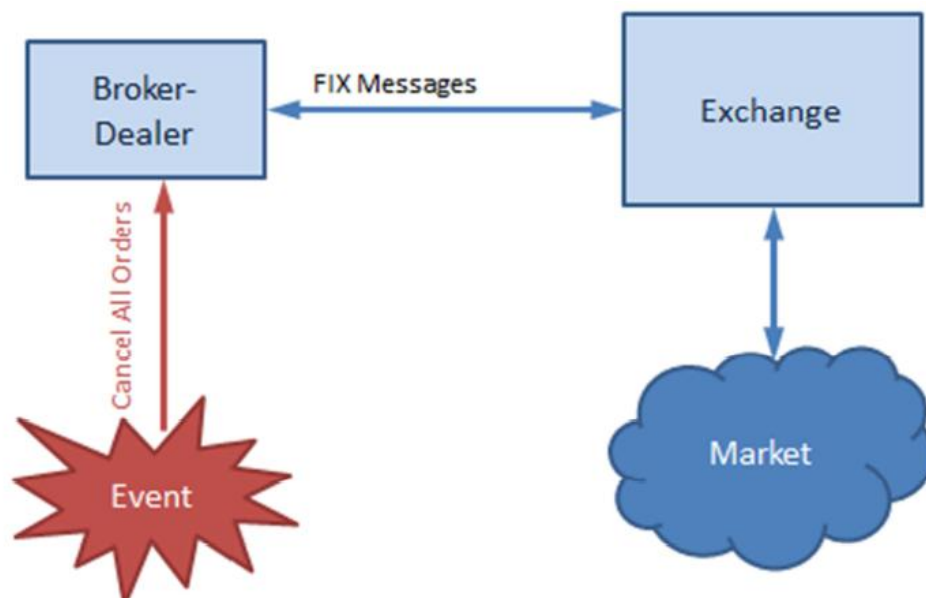
<sup>5</sup> Fonte: *Dispositivi Programmabili FPGA: Introduzione*,  
<http://home.dei.polimi.it/fornacia/didattica/pr03/PR03FPGA.pdf>

<sup>6</sup> <http://www.fixprotocol.org/what-is-fix.shtml>

integrare una rete di generazione di dati basata su FPGA. Le piattaforme possono comunicare tra loro usando un Peer-to-Peer Data Streaming per fornire sistemi di trading multi-FPGA.

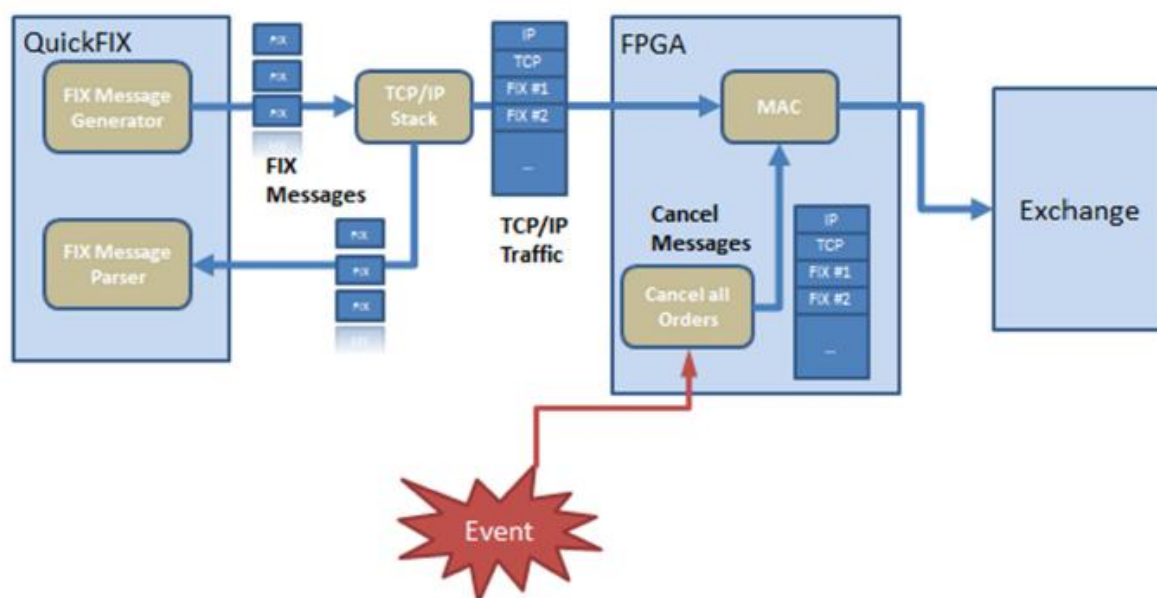
### 1.3.1 Schema di trading: Esempio di FIX Order Cancel System

Un broker-dealer è connesso ad un mercato. I messaggi di scambio tra lui e il mercato utilizzano il formato previsto dal FIX Protocol. Il broker invia gli ordini che il mercato vuole incontrare. Un ordine che trova la sua controparte sul mercato viene rimandato al broker come eseguito. Poniamo il caso che a un certo punto il broker individui un evento che lo spinga a voler cancellare tutti gli ordini non ancora eseguiti. Assumiamo, ancora, che tale evento spinga altri partecipanti a voler cancellare gli ordini allo stesso tempo, così che colui che riesce a cancellare gli ordini per primo riduce le proprie perdite. La figura 1.10 illustra quello che accade nel momento in cui un determinato evento inneschi una serie di invii di cancellazione di ordini al mercato da eseguire nel minor tempo possibile.



**Figura 1.10:** Innesco di una serie di invii di ordini di cancellazione al mercato determinati da un particolare evento, tramite messaggi FIX.

Il broker-dealer, dopo l'individuazione di un evento scatenante, invia molti ordini di acquisto o vendita al mercato, per mezzo di messaggi FIX Order Cancel per tutti gli ordini rimasti senza controparte. La figura seguente mostra un'operazione effettuata dal software QuickFIX, usato per inviare messaggi FIX. QuickFIX è una macchina FIX *open source* utilizzata dalle società finanziarie. Subito dopo l'innesco di un evento, il broker-dealer invia messaggi FIX di cancellazione di ordini, tramite QuickFIX, per tutti gli ordini rimasti senza controparte. QuickFIX compie un'operazione tramite un'interfaccia di rete basata su FPGA che genera richieste di cancellazione e le inserisce dentro pacchetti TCP/IP di sessioni FIX. FPGA MAC, in seguito, trasferisce i pacchetti a un chip per la trasmissione dei messaggi al mercato.



**Figura 1.11:** QuickFIX in una normale operazione con un'interfaccia di rete basata su FPGA.

QuickFIX normalmente interfaccia con Winsock che a sua volta interfaccia con closed source TCP/IP Windows. C'è, quindi, un sistema di acquisizione di dati a cui è connesso un circuito esterno FPGA che, qualora richiesto, legge il segnale digitale.

Molti ordini senza controparte entrano nel programma QuickFIX del broker, che li invia ad un altro computer che li tiene come *open orders*. In questo modo il broker ha una propria lista di ordini “aperti”, non appena la situazione degli open order cambia per il broker, l’FPGA riceve una copia dell’informazione di cancellazione per ogni ordine. In pratica, premendo un bottone connesso al sistema di dati, è possibile far generare, tramite una FPGA, un messaggio di FIX Order Cancel per ogni ordine rimasto ineseguito. L’Exchange computer riceve tali messaggi, non rendendosi conto che questi sono stati creati da circuiti FPGA (e dal programma QuickFIX sul computer del broker), e cancella gli ordini così come richiesto.

```

0000 00 04 4B 02 F6 23 00 1E 65 D6 A4 D0 08 00 45 00
0010 00 CF 4E C6 40 00 80 06 94 76 0A 00 01 6D 0A 00
0020 01 80 C3 07 13 8A 7F 60 31 DD F3 05 92 F4 50 18
0030 44 12 22 74 00 00 38 3D 46 49 58 2E 34 2E 32 01
0040 39 3D 31 34 34 01 33 35 3D 44 01 33 34 3D 32 01
0050 34 39 3D 43 4C 49 45 4E 54 31 01 35 32 3D 32 30
0060 31 30 30 36 30 34 2D 32 33 3A 35 38 3A 34 38 2E
0070 35 35 36 01 35 36 3D 4F 52 44 45 52 4D 41 54 43
0080 48 01 31 31 3D 31 32 37 35 36 39 35 39 32 38 35
0090 31 31 01 32 31 3D 31 01 33 38 3D 39 38 01 34 30
00A0 3D 32 01 34 34 3D 31 30 32 2E 37 01 35 34 3D 31
00B0 01 35 35 3D 49 42 4D 01 35 39 3D 30 01 36 30 3D
00C0 32 30 31 30 30 36 30 34 2D 32 33 3A 35 38 3A 34
00D0 38 2E 35 35 31 01 31 30 3D 31 38 30 01

```

8=FIX.4.2	56=ORDERMATCH	54=1
9=144	11=1275695928511	55=IBM
35=D	21=1	59=0
34=2	38=98	60=20100604-23:58:48.551
49=CLIENT1	40=2	10=180
52=20100604-23:58:48.556	44=102.7	

**Figura 1.12:** Esempio di messaggio FIX 4.2 ORDER SINGLE in stampa e sotto solo i caratteri leggibili.

```

0000 00 04 4B 02 F6 23 00 1E 65 D6 A4 D0 08 00 45 00
0010 00 C8 4E C8 40 00 80 06 94 7B 0A 00 01 6D 0A 00
0020 01 80 C3 07 13 8A 7F 60 32 84 F3 05 93 A0 50 18
0030 43 66 D2 0B 00 00 38 3D 46 49 58 2E 34 2E 32 01
0040 39 3D 31 33 37 01 33 35 3D 46 01 33 34 3D 33 01
0050 34 39 3D 43 4C 49 45 4E 54 31 01 35 32 3D 32 30
0060 31 30 30 36 30 34 2D 32 33 3A 35 38 3A 35 36 2E
0070 31 31 32 01 35 36 3D 4F 52 44 45 52 4D 41 54 43
0080 48 01 31 31 3D 31 32 37 35 36 39 35 39 33 36 31
0090 31 30 01 33 38 3D 39 38 01 34 31 3D 31 32 37 35
00A0 36 39 35 39 32 38 35 31 31 01 35 34 3D 31 01 35
00B0 35 3D 49 42 4D 01 36 30 3D 32 30 31 30 30 36 30
00C0 34 2D 32 33 3A 35 38 3A 35 36 2E 31 31 32 01 31
00D0 30 3D 32 30 36 01

```

8=FIX.4.2	56=ORDERMATCH	60=20100604-23:58:56.112
9=137	11=1275695936110	10=206
35=F	38=98	
34=3	41=1275695928511	
49=CLIENT1	54=1	
52=20100604-23:58:56.112	55=IBM	

**Figura 1.13:** Esempio di messaggio FIX 4.2 ORDER CANCEL REQUEST in stampa e sotto solo i caratteri leggibili.

Appare, dunque, chiaro che questa nuova struttura di trading High Frequency ha sviluppato, sempre di più negli ultimi tempi, un vero e proprio business per le società che si occupano di creare questi programmi, che vanno riprogrammati ogni qualvolta il cliente cambi l'algoritmo utilizzato per compiere le proprie operazioni.

Essendo operazioni che vengono effettuate nel giro di millisecondi, inoltre, si pone il problema per le società High Frequency, di essere anche fisicamente vicine ai mercati per evitare qualsiasi problema di connessione alla rete.



## 1.4 Letteratura accademica

Il 22 e 23 settembre 2011 è stato organizzato il corso “High Frequency Trading: Risk, Regulation and Actionable Trading Strategies”, tenuto presso il Downtown Conference Center, New York City. L’argomento HFT sta acquistando sempre maggiore interesse da parte della comunità accademica, e, pur essendo un tema molto recente, si avvale già di numerosi studi scientifici, molti dei quali attendono di essere pubblicati. Queste ricerche trattano le questioni più rilevanti sollevate da un tale evento, che presenta caratteri assolutamente nuovi e di ancora poca comprensione, generando la preoccupazione di accademici, autorità di vigilanza e addetti al settore.

La questione che pone più dubbi, può essere riassunta in questo modo: “L’High Frequency Trading è benefico o dannoso per l’economia?”. Altri temi trattati da numerose ricerche accademiche riguardano la loro profittabilità e la loro “correttezza”, meglio esprimibile con il termine inglese di *fairness*, ancor più per quello che riguarda il *fair access* al mercato. Quest’ultimo argomento è quello che ha creato il dibattito maggiore da parte delle autorità di vigilanza in merito alle decisioni da prendere per salvaguardare il corretto svolgimento delle attività sui mercati mondiali.

Aldridge (2010) espone il tema HFT, elencandone strategie, caratteristiche principali e benefici. Secondo Aldridge (2010), le strategie High-frequency non presentano correlazioni con le tradizionali strategie *buy-and-hold* di lungo termine e rappresentano un valido strumento di diversificazione del portafoglio. Dal punto di vista operativo, la natura automatizzata di questi strumenti fornisce il vantaggio di non incorrere in errori generati dal comportamento umano, non risentendo delle emozioni e delle esitazioni. Inoltre, i benefici a livello sociale sarebbero:

- Aumento dell’efficienza di mercato
- Aumento della liquidità
- Innovazione tecnologica
- Stabilizzazione dei sistemi di mercato

La velocità di esecuzione è, dunque, la sfida maggiore lanciata dall'HFT. L'attività di contrattazione tradizionale non può reggere il passo con una tale impostazione operativa. Nonostante il carattere computerizzato e di innovazione nella programmazione, tuttavia, la supervisione umana rimane essenziale così come l'abilità necessaria alla programmazione.

Per quanto riguarda, invece, i parametri sulla qualità del mercato, in letteratura troviamo l'analisi di Cvitanic e Kirilenko (2010) che costruiscono un modello di mercato elettronico popolato da Low-frequency traders (umani) e da un High-frequency trader (macchina). In questo modello, l'unica caratteristica di vantaggio della macchina, è la velocità di invio e di cancellazione degli ordini. Cvitanic e Kirilenko dimostrano che la presenza di HFT può cambiare il prezzo medio della transazione e, in particolare, mostrano che i prezzi sono più concentrati intorno alla media (avendo dunque una minore volatilità), trovando inoltre un aumento della capacità previsionale, oltre che un incremento della liquidità del mercato.

Molti altri studi confermano tali conclusioni. Jarnecic e Snape (2010) usano dati del London Stock Exchange con i quali classificano gruppi di partecipanti high frequency inserendoli in sei categorie diverse, provando, con i loro risultati, che l'utilizzo di metodi di contrattazione high frequency, non dovrebbe aumentare la volatilità. Jovanovic e Menkveld (2010), nel loro studio "Middleman in Limit Orders", dove il termine middleman si riferisce a quegli operatori high frequency che traggono profitto semplicemente dal comprare e vendere azioni, dimostrano che tali operatori sarebbero meglio informati rispetto alla media degli investitori, e che, dunque, il loro tempo di reazione sarebbe molto più rapido e soprattutto nella direzione giusta. Menkveld suggerisce, inoltre, che l'HFT possa avere effetti negativi sulla qualità del mercato.

La discussione che genera più interesse, è quella riguardante la questione della correttezza dell'utilizzo di tali sistemi (la cosiddetta *fairness issue*), dovuta al fatto che, gli operatori high frequency, godono di un notevole vantaggio in termini di velocità operativa. Hasbrouck e Saar (2010) giudicano il problema della correttezza del mercato molto complesso. Infatti, se da un lato, la SEC proibisce alle società di rilasciare informazioni fondamentali ad un piccolo gruppo di investitori, dall'altro, consente di

vendere dati direttamente ad alcuni sottoscrittori, creando differenze tra gli investitori stessi.

Più in generale, nonostante siano state sviluppate ricerche che affrontano la questione *fairness* a livello teorico, resta difficile definirne gli esatti contorni. Questo significa che vi è una mancanza di trasparenza in merito alle condizioni di accesso al mercato, e tutti i ricercatori concordano che la velocità operativa dei sistemi HFT, rappresenti un rilevante vantaggio competitivo.

Brogaard (2010) utilizza un unico *data set* preso dal Nasdaq, in cui è possibile individuare un gruppo di High frequency trader, mostrando che quest'ultimi sono coinvolti nel 68% del volume di scambi, stimando un rendimento lordo di 2,8 miliardi di dollari all'anno, con uno Sharpe ratio di 4,5.

Generando un tale volume di contrattazione, l'High Frequency Trading ha attirato l'attenzione delle autorità pubbliche e di regolazione. La dimensione del fenomeno HFT e la sua penetrazione nel mercato, rappresenta una ragione importante per condurre ulteriori ricerche in merito, soprattutto per chiarire se sia implicata l'eventualità di un rischio sistemico. Bisogna, quindi, stabilire se questo possa essere la base per giustificare un intervento di regolazione.

## Capitolo 2

# Analisi delle contrattazioni e microstruttura del Flash Crash

### 2.1 Equity-Based High Frequency Traders

Gli High Frequency Trader utilizzano metodologie quantitative e algoritmiche per massimizzare la velocità del loro accesso al mercato e delle loro strategie di contrattazione. Alcune di queste compagnie sono “ibride”, quindi agiscono sia come *proprietary traders* (dunque realizzando un profitto per se stesse) sia come market maker. Inoltre, alcune delle loro strategie hanno un approccio “delta-neutral” al mercato (con posizioni *flat* al termine della giornata), mentre altre non sono neutrali e acquisiscono posizioni long e short nette.

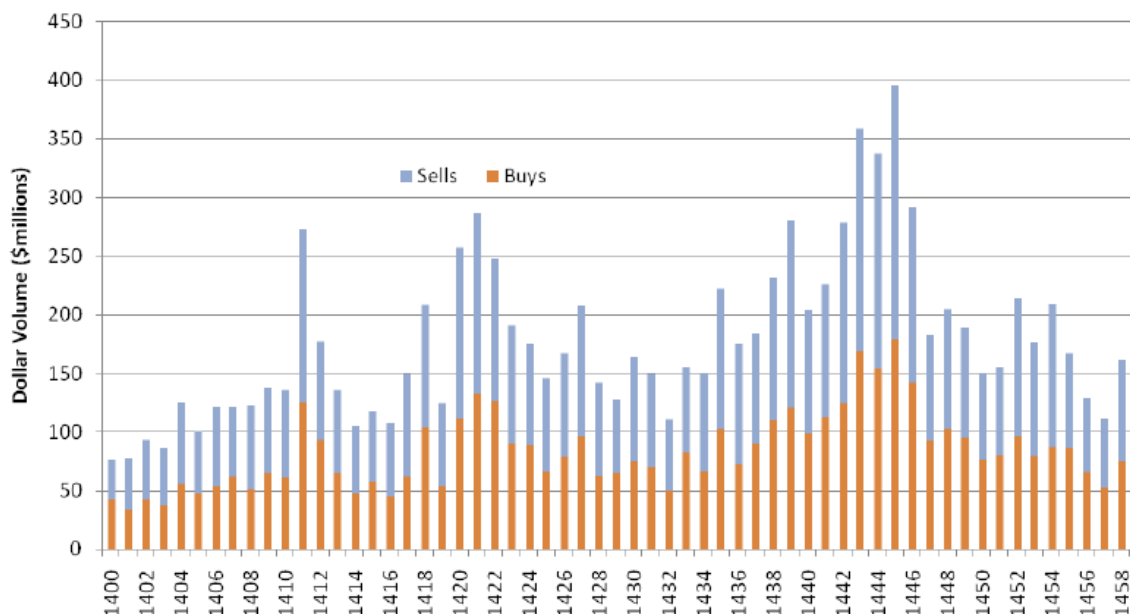
Tra gli operatori high frequency intervistati, a proposito delle condizioni del mercato del 6 maggio 2010, la SEC non ha trovato uniformità di risposta. Tuttavia alcuni di loro uscirono dal mercato per le stesse ragioni degli altri partecipanti, e cioè l’innesco di parametri interni di rischio dovuti a rapidi movimenti di prezzo, altri high frequency trader, invece, continuarono a contrattare attivamente. Tra questi ultimi, le motivazioni sono varie, ma in parte erano basate sul fatto che pensavano che i loro algoritmi sarebbero stati comunque in grado di operare con successo, nonostante le condizioni estreme osservate sul mercato quel pomeriggio.

La SEC ha esaminato il volume aggregato delle contrattazioni, minuto per minuto, di 12 grandi operatori high frequency, come riflettono i dati riportati da FINRA, per titoli quotati sul NYSE, NYSE Arca e Nasdaq. I dati contengono meno della metà del volume di contrattazione durante il periodo di maggiore volatilità del 6 maggio. Inoltre, gli high frequency trader sembrano essere attivi sul mercato OTC meno di quanto lo siano su quello regolamentato. Ad ogni modo, i dati forniscono un quadro utile della dimensione

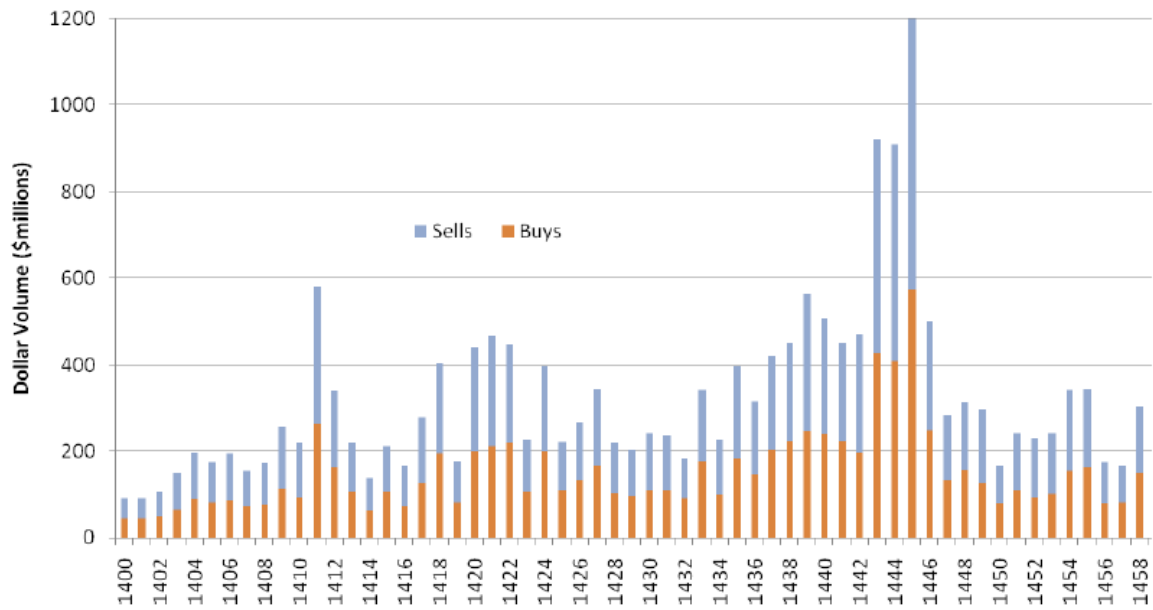
delle operazioni dei grandi operatori high frequency sul mercato Nasdaq e OTC quel 6 maggio 2010.

Basandosi sui dati FINRA, la SEC ha riportato che 6 dei 12 high frequency trader diminuirono le loro contrattazioni dopo che gli indici toccarono i propri minimi alle 2.45 p.m. circa. Altri 2 operatori high frequency, invece, arrestarono la loro attività alle 2.47 p.m. e rimasero inattivi per il resto della giornata. I rimanenti 4 HFT, invece, hanno significativamente diminuito le loro contrattazioni per brevi periodi di tempo, che vanno da un minuto (dalle 2.46 p.m. alle 2.47 p.m.) a 21 minuti (dalle 2.57 p.m. alle 3.18 p.m.).

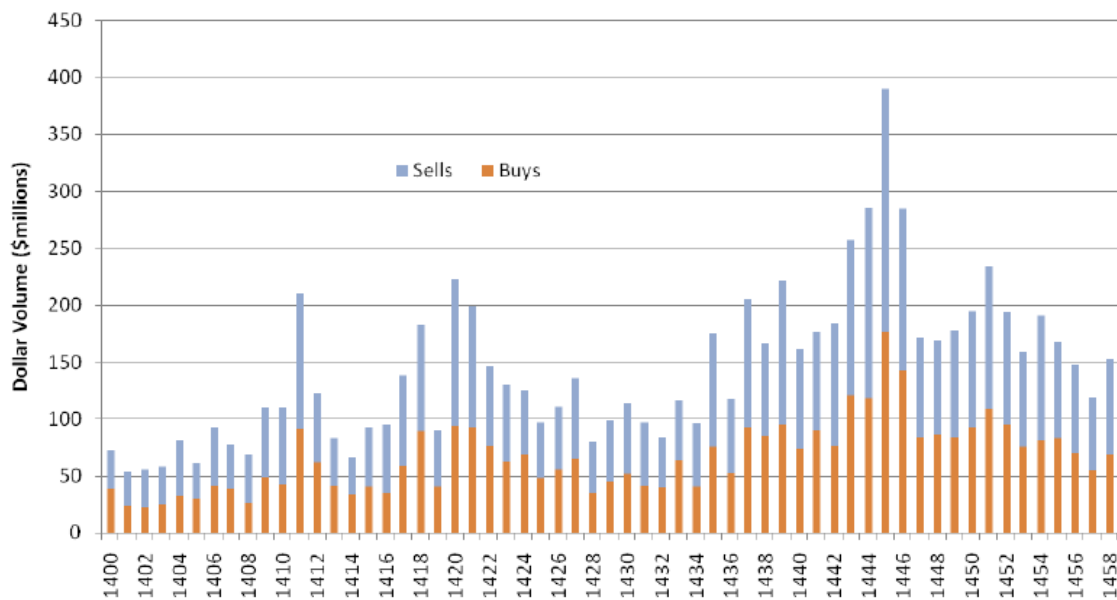
Le Figure 2.1, 2.2 e 2.3 mostrano che, dopo le 2.30 p.m., l'attività aggregata di trading di questi 12 operatori high frequency aumentò significativamente nel periodo in cui gli indici globali registrarono un rapido ribasso, dalle 2.43 p.m. alle 2.46 p.m. La Tabella 1, invece, mostra che l'attività di contrattazione High Frequency, durante questi 3 minuti, salì di oltre il 250% per quanto riguarda i titoli quotati sul NYSE-Arca, che sono in prevalenza ETF.



**Figura 2.1:** Volume di dollari scambiato dai 12 High Frequency Trader per titoli quotati sul NYSE (FINRA Data Set).



**Figura 2.2:** Volume di dollari scambiato dai 12 High Frequency Trader per titoli quotati sul NYSE- Arca (FINRA Data Set).



**Figura 2.3:** Volume scambiato da 12 High Frequency Trader per titoli quotati sul Nasdaq (FINRA Data Set).

Market	2:43 to 2:46 p.m. (S Mil.)	2:00 to 3:00 p.m., ex 2:43 to 2:46 p.m. (S Mil.)	Percent Change
NYSE	368.8	168.0	117%
NYSE Arca	1,011.7	285.6	254%
Nasdaq	310.9	134.7	131%

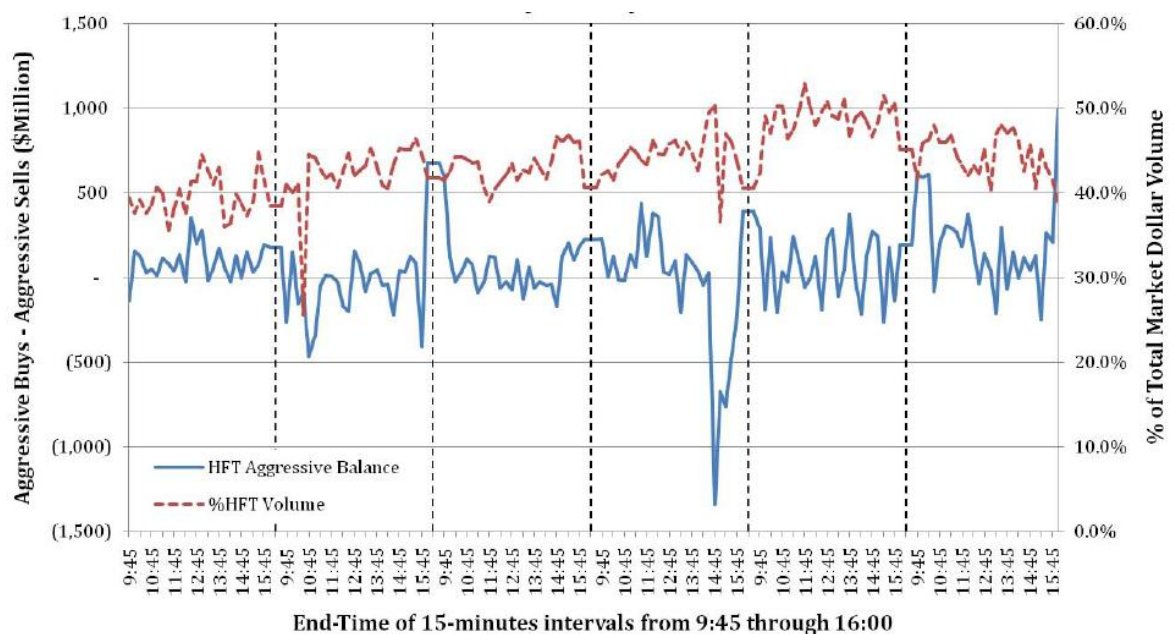
**Tabella 2.1:** Attività di trading minuto per minuto dei 12 High Frequency trader (dati FINRA).

Queste figure mostrano, anche, che i mercati si ripresero dopo le 2.46 p.m., l'attività High Frequency sui titoli del Nasdaq ritornò ai livelli precedenti, l'attività sui titoli quotati sul NYSE si ridusse di poco, mentre il volume scambiato sul NYSE-Arca registrò un forte ribasso.

Per valutare ancora meglio l'attività di trading High Frequency, la SEC ha esaminato alcuni dati, riguardanti il 6 maggio 2010, in merito ai più grandi mercati pubblici compresi quello del Direct Edge (EDGA e EDGX). Questi dati includono il volume totale scambiato su tali mercati per tutti i titoli, su intervalli di 15 minuti, e ulteriormente classificato in accordo con la fornitura o il ritiro di liquidità per acquisti e vendite. Sono stati anche reperiti dati specifici riguardanti ogni *broker-dealer* presente tra i primi 20 venditori aggressivi su ogni mercato durante il rapido ribasso dei prezzi registrato quel giorno. Sono inoltre stati aggiunti, alla lista, dati di 17 *broker-dealer* che sembrano essere legati a società HFT, al fine di compararne gli schemi di trading con quelli del resto del mercato. In un periodo di 6 giorni di contrattazione, dal 3 al 10 maggio 2010, queste 17 società HFT scambiarono un volume medio pari al 43,8% del volume totale. La Figura 11 mostra il volume di dollari netto (acquisti "aggressivi" totali meno le vendite, il segno positivo indica che gli acquisti da parte degli HFT erano superiori alle vendite, mentre il segno negativo indica il contrario) insieme alla percentuale del totale di volume scambiato dalle 17 società HFT sui mercati pubblici. La Tabella 2.2, mostra, inoltre, il volume delle contrattazioni degli HFT in ognuna delle quattro categorie (*aggressive selling*, *aggressive buying*, *passive selling* e *passive*

*buying*) per intervalli di 15 minuti nel corso di tutta la giornata del 6 maggio, insieme alla percentuale registrata dai mercati in quelle categorie.

In percentuale del totale del volume di mercato, l'attività delle 17 società HFT esaminate aumentò nel periodo compreso tra le 2.00 p.m. e le 2.45 p.m. fino a raggiungere il 50,3% prima di precipitare al 36,6% nel periodo compreso tra le 2.46 p.m. e le 3.00 p.m. Quanto osservato è in linea con il fatto che alcuni High Frequency trader ridussero o arrestarono la propria attività in quel lasso di tempo.



**Figura 2.4:** Volume di ordini aggressivi e volume percentuale di 17 società HFT nei mercati pubblici dal 3 al 10 maggio 2010.



	HFT (\$ Millions)							% of Total Market				
	Aggressive			Passive			Long/Short	Aggressive		Passive		Total
	Sell	Buy	Net	Sell	Buy	Net		Sell	Buy	Sell	Buy	
9:45 AM	2,674	2,904	230	3,044	2,723	-322	-92	39.2%	37.8%	40.5%	40.9%	42.2%
10:00 AM	2,449	2,447	-2	2,278	2,331	53	51	38.8%	41.3%	39.5%	37.8%	42.6%
10:15 AM	2,046	2,170	123	2,000	1,918	-82	42	39.8%	40.2%	37.9%	38.2%	41.5%
10:30 AM	2,141	2,128	-13	1,879	1,828	-51	-64	41.0%	44.1%	40.0%	36.0%	43.4%
10:45 AM	2,085	2,063	-22	1,789	1,790	1	-21	41.9%	45.1%	40.2%	36.9%	44.3%
11:00 AM	2,654	2,785	131	2,432	2,424	-9	122	40.4%	47.0%	42.1%	37.7%	45.3%
11:15 AM	2,667	2,728	61	2,443	2,396	-47	15	39.4%	47.1%	43.2%	36.2%	44.8%
11:30 AM	2,224	2,659	435	2,669	2,214	-454	-19	38.9%	40.8%	41.8%	39.6%	43.9%
11:45 AM	1,683	1,805	122	1,631	1,612	-19	103	38.0%	44.4%	41.2%	37.3%	43.3%
12:00 PM	2,316	2,695	379	2,549	2,274	-275	104	40.3%	45.5%	44.1%	40.6%	46.2%
12:15 PM	1,790	2,145	355	2,010	1,792	-218	137	41.2%	41.7%	40.0%	42.4%	44.6%
12:30 PM	1,390	1,422	32	1,276	1,230	-46	-14	41.0%	45.4%	42.0%	37.3%	44.5%
12:45 PM	1,324	1,339	15	1,115	1,136	20	35	43.2%	47.4%	40.8%	38.2%	45.8%
1:00 PM	1,624	1,720	96	1,560	1,437	-123	-27	42.8%	47.1%	44.0%	38.9%	46.2%
1:15 PM	1,642	1,434	-208	1,233	1,318	85	-123	42.9%	45.8%	40.6%	35.5%	44.4%
1:30 PM	2,294	2,425	131	2,269	2,139	-130	1	39.9%	46.6%	44.8%	38.1%	46.0%
1:45 PM	1,834	1,919	85	1,811	1,688	-123	-38	39.0%	45.5%	44.2%	36.8%	44.6%
2:00 PM	1,834	1,871	37	1,879	1,651	-228	-191	38.2%	41.8%	43.3%	35.4%	42.6%
2:15 PM	4,002	3,955	-47	3,739	3,517	-221	-268	41.2%	47.6%	46.4%	37.1%	46.0%
2:30 PM	5,786	5,814	28	5,571	5,294	-277	-249	44.6%	49.0%	48.2%	41.8%	49.3%
2:45 PM	9,302	7,959	-1,343	7,528	7,714	185	-1,158	47.1%	51.8%	50.2%	39.9%	50.3%
3:00 PM	5,748	5,071	-677	5,575	5,480	-95	-772	34.0%	32.9%	37.8%	33.5%	36.6%
3:15 PM	5,820	5,054	-765	5,515	5,428	-86	-852	46.3%	42.2%	47.3%	44.3%	47.0%
3:30 PM	5,220	4,732	-488	4,823	4,984	160	-328	43.2%	45.0%	47.0%	42.2%	46.0%
3:45 PM	4,763	4,547	-216	4,677	4,324	-353	-568	42.6%	41.0%	43.4%	39.8%	43.7%
4:00 PM	6,173	6,561	388	7,658	7,194	-465	-76	33.3%	37.8%	45.7%	40.1%	40.6%

**Tabella 2.2:** Volume scambiato dalle 17 società HFT nel corso del 6 maggio 2010

Si può notare che le 17 società prese in considerazione aumentarono il loro programma di vendita in modo molto più significativo rispetto alle altre categorie di partecipanti (raggiungendo un totale di 9.3 miliardi di dollari) durante il rapido ribasso verificatosi in quel periodo di tempo terminato alle 2.45 p.m. Una parte di queste vendite aggressive possono essere attribuite alle strategie *cross-market* in cui le società compravano contemporaneamente prodotti *future*. In generale, comunque, sembra che il 6 maggio, le 17 società HFT operassero seguendo il trend di mercato.

## 2.2 Option market makers

Le indagini effettuate dalla SEC hanno inoltre riguardato il comportamento tenuto dagli operatori sul mercato delle opzioni. In generale, i partecipanti a tale mercato hanno riportato che le contrattazioni di opzioni non hanno conosciuto uno sconvolgimento pari a quello del mercato dei titoli sottostanti. Tuttavia, poiché il comportamento degli *options market makers* (OMM) è fortemente influenzato dalle condizioni del mercato dei titoli sottostanti, alcuni di essi, il 6 maggio, modificarono le proprie quote o uscirono dal mercato delle opzioni.

Gli *options market makers* operano sul mercato delle opzioni calcolando il valore del titolo sottostante o di un paniere di titoli quotandoli un po' sopra o un po' sotto questo prezzo, traendo vantaggio dallo spread bid-ask.

Gli OMM hanno dichiarato che, nonostante generalmente non ci fossero mai stati problemi nella ricezione dei dati dai singoli mercati azionari, il 6 maggio considerarono tali dati inaffidabili a causa dell'altissima volatilità dei titoli sottostanti. Alcuni di essi hanno riportato di aver avuto problemi nel sistema di quotazione interno e questo avrebbe richiesto una temporanea uscita dal mercato. Ad ogni modo, essi hanno descritto tali problemi come dei *bugs* già esistenti nel loro sistema, che si manifestarono proprio quel 6 maggio, ma che non furono causati dall'attività di contrattazione verificatasi quel giorno. Gli OMM, infatti, sostengono di essere stati in grado di aggiustare i loro sistemi rientrando sul mercato tempestivamente.

## 2.3 Stub quotes

Il processo di interviste a scopo investigativo da parte della SEC ha riguardato i partecipanti al mercato anche in merito al loro utilizzo delle *stub quotes*. Prima di definire che cosa si intende per *stub quotes*, bisogna premettere che i market maker devono impegnarsi, nel corso della loro attività di contrattazione, a mantenere, fino a quando è ragionevolmente possibile, l'ordine e la correttezza del mercato. Questa regola

generalmente richiede di tenere continuamente una quotazione “a doppio lato” (*two-sided quotation*). Per rispettare questo impegno, in caso di esaurimento della liquidità, alcuni market maker inviano quella che è chiamata una *stub quote*, cioè un’offerta a comprare o vendere un determinato titolo ad un prezzo di gran lunga lontano da quello di mercato, ad esempio un ordine a comprare ad 1 centesimo o meno, o a vendere a 100.000 \$, per fare in modo che questo non sia eseguito.

La maggior parte dei quasi 2 miliardi di titoli scambiati il 6 maggio 2010 tra le 2.40 p.m. e le 3.00 p.m., registrarono prezzi che si discostavano del 10% dal loro valore precedente. Si è notato che molti dei titoli che hanno conosciuto un rapido movimento dei prezzi, ristabilirono i loro livelli alquanto velocemente. Questo suggerisce che non fu disponibile una liquidità immediata per assorbire pienamente una considerevole domanda di vendita (e in alcuni casi di acquisto) e questi prezzi ripresero i loro livelli precedenti non appena fu alleviata una tale pressione.

Alcuni market maker arrestarono le quotazioni dei titoli e cominciarono a generare prezzi bid del livello di 1 penny o anche meno al fine di rispettare i loro impegni in qualità di market maker, utilizzando le già citate *stub quotes*.

Nonostante il tipo di volatilità verificatosi quel giorno fosse molto insolito, ancora più straordinario fu il fatto che oltre 20.000 contrattazioni furono eseguite a prezzi che si discostavano di più del 60% dal loro valore precedente le 2.40 p.m. Queste contrattazioni furono in seguito cancellate dai mercati e dall’autorità di regolazione FINRA, perché erano eseguite a prezzi chiaramente non realistici. Quasi due terzi dei titoli coinvolti nelle contrattazioni interrotte furono eseguiti a prezzi inferiori a 1.00 \$ e circa il 5% a prezzi sopra 1.00 \$.

Il 6 maggio, sia gli ordini di mercato sia i “limit order” furono contrattati in cambio di *stub-quote*. Infatti, un ordine di mercato, dopo essere stato inviato, cerca immediatamente la migliore liquidità disponibile, senza guardare il prezzo. Se la sola liquidità disponibile è rappresentata da una *stub-quote*, l’ordine sarà eseguito in cambio di quel prezzo. Allo stesso modo, se un limit order è inviato con un limite di prezzo che rappresenta il valore NBBO corrente e l’NBBO in quel momento è una *stub-quote*, a causa della mancanza di altra liquidità, sarà anch’esso eseguito al prezzo della *stub-*

*quote*. Poiché le *stub-quotes* sono spesso generate automaticamente, ne vengono create continuamente e sono immediatamente disponibili a ricevere i successivi “market” o “limit order”.

## **2.4 Influenza di fattori addizionali**

In questa sezione saranno esaminati tre ulteriori fattori che possono aver influenzato gli eventi del 6 maggio 2010. In particolare essi sono: l’uso dei “Liquidity Replenishment Points” da parte del NYSE, in cui sono riunite le contrattazioni riguardanti i titoli presenti su quel mercato che riportano movimenti rapidi di prezzo; le dichiarazioni di *self-help* da parte del Nasdaq nei confronti del NYSE Arca, per cui il Nasdaq interrompe temporaneamente l’invio di ordini verso quel mercato; infine il ritardo nella quotazione e trasmissione di dati diffusi dal CTS (Consolidated Tape System) e dal CQS (Consolidated Quotation System).

### **2.4.1 NYSE Liquidity Replenishment Points**

Il NYSE utilizza un sistema di trading elettronico ibrido, al contrario di quanto avviene nella maggior parte dei mercati che usano sistemi completamente elettronici. All’interno di questo modello sono state implementate bande di prezzo note come “liquidity replenishment points” che servono a “raffreddare” temporaneamente la volatilità, convertendo un mercato automatizzato in un mercato ad asta manuale quando si raggiungono movimenti di prezzo di una certa dimensione. In tal caso la contrattazione sul NYSE diventa più lenta e le esecuzioni automatizzate cessano per un certo periodo, che può andare da una frazione di secondo a uno o due minuti per permettere al Designated Market Maker (DMM) di immettere ulteriore liquidità prima di ritornare alle contrattazioni automatiche.

Le fasce di LRP variano in base ad ogni prezzo del titolo e alla media giornaliera dei volumi all'interno di un certo range, generalmente tra l'1% e il 5% del prezzo del titolo. È importante notare che un LRP non causa una pausa nelle contrattazioni, ma solo un rallentamento, impedendo l'esecuzione di ordini oltre le fasce di prezzo previste dal LRP.

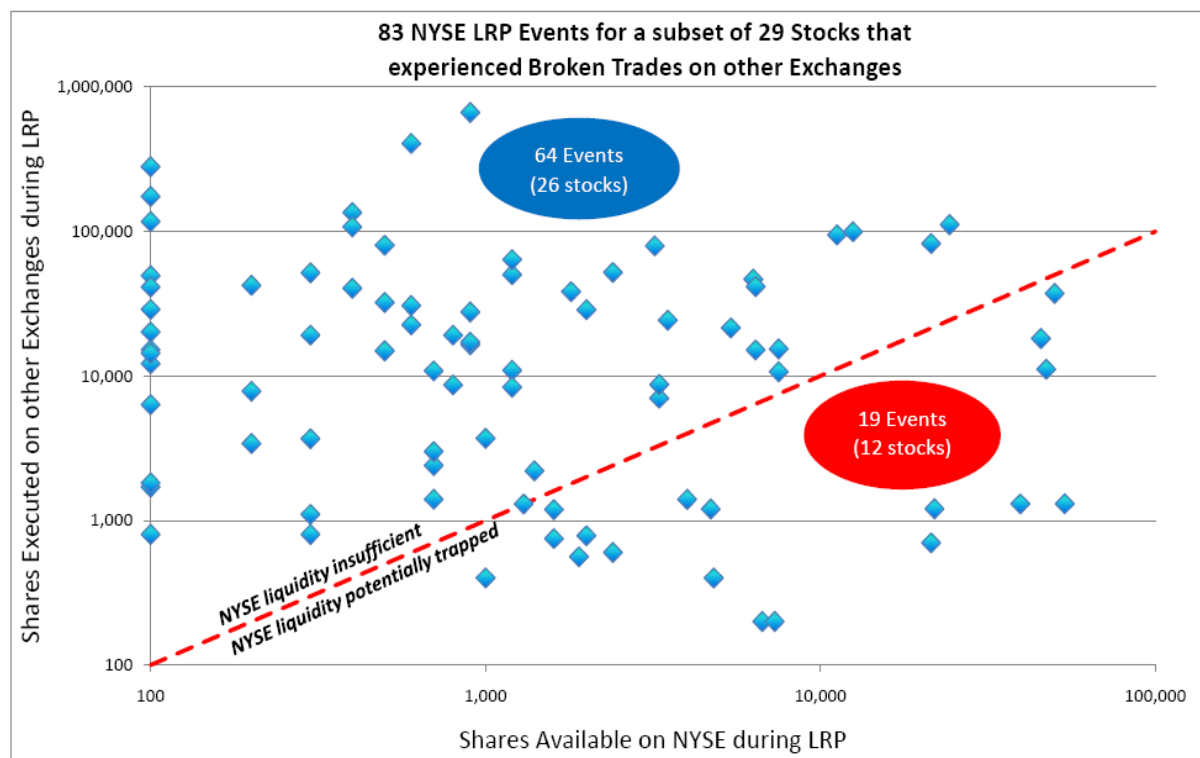
La maggior parte degli LRP si concludono in meno di un secondo, quando acquisti o vendite addizionali riportano i prezzi all'interno delle fasce previste, o si risolvono altrettanto velocemente tramite l'algoritmo di un DMM che porti ad una ripresa del prezzo. In alcuni casi l'algoritmo viene utilizzato per determinare il prezzo al quale le contrattazioni automatizzate possono riprendere; in altri casi, quando è richiesta ulteriore liquidità, la ripresa del prezzo viene determinata manualmente dal market maker tramite un processo che può durare da qualche secondo a più di un minuto. In giorni di straordinaria volatilità, i titoli che riportano significativi e continui ribassi possono far rimanere il NYSE nella modalità "lenta" per periodi molto lunghi o causare uno stato di intermittenza ritornando alle esecuzioni automatiche e di nuovo innescando un LRP.

Il pomeriggio del 6 maggio molti titoli innescarono gli LRP in diversi momenti, e nonostante il 75% degli scambi si concluse in meno di un secondo, altri durarono molti secondi. Tra le 2.30 p.m. e le 3.00 p.m. più di 1000 titoli diedero vita a eventi di LRP della durata di più di un secondo, mentre in un giorno medio se ne arrivano a contare circa 20-30 eventi.

In base alle testimonianze raccolte dalla SEC, il fatto che si sia verificato un tale utilizzo di LRP, sottolinea quanto siano state estreme le condizioni del mercato, al punto da giocare un ruolo fondamentale nelle decisioni dei partecipanti di ridurre la liquidità, interrompere gli scambi o ritirarsi dalle contrattazioni. Nonostante i partecipanti furono in grado di inviare i loro ordini senza problemi, è possibile che una parte di liquidità sia stata "intrappolata" durante l'innescò di LRP, e che abbia assorbito un po' della pressione di vendita verificatasi quel giorno. Notiamo, infatti, che l'80% dei 326 titoli che interruppero le contrattazioni, non erano quotate sul NYSE. Per quanto riguarda tale mercato, 42 dei 56 titoli, i cui scambi furono interrotti, furono oggetto di 180 LRP della durata di 10 secondi o più. La SEC si chiede se il NYSE abbia, dunque, "intrappolato"

liquidità aggiuntiva proveniente da altri mercati durante l’innescò di LRP. Sulla base del campione esaminato, non sembra che un numero sostanziale di esecuzioni abbia tratto profitto dall’accesso alla liquidità del NYSE. Per più della metà degli LRP non ci fu possibilità di “intrappolare” la liquidità perché non furono riportati scambi su altri mercati durante gli eventi di LRP.

Per 83 LRP su 29 titoli che contemporaneamente hanno interrotto le contrattazioni su altri mercati, c’era liquidità disponibile sul NYSE. La figura seguente presenta questa situazione su una griglia che mette a confronto il numero di ordini eseguiti su altri mercati posizionandoli sull’asse delle ordinate (da 100 a 1 milione), con il numero di titoli sul NYSE durante gli LRP sull’asse delle ascisse (da 100 a 100.000).



**Figura 2.5:** Titoli disponibili sul NYSE (in 500 punti base dell’NBBO) comparati a titoli scambiati su altri mercati durante LRP della durata di 10 secondi o più.

È importante notare che nei dati sono inclusi tutti i titoli scambiati su altri mercati e non solo quelli che hanno interrotto le contrattazioni. Sulla base di questo vediamo che ci furono solo 19 eventi LRP su 12 titoli in cui la liquidità sul NYSE fu in grado di assorbire la pressione degli ordini di vendita.

Considerando, dunque, le azioni dei partecipanti al mercato e il fatto che furono comunque in grado di inviare ordini anche “lenti” e di cancellarli qualora fosse desiderato, il fatto che la maggior parte dei titoli che interruppero le contrattazioni non furono soggetti a LRP, e che, di quei titoli sottoposti a eventi duraturi di LRP, solo 12 ebbero la liquidità sufficiente sul NYSE per assorbire parte della pressione di vendita che fu eseguita su altri mercati, la SEC conclude che il Liquidity Replenishment Point del NYSE non fu la causa della crisi di liquidità verificatasi il 6 maggio 2010.

## **2.5 Dichiarazione di Self-Help nei confronti del NYSE Arca**

Un'altra questione posta dalla SEC è se la dichiarazione di *self-help* da parte del Nasdaq nei confronti del NYSE Arca alle 2:36:59 p.m. e del Nasdaq OMX BX alle ore 2:38:40 p.m. (“Self-Help Declarations”) abbia influenzato o meno la disponibilità di liquidità durante la giornata del 6 maggio e quindi abbia contribuito allo squilibrio tra domanda e offerta di liquidità. Il *self-help* è un'eccezione alla Rule 611 della Regulation NMS (Regulation National Market System) che permette (ma non impone) a un *trading center* di “bypassare” le quotazioni di un altro mercato nel caso in cui quest'ultimo stia avendo problemi al sistema. Questa eccezione permette di assicurare che, ai partecipanti, non sia imposto di inviare ordini da eseguire “contro” le quotazioni richieste. Dichiarando Self-Help nei confronti del NYSE Arca, il Nasdaq e il Nasdaq OMX BX eseguirono gli scambi e inviarono gli ordini senza considerare le quotazioni presenti sul NYSE Arca.

## 2.5.1 Rule 611

In generale, la Rule 611 (a)<sup>7</sup> impone ai “trading centers”<sup>8</sup> (termine che include ogni tipo di mercato tra cui sistemi di trading alternativi, market maker, OTC market maker e ogni tipo di broker-dealer che svolge la sua attività all’interno del mercato) di fondare, mantenere e far rispettare norme e procedure scritte per evitare i cosiddetti “trade-throughs”<sup>9</sup> e quindi gli scambi eseguiti a prezzi inferiori alle “quotazioni protette”. Per essere “protetta” una quotazione deve essere, tra le altre cose, immediatamente e automaticamente accessibile. Una quotazione avente un prezzo sopra o sotto il suo “best-price” non è una quotazione protetta.

La Rule 611 (b) fornisce un numero di eccezioni finalizzate a impedire i *trade-throughs*, una di queste è comunemente conosciuta come “self-help”. Più specificatamente, la Rule 611 (b)(1) parla di un *trade-through* che sia stato influenzato in un momento in cui un trading center abbia un problema causando ritardi materiali e malfunzionamento del sistema. Il Regulation NMS Adopting Release ha poi interpretato questa regola dando l’opportunità ai trading center di “bypassare” le quotazioni di altri centri nel caso in cui questi ultimi non rispondano ripetutamente all’invio di ordini nel giro di un secondo, il che fornisce ai mercati una certa flessibilità, permettendo loro di fare riferimento ad altri centri nel corso della giornata di contrattazione.

Per capire quale sia stato l’effetto del Self-Help durante la giornata del 6 maggio, è anche importante riconoscere che cosa questa eccezione “non” produce. In particolare, la Dichiarazione di Self-Help da parte di un trading center nei confronti di un altro mercato non rimuove automaticamente le quotazioni di quest’ultimo dalla composizione delle quotazioni protette, né autorizza un altro partecipante (all’infuori del dichiarante) di bypassare le quotazioni del mercato preso in considerazione. Questo riflette la natura variabile dei problemi di sistema che possono riguardare l’invio e l’esecuzione di ordini. In alcune circostanze, un mercato può conoscere problemi che riguardano tutti i

---

<sup>7</sup> Rule 611: Order Protection Rule. Regulation NMS.

<sup>8</sup> Termine che include ogni tipo di mercato tra cui sistemi di trading alternativi, market maker, OTC market maker e ogni tipo di broker-dealer che svolge la sua attività all’interno del mercato

<sup>9</sup> Rule 600(b)(77) : acquisto o vendita di un titolo durante le regolari ore di contrattazione al prezzo più basso di un *protected bid* o più alto di una *protected offer*



“routers”, ma in alcuni casi i problemi possono riguardare l’invio di un solo ordine o di gruppi di ordini (ad esempio problemi di connettività). L’uso dell’eccezione del self-help, dunque, è limitato a quei trading center che hanno ragione di credere che gli ordini inviati ad un mercato possano essere colpiti dai problemi al sistema di quel mercato.

## **2.5.2 Valutazione delle Dichiarazioni di Self-Help**

Il Nasdaq ha dichiarato *self-help* nei confronti del NYSE Arca alle ore 2:35:59 p.m. e il Nasdaq OMX BX alle ore 2:38:40 p.m. Per il primo la dichiarazione fu revocata alle 3:01:09 mentre per il secondo alle ore 3:01:55. I dati hanno indicato che, per un sottoinsieme di titoli, il NYSE Arca non ha risposto all’invio di ordini inviati da questi mercati nel giro di un secondo. In accordo, dunque, con quanto visto nella Rule 611, il Nasdaq e il Nasdaq OMX BX riferirono immediatamente al NYSE Arca il loro ricorso al *self-help*. Inoltre resero pubblica la loro decisione pubblicandola sul loro sito Internet.

Come detto precedentemente in merito alla Rule 611, la dichiarazione di Self-Help, autorizzò solo il Nasdaq e il Nasdaq OMX BX a scambiare senza prendere in considerazione le quotazioni del NYSE Arca. Nonostante gli altri partecipanti fossero a conoscenza delle dichiarazioni di Self-Help, continuarono a inviare ordini al NYSE Arca.

Ci fu un singolo caso di un partecipante che non dichiarò self-help ma semplicemente rimosse il NYSE Arca dal suo programma di invio di ordini contemporaneamente alla dichiarazione del Nasdaq.

Uno dei possibili effetti della Dichiarazione di Self-Help il 6 maggio, è che questo potrebbe aver portato ad una inaccessibilità della liquidità sul NYSE Arca nel momento in cui il Nasdaq e il Nasdaq OMX BX cominciarono a bypassare le quotazioni su quel mercato. Per capire quantitativamente la dimensione in cui il Self-Help potrebbe aver causato un aggiramento della liquidità del NYSE Arca, sono stati esaminati due tipi di dati: 1) la percentuale del volume di scambi eseguito sul NYSE Arca prima e dopo le dichiarazioni di Self-Help, 2) il volume degli ordini di vendita di liquidità eseguiti

sempre sul quel mercato durante il ribasso generale dei prezzi, comparato al volume degli ordini di vendita di liquidità che il Nasdaq avrebbe deviato verso altri mercati in quello stesso periodo.

Il NYSE Arca eseguì un volume di scambi simile prima e dopo le dichiarazioni di Self-Help. Dalle 2:00 p.m. fino alle 2:36 p.m. la percentuale del volume di titoli scambiati su quel mercato, tra tutti i titoli presenti sul National Market System, fu di circa 14,7%. Dalle 2:37 p.m. fino alle 3:00 p.m. la percentuale fu di circa il 15,4%. Questi dati indicano che la liquidità del NYSEA Arca continuò ad essere accessibile anche dopo le Dichiarazioni di Self-Help.

Per riassumere quanto detto, le Dichiarazioni di Self-Help non hanno contribuito direttamente al grave squilibrio tra domanda e offerta di liquidità il 6 maggio 2010. In più, quasi tutti i partecipanti hanno continuato a inviare ordini direttamente al NYSE Arca quando questo presentava le quotazioni “best-priced”. Questo flusso di ordini permise alle contrattazioni su tale mercato, e ai prezzi, di rimanere allineati a quelli degli altri mercati.

## **2.6 Distribuzione dei dati di mercato**

La Rule 603 (b) della Regulation NMS prevede che i mercati e l'autorità di regolazione (FINRA) operino congiuntamente affinché siano diffuse informazioni consolidate su quotazioni e transazioni su tutti i circuiti nazionali (NMS). Queste informazioni sono distribuite tramite processori che raccolgono i dati e li preparano per la pubblicazione, e riguardano prezzi e dimensioni delle quotazioni e delle esecuzioni degli ordini. Inoltre, molti mercati offrono, direttamente ai consumatori, un sistema di dati interno (*proprietary data feeds*), che include i dettagli delle contrattazioni e degli ordini solo su quel mercato. Questi dati devono essere forniti rispettando i termini di correttezza e ragionevolezza e non dovrebbero essere inviati ai consumatori prima di quelli che giungono dai processori del circuito nazionale. Ad ogni modo, non trattandosi di dati consolidati spesso raggiungono l'utente finale più velocemente di quelli consolidati.

Il pomeriggio del 6 maggio 2010, il NYSE registrò ritardi significativi nella diffusione di informazioni riguardanti alcune quotazioni ed esecuzioni. Quando ciò avvenne, il NYSE era nel mezzo di un aggiornamento dei sistemi di trasmissione e pubblicazione dei dati. La spiegazione fornita alla SEC, da parte del NYSE, fu che un così alto volume di dati avrebbe ritardato la diffusione di informazioni su quotazioni e esecuzioni di 1.665 titoli quotati su quel mercato, che furono scambiati su server che non erano stati aggiornati.

Tra le 2:44:45 p.m. e le 2:46:29 p.m. le quotazioni dei 1.665 titoli ebbero un ritardo medio di oltre 10 secondi sul CQS, e oltre 40 di essi, tra le 2:45 p.m. e le 2:50 p.m., ebbero un ritardo di oltre 20 secondi. Nel totale il ritardo medio fu di circa 5 secondi. Durante quel periodo di 5 minuti, invece, il NYSE diffuse informazioni riguardanti i 1.665 titoli tramite un sistema interno di dati, con un ritardo medio di circa 8 millisecondi.

Le regole della SEC richiedono che i mercati e l'autorità di regolazione, FINRA, forniscano dati accurati a CTS (Consolidated Tape System) e CQS (Consolidated Quotation System), tempestivamente, per informare tutti i partecipanti in merito alle attività di quotazione e contrattazione che avvengono sul mercato. Il tema dei ritardi nella trasmissione di informazioni è molto rilevante in un'ottica di efficienza dei mercati, e ha sempre interessato l'opinione pubblica. A maggior ragione è molto importante capire quanto questi ritardi possano aver influenzato le contrattazioni il 6 maggio.

I sistemi CTS e CQS rappresentano un metodo consolidato di quotazione all'interno della rete di mercati nazionali statunitensi. Come tali, i relativi tempi di contrattazione e quotazione all'interno di questi sistemi sono soggetti a ritardi aggregati, che generalmente sono di circa 10 millisecondi. Di conseguenza, i processi automatizzati che prendono decisioni di trading basandosi su questi sistemi, non dovrebbero essere stati direttamente influenzati dai ritardi causati dall'attività dei CTS e CQS. Le preoccupazioni in merito all'integrità dei dati hanno contribuito a interrompere i sistemi di contrattazione automatizzata. I controlli effettuati a tal proposito, basati sui sistemi CTS e CQS, sarebbero stati influenzati dai ritardi dei dati consolidati di mercato, e le

imprese che hanno utilizzato controlli sull'integrità dei dati riportano che questo avrebbe influito sulle loro decisioni di interrompere le contrattazioni.

Per le imprese che usarono strategie di trading meno *time-sensitive* i cui sistemi automatizzati fecero riferimento esclusivamente ai dati provenienti da CTS e CQS, i ritardi nel sistema di distribuzione dati potrebbero aver causato le pause nelle contrattazioni. Alcune di queste imprese hanno riportato che tali ritardi ebbero un ruolo decisivo nelle loro decisioni di ridurre o fermare gli scambi nella giornata del 6 maggio, anche se non furono le sole ragioni. Anche se queste imprese non sono generalmente dei market maker o dei *liquidity providers*, tuttavia rappresentano agenti compratori o venditori molto rilevanti.

Sono state fornite ulteriori ipotesi in merito alle implicazioni di questi ritardi dei dati. In particolare, è stato ipotizzato che i trader avrebbero potuto trarre vantaggio dal ritardo tra i dati di mercato consolidati e i dati forniti dal sistema interno, comprando titoli a prezzi stabiliti sulla base degli uni e vendendo a prezzi stabiliti sulla base degli altri. In generale non è possibile che ciò avvenga, perché i dati consolidati non riflettono un sistema di mercato separato. Un'eccezione potrebbe essere rappresentata dalle cosiddette *dark pools* (piattaforme di scambio alternative che permettono agli investitori di operare senza che gli altri vengano a conoscenza delle loro decisioni) che eseguono scambi basati su prezzi di mercato, ma utilizzano come riferimento i prezzi forniti dai sistemi di dati consolidati piuttosto che i dati diffusi internamente da un mercato. In tal caso, un trader potrebbe inviare un ordine alla *dark pool* sperando che sia eseguito a un vecchio prezzo e poi potrebbe inviare un ordine su un mercato per catturare la differenza di prezzo tra il prezzo corrente e il vecchio prezzo. Ad ogni modo, si ha motivo di credere che una tale pratica di trading sia assolutamente limitata.

Dopo un attento studio da parte dei partecipanti in merito ai ritardi dei dati del 6 maggio, è stato ipotizzato che questi siano il risultato di pratiche di manipolazione chiamate "quote-stuffing", in cui alti volumi di quotazioni sono inviati di proposito ai mercati per creare ritardi nei dati, il che permetterebbe alle imprese che inviano queste quotazioni di trarre vantaggio.

Le investigazioni da parte della SEC rivelano che i più grandi e irregolari movimenti di prezzi registrati il 6 maggio 2010 furono causati dal ritiro della liquidità e dalle seguenti esecuzioni di ordini tramite *stub-quotes*. Sono stati intervistati numerosi partecipanti che agirono in tal senso, e ognuno di essi ha svariate ragioni per giustificare le proprie azioni e le decisioni prese durante il 6 maggio 2010. Per quanto riguarda quei *liquidity providers* che basano le loro decisioni sui dati forniti da CTS e CQS, c'è evidenza che i ritardi sistematici avrebbero influenzato le loro azioni. Ad ogni modo, non è supportata l'ipotesi che tali ritardi abbiano innescato o causato i livelli estremi di volatilità dei prezzi dei titoli osservati quel giorno.

## **2.7 Analisi degli *order book* di alcuni titoli del mercato statunitense**

La SEC, nel suo report, ha esteso la propria analisi includendo gli *order book* di molti titoli e ETF, ottenendo i dati dal NYSE OpenBook Ultra e NYSE ArcaBook, dal Nasdaq ModelView e dal BATS (il terzo più grande mercato dell'equity statunitense). Queste fonti forniscono una fotografia degli *order book* di tutti i titoli quotati su tali mercati. Sono stati, dunque, misurati i prezzi relativamente a quanto si discostarono dal prezzo medio dell'NBBO. Questi dati forniscono un'immagine dettagliata della liquidità disponibile per ogni titolo, nel corso del 6 maggio 2010, contenendo gli ordini ricevuti, modificati, cancellati ed eseguiti, per un totale di 5.3 miliardi di registrazioni.

Sono ora presentati i grafici di alcuni dei titoli selezionati dalla SEC ai fini dell'analisi delle variazioni, minuto per minuto, della dimensione degli *order book*, tenendo conto di ordini eseguiti e cambi di prezzo. I dati presentati in ogni grafico includono:

- *Intensità degli ordini*. Le barre di colore blu mostrano l'intensità degli ordini non “aggressivi” dal lato di acquisto, mentre le barre verdi ne mostrano l'intensità dal lato della vendita. Vi è uno spazio bianco tra ogni minuto durante le ore di contrattazione, e l'altezza delle barre nelle sfumature più chiare mostrano il numero di titoli disponibili all'acquisto o alla vendita all'interno di

10 punti base del livello medio dell'NBBO. Man mano che la sfumatura si fa più scura, il range di prezzo si espande, inizialmente per incrementi di 10 punti base e in seguito per incrementi più grandi. È importante notare che il range di prezzi riflesso dai colori più scuri è associato a incrementi di prezzo non lineari. Per ogni titolo ci sono due tipi di grafici: i primi due rappresentano la liquidità compresa in 500 punti base del livello medio dell'NBBO, il terzo mostra tutta la liquidità disponibile.

- *Prezzi*. La linea tratteggiata gialla mostra il prezzo minimo di esecuzione per ogni minuto ottenuto dal NYSE Trades and Quotes database.
- *Net Aggressive Buy Volume*. I grafici includono anche una linea rossa che mostra il numero di scambi eseguito definito come Net Aggressive Buy Volume, calcolato sommando il numero di scambi eseguiti ogni minuto risultanti da ordini in acquisto e *limit order* di acquisto prezzati sopra o alla pari al *national best offer*, e sottraendo il numero di scambi eseguiti in quello stesso minuto risultante dagli ordini di vendita e dai *limit order* di vendita prezzati sotto o pari al national best bid.

I grafici mostrano chiaramente che alle 2:45 p.m. circa ci fu una rapida diminuzione della liquidità per ogni titolo. Per alcuni, il declino fu più rapido rispetto ad altri e in alcuni casi la dimensione della diminuzione fu più drammatica di altri.

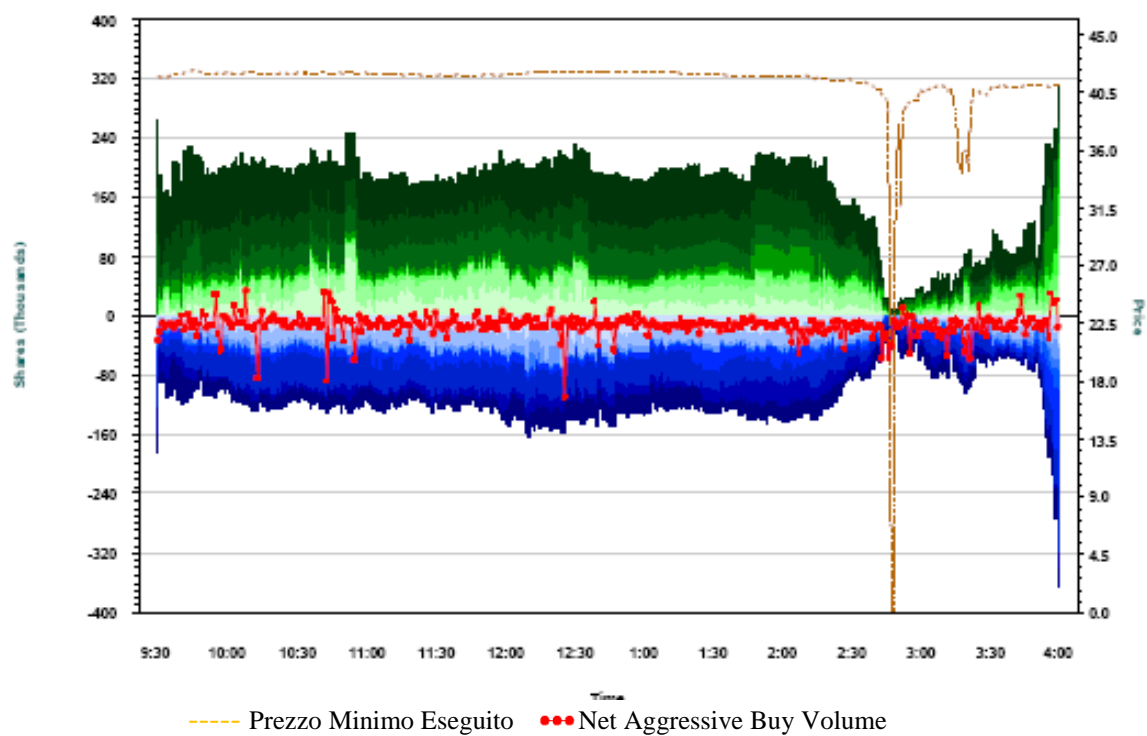
### **2.7.1 Accenture plc (ACN):**

Il titolo Accenture passò da circa 40\$ a un centesimo fino a recuperare tutto il suo valore nel giro di pochi secondi. L'offerta passò rapidamente in sette secondi da circa 30\$ alle 2:47:47 p.m. a 0,01 \$ alle 2:47:54 p.m. Le figure seguenti mostrano che prima delle 2:20 p.m. c'erano circa 200.000 titoli disponibili in vendita, e da 120.000 a 140.000 in acquisto all'interno dei 500 punti base del prezzo medio NBBO. Al di fuori di questo range di prezzi, si trovano dai 400.000 ai 600.000 titoli associati a ordini di vendita e, prima delle 2:30 p.m., dai 50.000 ai 100.000 titoli associati a ordini di

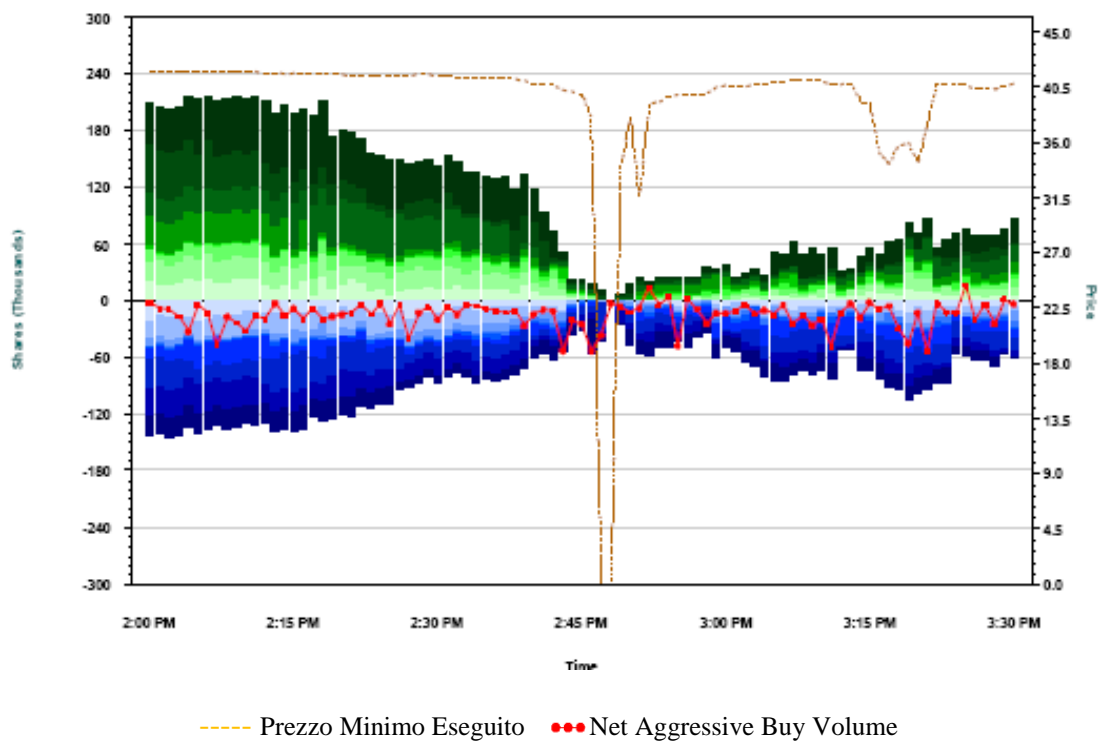
acquisto. In totale il numero degli ordini di vendita rappresenta il doppio degli ordini di acquisto e in alcuni casi anche di più.

Dopo le 2:20 p.m. la liquidità iniziò a ridursi gradualmente sia dal lato dell'acquisto che di quello della vendita. Fino alle 2:40 p.m., l'ammontare di liquidità dal lato della vendita compresa nei 500 punti base, continua a superare la liquidità dal lato della vendita del 100%, e fuori da quel range anche di più. Nei minuti successivi la liquidità della vendita precipita al punto che alle 2:43 c'erano solo 50.000 titoli disponibili sia all'acquisto che alla vendita. Dalle 2:43 alle 2:44 p.m., la liquidità in vendita diminuì fortemente, mentre quella dal lato dell'acquisto ebbe un calo minore, tanto che alle 2:44 p.m. c'erano approssimativamente 33.000 titoli associati a ordini di acquisto e solo 22.000 associati a ordini di vendita, compresi nel range dei 500 punti base.

I grafici includono anche informazioni a proposito dei flussi di ordini, in particolare il numero degli ordini di acquisto "aggressivi" per minuto. I dati indicano che ci furono molti più ordini in vendita che in acquisto nel corso di quel giorno, con poche eccezioni. Sulla base di questi dati, sembra chiaro che la caduta dei prezzi fu associata alla diminuzione della liquidità contemporaneamente ad un aumento della pressione di vendita.

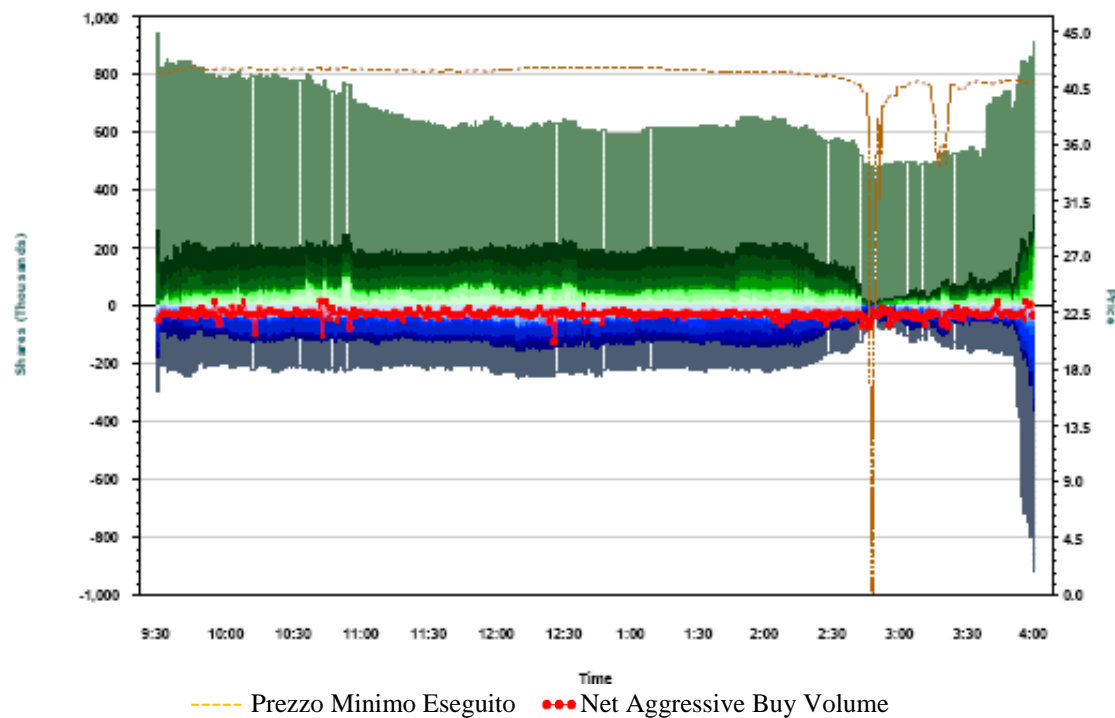


**Figura 2.6:** Accenture plc (ACN), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.



**Figura 2.7:** Accenture plc (ACN), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 2:00 p.m. alle 3:30 p.m.



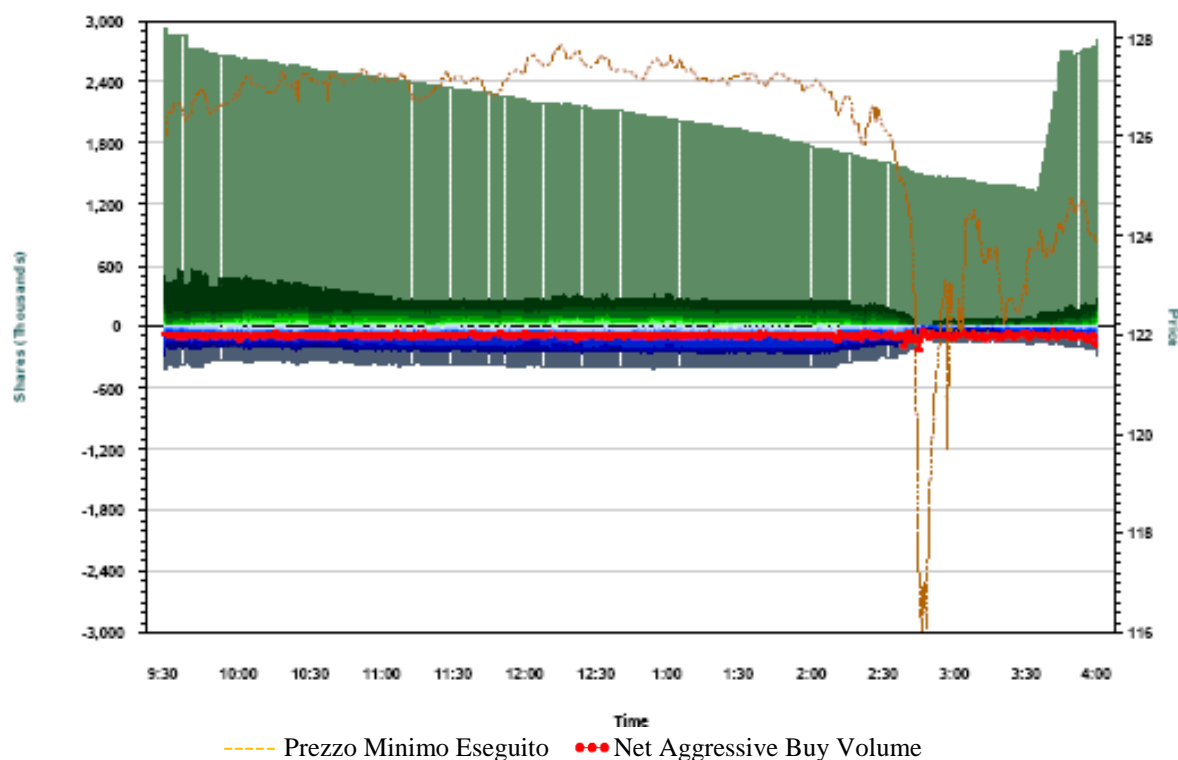


**Figura 2.8:** Accenture plc (ACN), Market Depth totale e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.

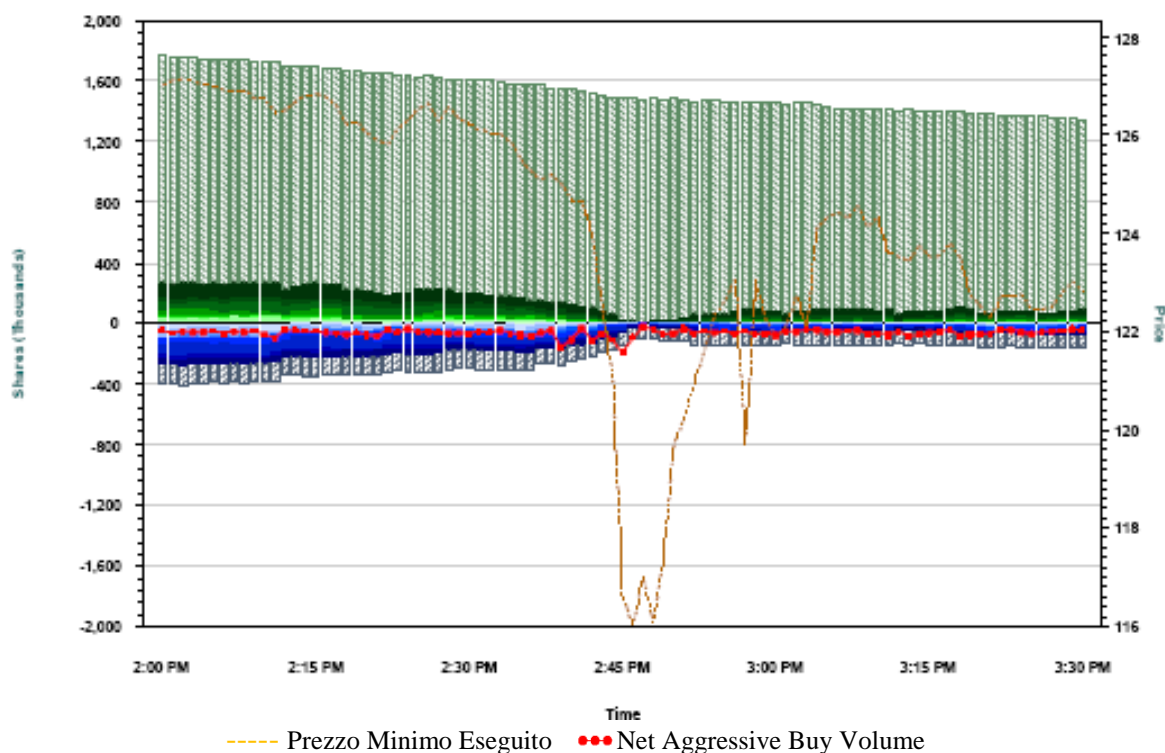
## 2.7.2 International Business Machines Corp (IBM)

Anche nel caso del titolo IBM le figure seguenti mostrano che il livello di liquidità era molto alto prima delle 2:00 p.m. e diminuì rapidamente dopo quell'ora fino a toccare il suo minimo alle 2:47 p.m. La liquidità disponibile alle 2:47 era di circa 10.000 titoli in vendita, compresi nei 500 punti base, e di 30.000, invece, in acquisto, neanche lontanamente paragonabili ai livelli di liquidità disponibile tra le 11:00 a.m. e le 2.10 p.m., di circa 250.000 titoli sia in vendita che in acquisto.

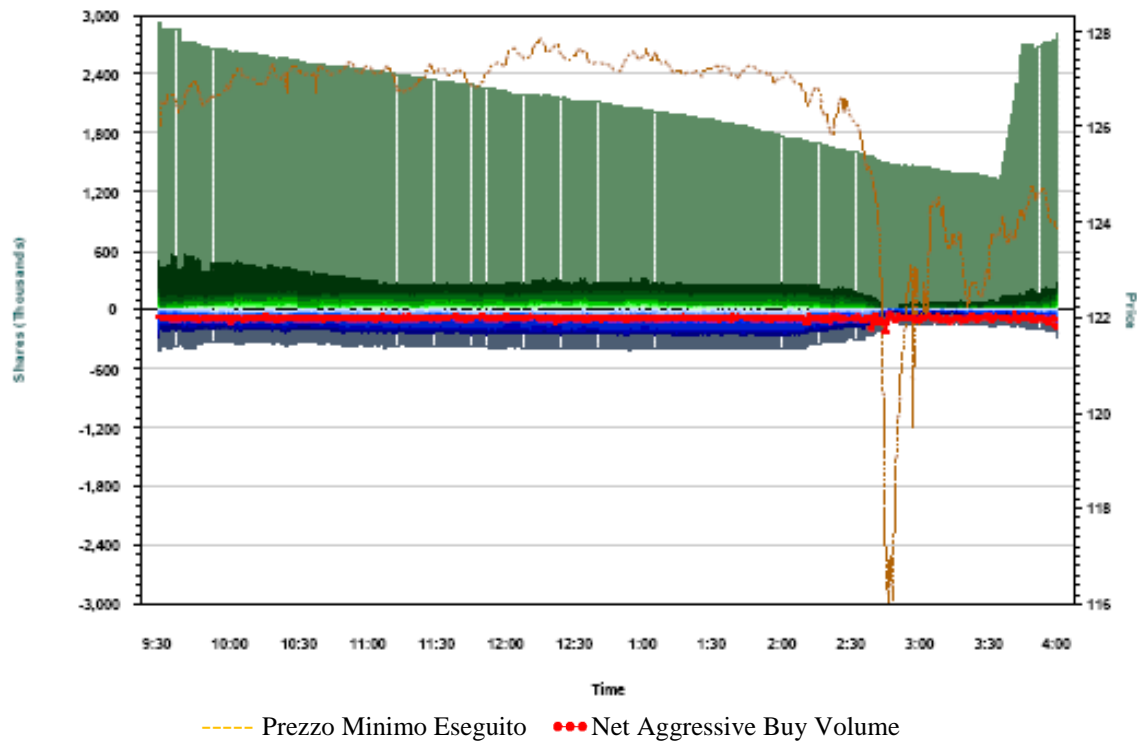
Ad ogni modo, la diminuzione di prezzo del titolo IBM fu modesta rispetto ad altri titoli analizzati, nonostante gli ordini aggressivi di vendita superarono, alle 2:45 p.m., la disponibilità del limit order book. Questo può indicare che arrivarono ordini di acquisto che riempirono l'order book a un ritmo abbastanza veloce da prevenire un'ulteriore erosione di prezzo.



**Figura 2.9:** International Business Machines Corp (IBM), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.



**Figura 2.10:** International Business Machines Corp (IBM), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 2:00 p.m. alle 3:30 p.m.

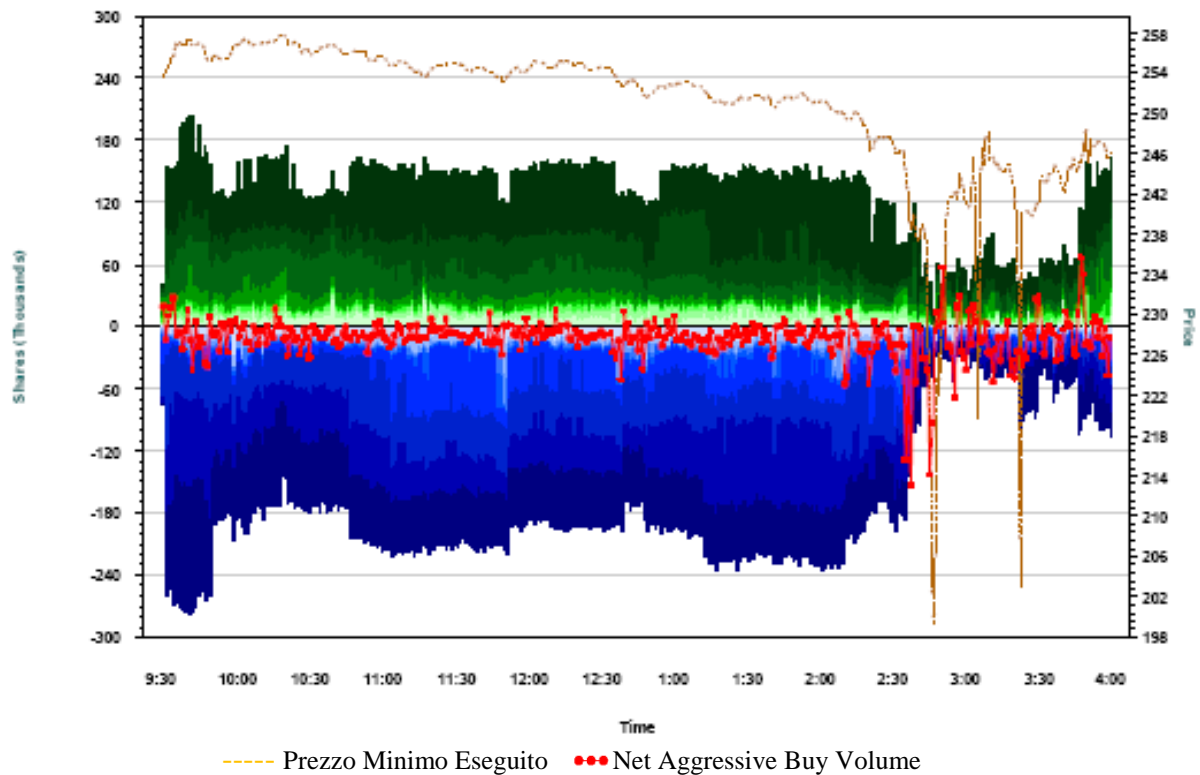


**Figura 2.11:** International Business Machines Corp (IBM), Market Depth totale e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.

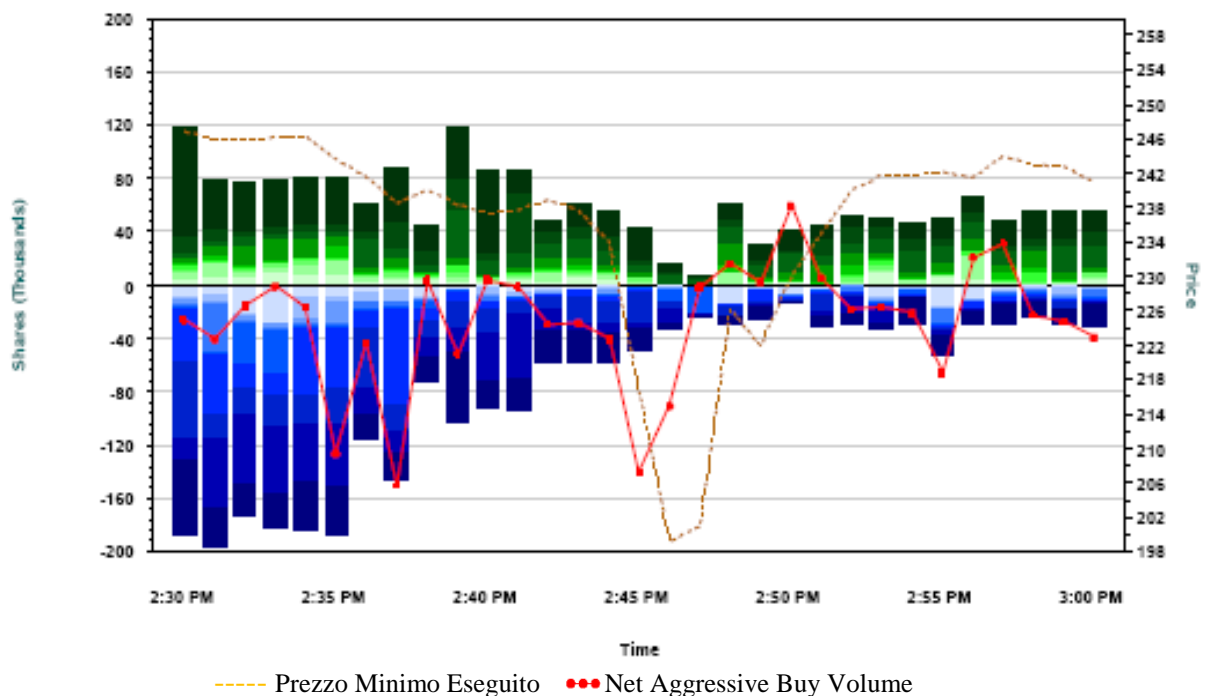
### 2.7.3 Apple Inc. (AAPL)

A differenza dei titoli osservati precedentemente, la dimensione dell'order book di acquisto del titolo AAPL superò quella dell'order book di vendita durante quasi tutto il giorno fino alle ore 2:39 p.m. Ad ogni modo, così come è avvenuto per gli altri titoli, la liquidità diminuì rapidamente tra le 2:30 e le 2:45 p.m., raggiungendo un minimo alle 2:47 quando il prezzo ebbe un notevole ribasso.

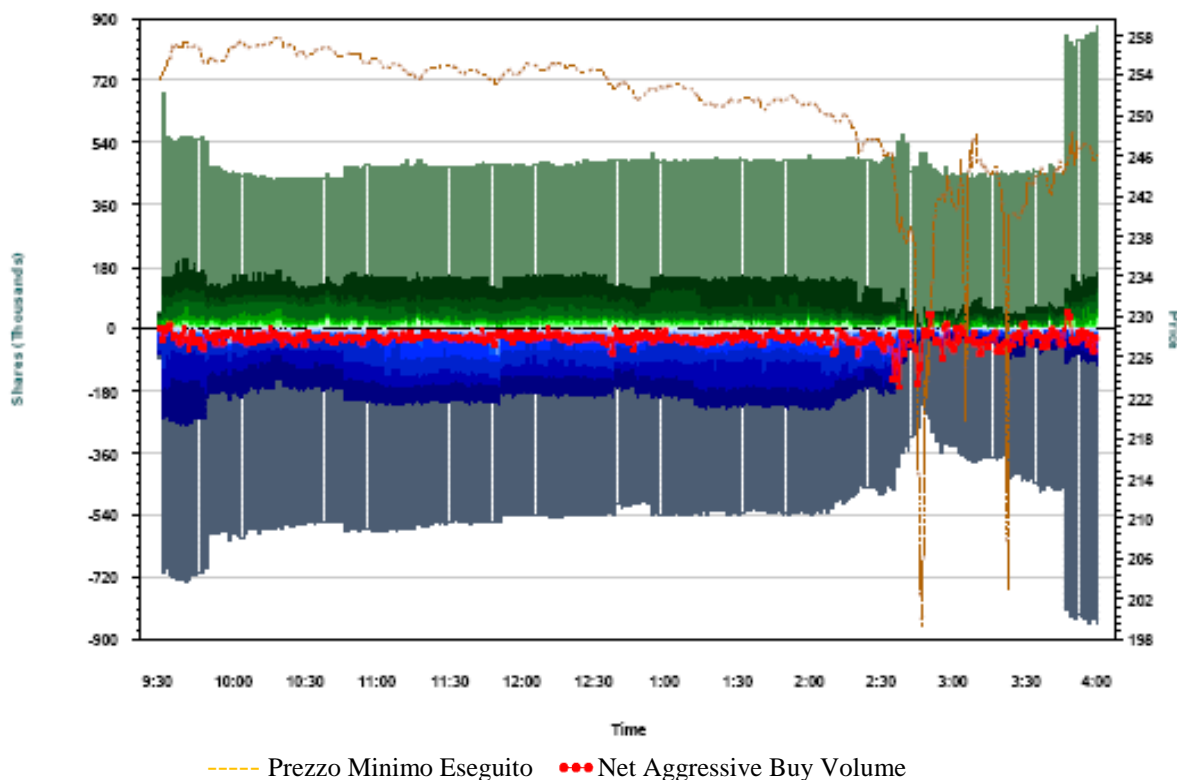
Il titolo AAPL, inoltre, fece registrare picchi di esecuzioni di ordini aggressivi di acquisto nel corso della giornata, che superarono gli ordini aggressivi di vendita. I dati mostrano tre picchi di esecuzioni di ordini aggressivi di vendita alle 2:35, alle 2:37 e alle 2:45 p.m. In ogni caso, non sembra che questi picchi crearono disequilibri tra l'order book di acquisto e di vendita. Alcuni squilibri si manifestarono, piuttosto, alle 2:48, quando il prezzo stava già recuperando.



**Figura 2.12:** Apple Inc. (AAPL), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.



**Figura 2.13:** Apple Inc. (AAPL), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 2:30 a.m. alle 3:00 p.m.

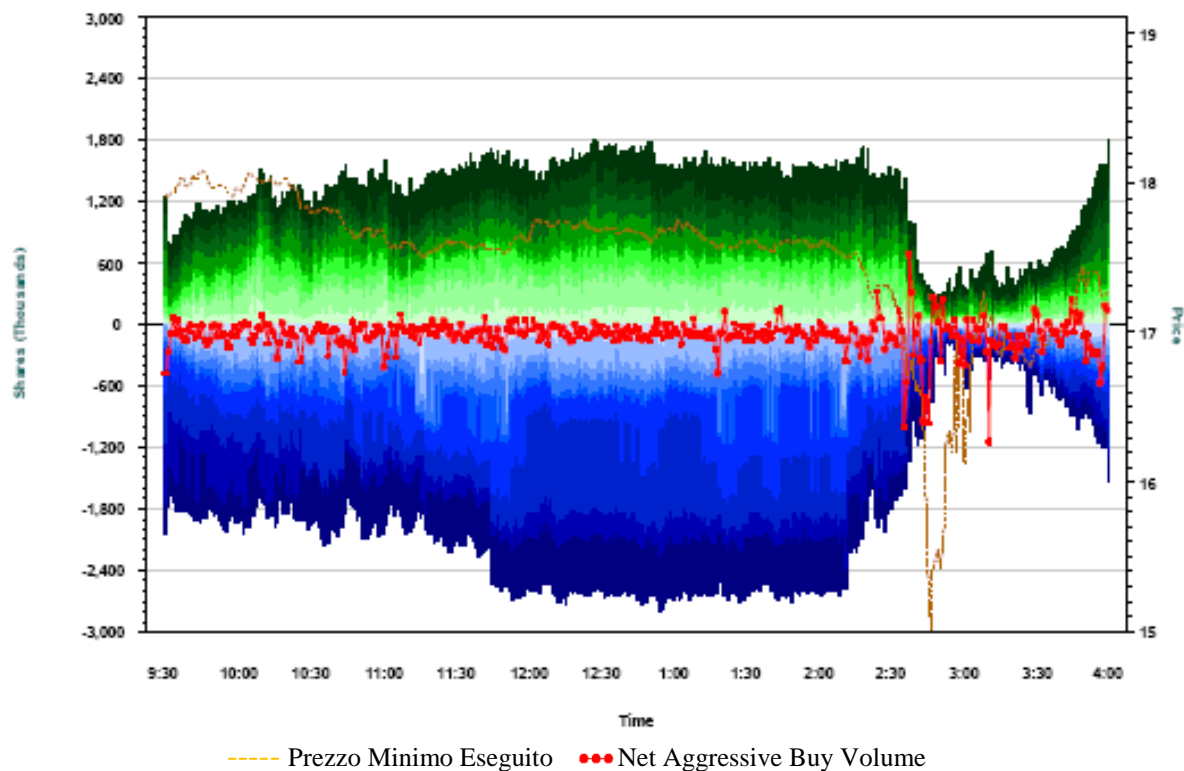


**Figura 2.14:** Apple Inc. (AAPL), Market Depth totale e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.

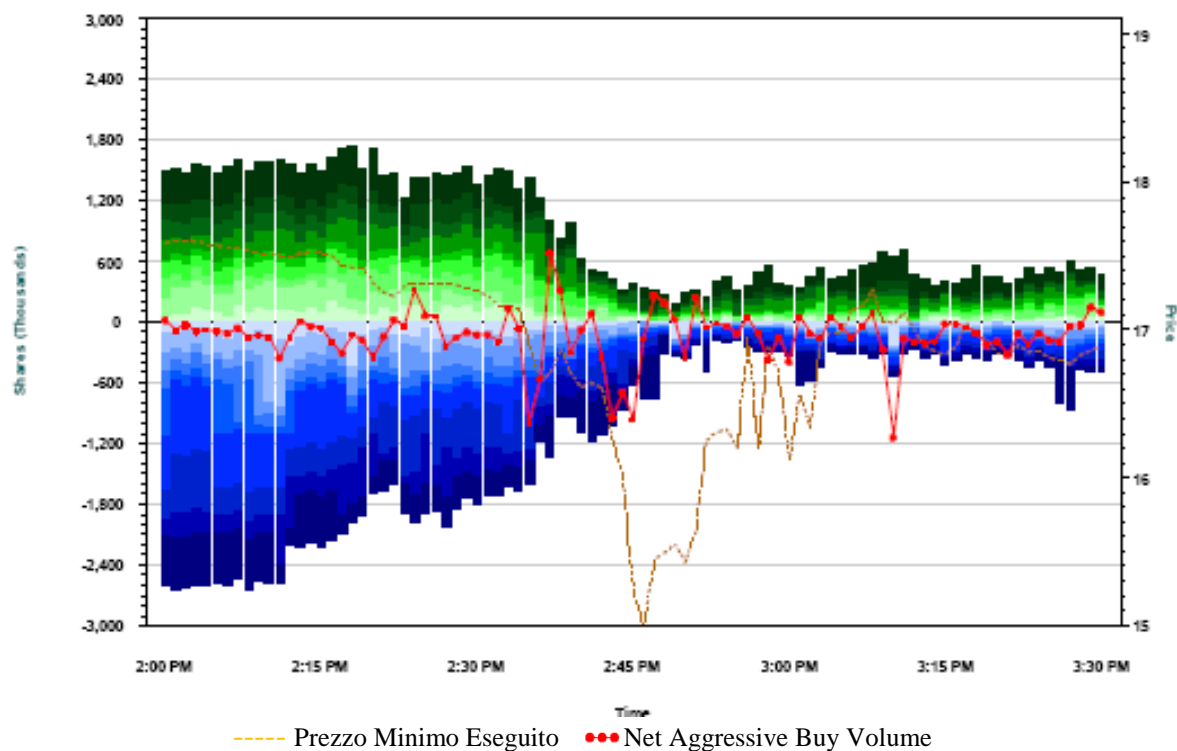
## 2.7.4 General Electric Co. (GE)

I dati riguardanti la liquidità e l'esecuzione di ordini aggressivi non evidenziano una tendenza differente rispetto a quella osservata per gli altri titoli analizzati dalla SEC. General Electric ha un book di dimensioni decisamente superiori dell'ordine di 1.800.000 – 2.500.00 azioni in acquisto e 1.200.000 fino a 1.800.00 di azioni in vendita.

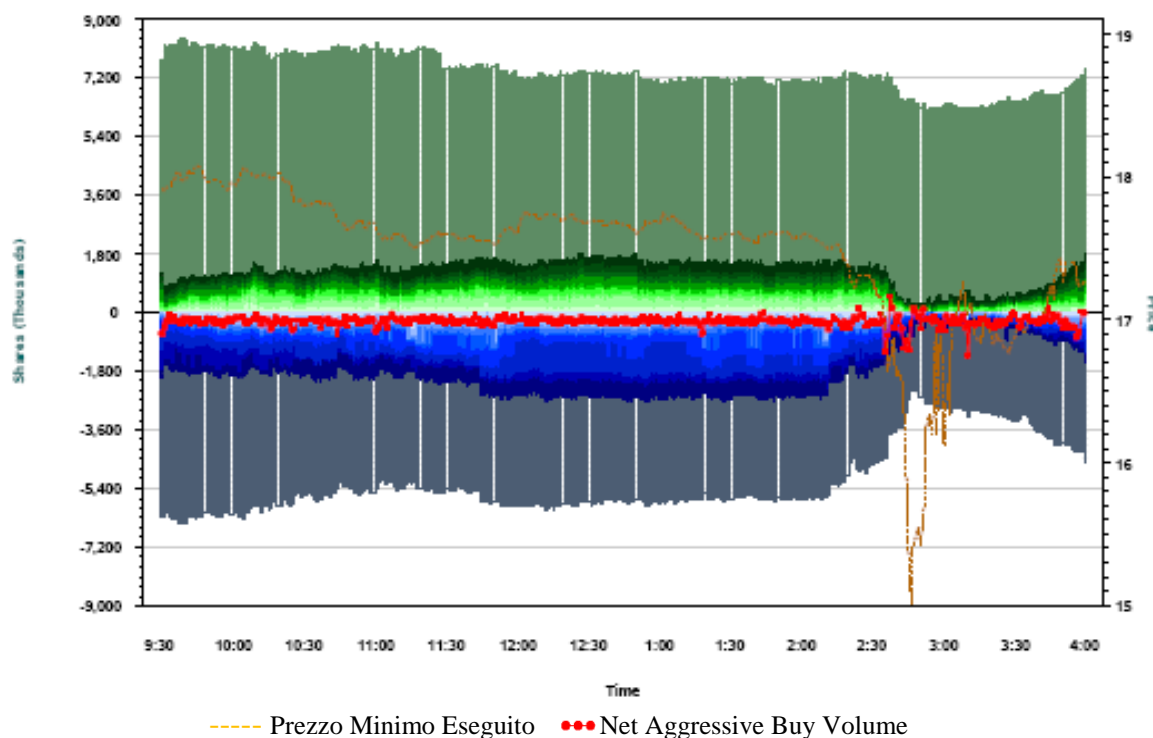
Come il titolo Apple, la sua liquidità in acquisto, all'interno del range dei 500 punti base, eccede la liquidità in vendita, ma al di fuori di questo range, GE registrò una maggiore vendita di liquidità. Così come gli altri titoli, la liquidità diminuì notevolmente attorno alle 2:30 p.m., e tra le 2:47 e le 2:48 p.m., raggiunse un minimo di 200.000 azioni dal lato della vendita e 250.000 dal lato dell'acquisto, comprese nel range dei 500 punti base. Il titolo registrò anche picchi di esecuzioni di ordini aggressivi di vendita, simili a quelli osservati per AAPL e IBM.



**Figura 2.15:** General Electric Co. (GE), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.



**Figura 2.16:** General Electric Co. (GE), Market depth (compreso nei 500 punti base) e Net Aggressive Buy Volume dalle 2:00 a.m. alle 3:30 p.m.



**Figura 2.17:** General Electric Co. (GE), Market depth totale e Net Aggressive Buy Volume dalle 9:30 a.m. alle 4:00 p.m.

## 2.8 Interventi possibili

L'analisi di quanto accaduto il 6 maggio 2010 ha permesso alla SEC (U.S. Securities & Exchange Commission) e al CFTC (U.S. Commodity Futures Trading Commission), di trarre alcuni importanti insegnamenti, che possano servire da base per future decisioni a livello di regolazione delle attività di mercato, mirate a ridurre ed eliminare le distorsioni dovute all'utilizzo di trading automatizzato.

Una lezione chiave è rappresentata dal fatto che, in condizioni di mercato “sotto stress”, l'esecuzione automatizzata di un gran numero di ordini di vendita può innescare movimenti di prezzi estremi e imprevisi, in particolar modo se l'algoritmo che li genera non prende in considerazione i prezzi. Inoltre, l'interazione tra l'esecuzione automatizzata e le strategie di Algorithmic trading, può intaccare rapidamente la liquidità e risultare dannosa per la stabilità del mercato. Gli staff di CFTC e SEC stanno

lavorando con il mercato, per ricalibrare gli esistenti *circuit breaker* da applicare alla totalità dei mercati.

Un'altra importante lezione è dovuta al fatto che molti partecipanti utilizzano criteri differenti per considerare di ritirarsi dalle contrattazioni, e, mentre il ritiro di un singolo partecipante non va ad intaccare in modo significativo l'intero mercato, il ritiro di molti partecipanti contemporaneamente può portare ad una crisi di liquidità e alla rottura dell'equilibrio nel processo di creazione dei prezzi.

Come dimostrato dallo Stop Logic Functionality del CME, che innescò la pausa nelle contrattazioni dell'E-Mini, fermare il mercato può rappresentare una soluzione efficace per fornire ai partecipanti il tempo per rivalutare le proprie strategie e agli algoritmi di ri-settare i propri parametri, ristabilendo, così, l'ordine all'interno del mercato.

Proprio a tal fine e per evitare la possibilità di una crisi di liquidità innescata da tali livelli di volatilità, la SEC, in accordo con i mercati e con FINRA (Financial Industry Regulatory Authority), ha implementato un programma pilota di *circuit breaker* per la contrattazione di singoli titoli. Il circuit breaker nei mercati USA prevede una pausa nelle contrattazioni di 5 minuti, se il titolo ha subito una variazione del 10% nei 5 minuti precedenti. Nel giugno 2010, la SEC ha approvato l'applicazione del *circuit breaker* per titoli presenti nell'indice S&P 500, e a settembre dello stesso anno, ha allargato il programma a titoli presenti nell'indice Russell 1000 e ad alcuni ETF.

L'incertezza dei partecipanti al mercato in merito a quando le contrattazioni possano essere interrotte, infatti, si ripercuote sulle loro strategie e sulla loro volontà di fornire liquidità. In base alle molte testimonianze su quanto accaduto il 6 maggio, infatti, lo stop alle contrattazioni sarebbe avvenuto quando i prezzi si discostavano del 60% dal loro prezzo di riferimento, e oltretutto con un procedimento poco trasparente.

Per fornire più certezza ai partecipanti e permettere loro di gestire meglio il proprio rischio, le autorità, SEC, FINRA e i mercati, lavorano in sintonia per chiarificare il processo di interruzione delle attività che creano distorsione, usando standard più oggettivi. Nel settembre 2010, la SEC, dunque, ha approvato le nuove procedure di stop alle contrattazioni, sempre come programma pilota in vigore fino al dicembre 2010. Lo



staff della SEC intende valutare se questo approccio può essere migliorato adottando ulteriori meccanismi per prevenire le anomalie.

Infine, gli eventi del 6 maggio 2010, dimostrano l'importanza dei dati e delle fonti dalle quali essi vengono reperiti. Sia che le decisioni di trading vengano prese basandosi su giudizi umani, sia che siano il risultato di algoritmi, e sia che si tratti di uno scambio ogni minuto, sia che si tratti di mille scambi al secondo, un mercato corretto e regolare richiede che lo standard dei dati di mercato, in merito ad affidabilità, accessibilità e tempestività, sia assolutamente alto. Tuttavia, secondo l'autorità di vigilanza, il ritardo nei dati di mercato non sarebbe la causa primaria di quanto accaduto durante il "Flash Crash". L'analisi effettuata, infatti, rivela che le azioni dei partecipanti siano state influenzate dall'incertezza causata dai dati del mercato.

## 2.9 Microstruttura del Flash Crash

Come riportato dalla SEC, il volume di contrattazioni high-frequency non è necessariamente un indicatore affidabile della liquidità del mercato. Il fatto che volume e liquidità non debbano essere coerenti è un riflesso della delicata simbiosi tra *market makers* e *position takers* in un mondo High Frequency.

Al fine di investigare l'ipotesi dell'esistenza di tossicità dei flussi di ordini inflitti dai *position takers*, durante gli eventi del 6 maggio 2010, si prenderà in considerazione una misura di "tossicità" degli ordini (VPIN metric) sviluppata da Easley, Lopez de Prado e O'Hara (2010), che mostra come gli ordini divennero man mano più tossici nel corso della giornata.

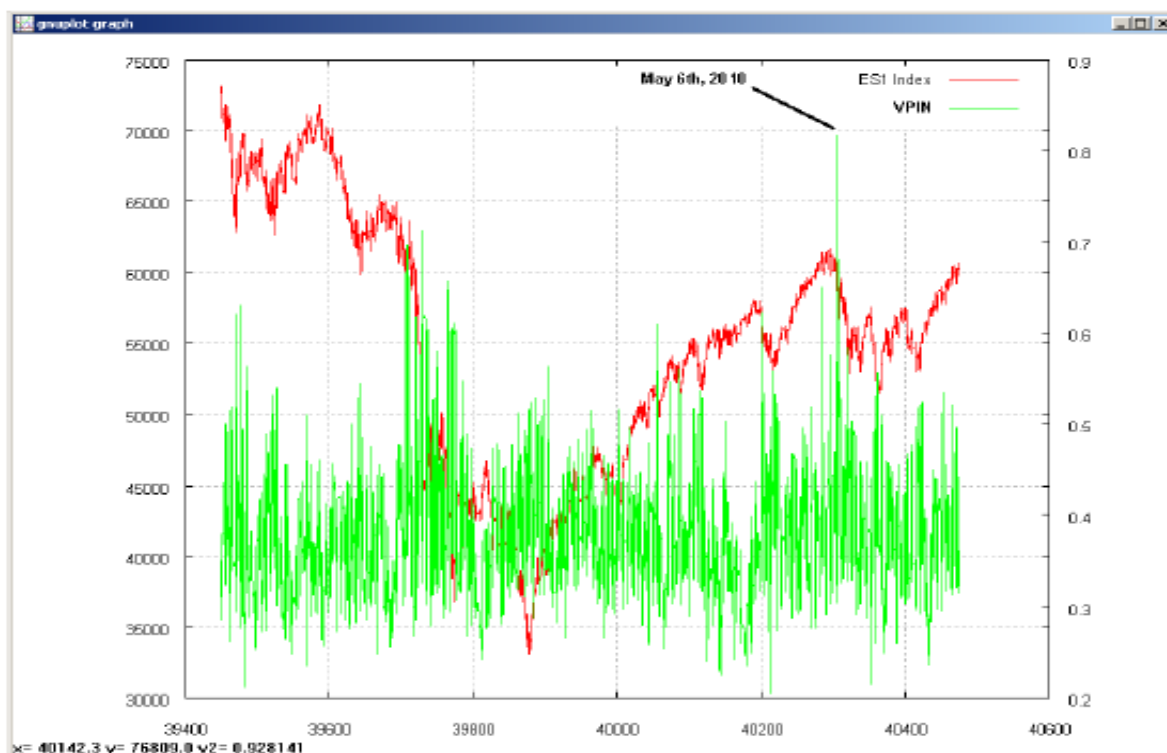
In un mondo High Frequency, l'informazione e il tempo hanno un significato differente rispetto ai modelli di microstruttura standard. Poiché gli scambi avvengono nel giro di millisecondi, si prende in considerazione come unità di misura il tempo dello scambio piuttosto che il tempo dell'orologio. Questo tempo può essere misurato per incrementi di volume. Il VPIN metric misura la tossicità catturando una dimensione High Frequency. In particolare, esso misura la frazione di scambio *volume-weighted* che

nasce dai trader informati poiché essi tendono a operare su un lato del mercato e la loro attività porta a squilibri di volume. In periodi in cui la contrattazione è molto *information-based* il VPIN metric sarà molto grande. Durante questi periodi, i market maker saranno sul lato “sbagliato dello scambio” (ad esempio compreranno se il prezzo scende e viceversa) e quindi accumuleranno o perderanno scorte di titoli. Poiché i prezzi di mercato si muovono, i market maker accumuleranno delle perdite, e, dunque, ci si aspetta che essi cambino le loro posizioni aggiungendosi allo squilibrio nello scambio e portando potenzialmente ad un crash.

### **2.9.1 Misura della “tossicità”: il VPIN metric**

Easley, Lopez de Prado e O’Hara (2010) hanno analizzato la misura VPIN in merito ai contratti futures E-mini S&P 500, nel periodo compreso tra l’1 gennaio 2008 e il 30 ottobre 2010, calcolandone il volume medio giornaliero e il valore VPIN per ogni periodo in cui viene scambiato 1-cinquantesimo di questo volume. Questa procedura permette di avere una media di cinquanta valori VPIN al giorno.

Il grafico successivo mostra l’evoluzione dell’E-mini S&P 500, in termini di valore di mercato (linea rossa) e la misura VPIN (linea verde). Si può facilmente notare che il VPIN è un processo generalmente stabile e che esso raggiunge il suo livello massimo il 6 maggio 2010, fornendo un supporto quantitativo all’“evaporazione” della liquidità osservata quel giorno.



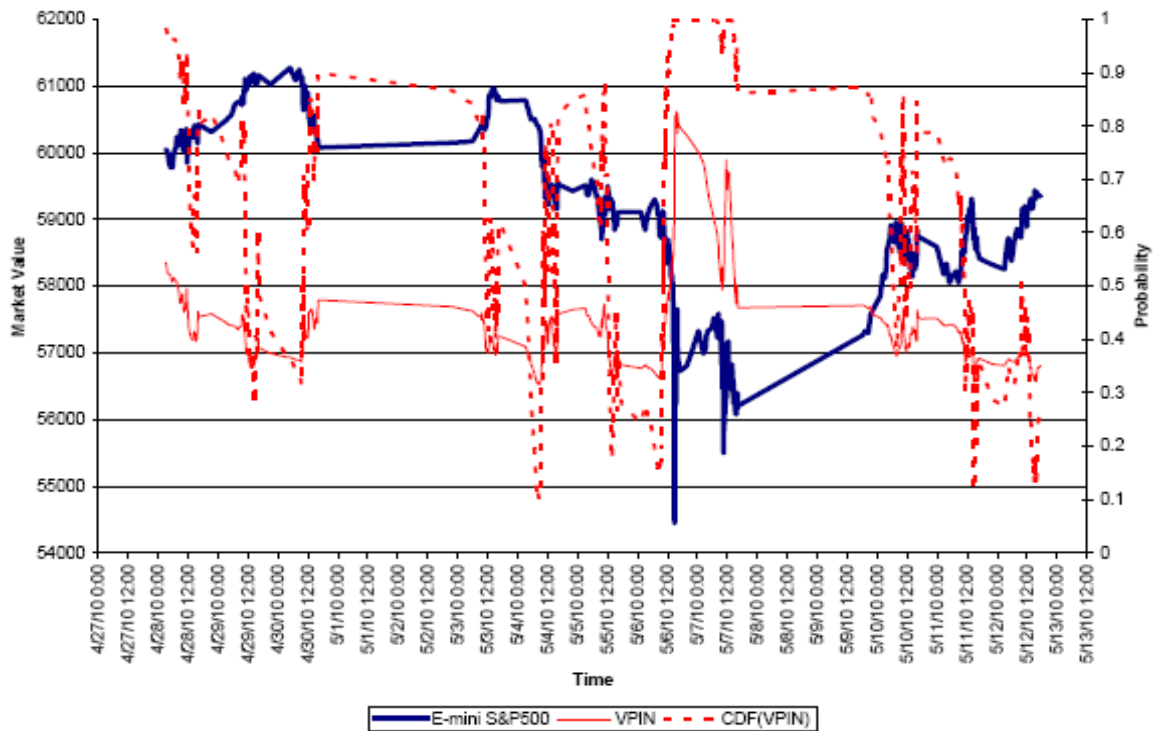
**Figura 2.18:** Misura VPIN dall'1 gennaio 2008 al ottobre 2010

## 2.9.2 Misura della “tossicità” dei flussi di ordini prima del Crash

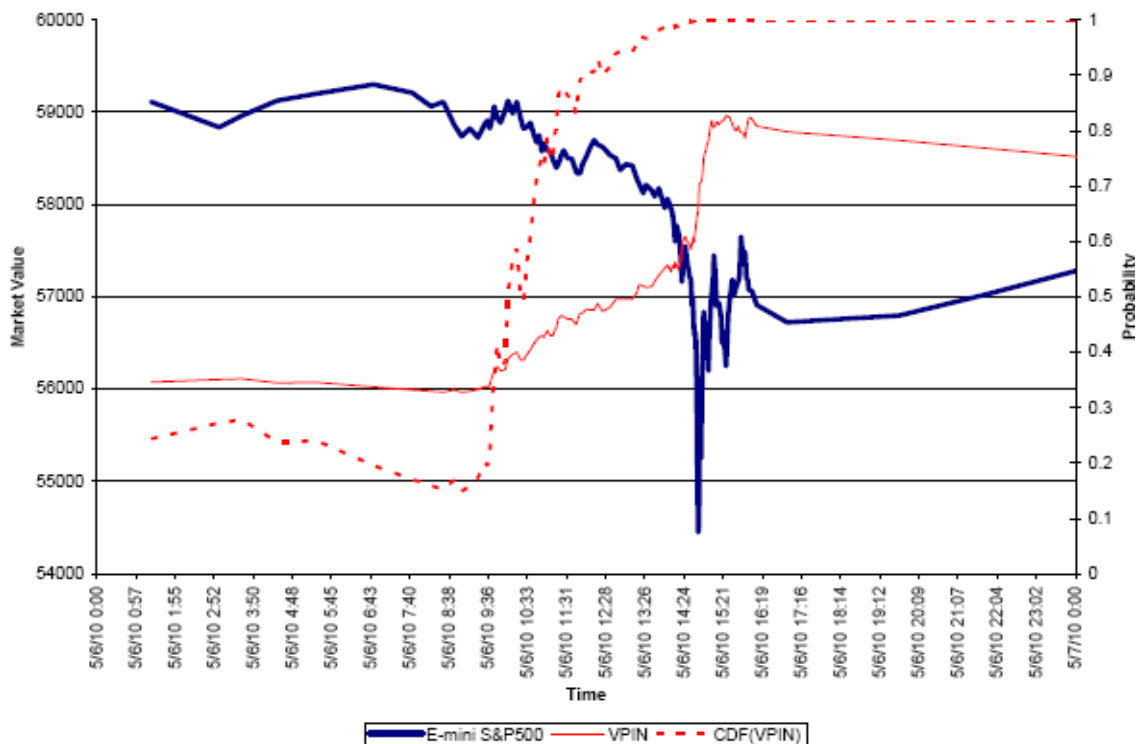
L'analisi di Easley, Lopez de Prado e O'Hara prende in considerazione il comportamento del VPIN nei giorni precedenti al flash crash, in particolare concentrandosi sulla misura VPIN dell'E-mini future.

In primo luogo, essi hanno notato che la misura VPIN per l'E-mini S&P 500 future fu particolarmente alta già almeno una settimana prima del flash crash. La figura seguente mostra il valore dell'E-mini S&P 500, il valore della misura VPIN e una frazione della distribuzione empirica minore o uguale al valore di VPIN,  $CDF(VPIN)$ . Questo valore, in genere molto volatile, fu comunque molto alto durante la settimana precedente al flash crash, fatto che avrebbe dovuto mettere in allerta i market maker.

La loro seconda osservazione fu che questa situazione peggiorò, in termini di liquidità, qualche ora prima del crash. La figura \_ illustra che alle 11:55 a.m. del 6 maggio 2010, il valore del VPIN metric era sul 10% della coda della distribuzione, all'1:08 p.m. al 5% e alle 2:30 p.m. raggiunse il livello più alto nella storia dell'E-mini S&P 500. In accordo con quanto riportato dalla SEC il crash iniziò alle 2:32 p.m. Grandi *liquidity providers* registrarono ingenti perdite e alcuni dovettero interrompere le contrattazioni.



**Figura 2.19:** VPIN metric dell'E-mini S&P 500 una settimana prima e dopo il flash crash.



**Figura 2.20:** VPIN metric dell'E-mini S&P 500 il 6 maggio 2010.

Gli High Frequency trader generano oltre il 60% del volume nei mercati dei future, ma è stato calcolato che durante quell'aumento di volume che innescò il crash, circa l'80% dei flussi di ordini nell'E-mini future fu tossico. Nonostante solitamente gli High Frequency trader forniscano liquidità, come riportato dalla SEC, durante il crash essi consumarono liquidità, producendo flussi di ordini tossici. Questo comportamento aumentò l'aggravarsi della crisi di liquidità.

### 2.9.3 Soluzioni proposte

Il "Flash Crash" è meglio identificabile come un evento di aumento della liquidità che è una caratteristica strutturale del nuovo metodo di contrattazione High Frequency, un metodo in cui la fornitura di liquidità è dominata da market maker computerizzati. Quando la "tossicità" dei flussi di ordini cresce, essi sono esposti a grandi perdite e

limitano i loro rischi riducendo o liquidando le loro posizioni. L'illiquidità del mercato che ne deriva può avere ripercussioni disastrose sui partecipanti al mercato.

Sarebbe stato possibile, dunque, evitare, o quantomeno limitare tutto questo, facendo rimanere sul mercato i *liquidity providers*, mentre essi, non solo abbandonarono le contrattazioni, ma contribuirono a consumare liquidità, distruggendo le loro scorte e inasprendo il crash.

Nonostante molti chiedano l'abolizione dell'High Frequency Trading, Easley, Lopez de Prado e O'Hara (2010), credono che una soluzione migliore sarebbe quella di saper riconoscere e gestire i rischi derivanti dal contrattare in questa nuova struttura di mercato.

Al fine di ridurre la possibilità di futuri flash crash, dunque, si devono fornire ai market maker gli strumenti per misurare e gestire i loro rischi. Con la misura VPIN da loro proposta, i market maker sarebbero in grado di anticipare un aumento di volatilità e valutare il rischio di una crisi di liquidità.

Per gestire, invece, tali rischi, essi propongono la creazione di un mercato di future aventi come sottostante la stessa misura VPIN, in modo da rendere i *liquidity providers* capaci di coprirsi dal rischio di una selezione avversa.

# Capitolo 3

## Discussione in materia di regolazione

### 3.1 Differenze tra mercati europei e statunitensi

Le differenze fondamentali tra mercato statunitense e mercato europeo sono principalmente due.

Negli Stati Uniti, il Regulation National Market System (Reg NMS) ha definito il national best bid best offer (NBBO), che rappresenta il prezzo della migliore domanda per chi vuole comprare, e il prezzo della migliore offerta per chi vuole vendere. Per calcolare l'NBBO i mercati sono obbligati a diffondere le loro migliori domande e le loro migliori offerte in merito ai titoli in listino, a un Securities Information Processor (SIP). Questo sistema è stato sviluppato per permettere ai partecipanti di contrattare al miglior prezzo disponibile sul mercato. Per garantire che le contrattazioni siano sempre eseguite al miglior prezzo disponibile, il Regulation National Market System ha implementato la cosiddetta “*order protection rule*” che impedisce ai mercati di contrattare ai prezzi peggiori per i loro partecipanti. Quindi, se un mercato non è in grado di eseguire un ordine all'NBBO o al prezzo migliore è obbligato a inoltrare l'ordine a chi in quel momento offre il prezzo migliore (il che richiede un interconnessione tra i mercati) o, altrimenti, a cancellare l'ordine.

In Europa, la direttiva MiFID ha introdotto un principio che si basa sulla “*best execution*”. Invece di stabilire un miglior prezzo, come avviene negli Stati Uniti, la MiFID richiede che le società di investimento: “*considerino le soluzioni più ragionevoli per ottenere, nell'esecuzione di un ordine, il miglior risultato possibile per i loro clienti, tenendo conto di prezzo, costi, velocità, possibilità di esecuzione, dimensione, natura o ogni rilevante considerazione al fine dell'esecuzione di tale ordine.*” (European

Commission 2004). La seconda differenza sta nel fatto che la *best execution* è un obbligo che riguarda le società di investimento in Europa, mentre è “esternalizzata” per i mercati statunitensi.

## **3.2 Proposte di regolazione da parte della SEC**

Considerata l'importanza di tali eventi per la stabilità dei mercati globali, la SEC ha mostrato un notevole interesse in merito alla questione HFT e il 14 gennaio 2010 ha pubblicato un *Concept Release* richiedendo informazioni su come operassero e quali costi e benefici apportassero (Securities Commission, 14 gennaio 2010). Oltre a ciò, il Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act ha chiesto uno studio più approfondito sugli HFT (Section 967 (2) (D)). Tale analisi è necessaria per assicurare un corretto funzionamento dei mercati, e la SEC e le autorità pubbliche devono fissare regole appropriate per gli investitori (Brogaard 2010). E' ugualmente importante, sia per gli investitori istituzionali, sia per quelli *retail*, capire se ci sia o meno una manipolazione da parte di trader “sofisticati” quali gli HFT.

Le proposte di regolazione che arrivano dalla SEC, mirano esplicitamente ad attaccare i parametri per l'accesso diretto al mercato, utilizzato dai grandi investitori istituzionali che non fanno ricorso a broker e intermediari. Tale accesso diretto favorisce l'esecuzione di ordini in maniera più rapida, facendo risparmiare il tempo di una contrattazione attraverso terze parti e le commissioni ad essa associate.

### **3.2.1 Naked/Unfiltered Sponsored Access**

Il cosiddetto *naked* o *unfilered sponsored access* fa riferimento alla pratica in cui una banca o una società di investimento permette ai partecipanti di accedere ai mercati senza i controlli relativi al rischio di contrattazione. Molti operatori riconoscono che questo può esporre il mercato a rischi indebiti. Proprio alla luce di questa discussione la SEC,



nel novembre 2010, ha obbligato i broker: “[...] *to put in place risk management controls and supervisory procedure to help prevent erroneous orders, ensure compliance with regulatory requirements, and enforce pre-set credit or capital thresholds.*” (SEC 2010c)

Le critiche all’accesso diretto al mercato sono assolutamente ragionevoli, considerate le conseguenze che questo può portare, come, ad esempio, una limitata gestione del rischio. Nelle nuove regole presentate dalla SEC, si vuole assegnare un maggiore controllo da parte delle *clearing agencies*. Suggerendo lo spostamento del risk management dai broker alle agenzie di compensazione, la SEC si propone di adottare una linea molto innovativa, in particolare, prospettando che le *clearing agencies* siano responsabili di fissare delle limitazioni alle posizioni assunte dai partecipanti, così da assicurare che comportamenti errati, o disonesti, siano immediatamente individuati e eliminati.

Inoltre, la SEC suggerisce che gli operatori con 50 milioni di dollari, o più, di capitale netto, abbiano un accesso privilegiato al mercato, moderato dalla gestione del rischio della clearing-house.

Quale sarebbe l’impatto di queste nuove regole sul trading tecnologico? Secondo Aldridge (2011), tutto questo provocherebbe una trasformazione dei mercati, poiché ci si muoverebbe da un mercato inteso come luogo propenso a generare errori, ad un mercato elettronico più efficiente, ordinato dalle macchine, il che porterebbe investitori ed operatori ad un’esecuzione più rapida, e i mercati U.S. ad essere più competitivi e sicuri.

### **3.2.2 Flash Order**

Un “flash order” è un tipo di ordine dato al mercato, la cui durata, di solito, è misurata in millisecondi, che converte un ordine negoziabile in un “limit order” all’NBBO. Poiché questi ordini durano solo frazioni di secondo, solo gli HFT possono reagire ad essi. Questo fatto ha creato non poche discussioni in merito alla sua correttezza. Alcuni

sostengono che i *flash order* abbiano la potenzialità di creare due livelli di mercato e di compromettere il processo di creazione dei prezzi (Kaufman 2009). Questo dibattito ha attirato l'attenzione della SEC che ha avanzato la proposta di vietare i *flash order* (SEC 2009).

### 3.3 Rule 201, “Alternative Uptick Rule”

Dopo il crash del 29 ottobre 1929, il Congresso degli Stati Uniti stabilì un sistema di regolazione dei mercati esistente ancora oggi. Una delle molte attività che il Congresso considerò appropriato regolare fu lo *short selling*, la vendita allo scoperto. Il 19 ottobre 1987, il mercato conobbe un altro crash, il cosiddetto Black Monday. In risposta a ciò, ci fu la richiesta di un ulteriore aumento della regolazione, soprattutto in merito alle *short sales*. Per fornire una restrizione all'attività di vendita allo scoperto, venne dunque inserita una regola detta *Uptick Rule*. La Uptick Rule, Rule 10a-1, stabilisce che si può vendere allo scoperto ad un prezzo superiore (“plus tick”) al prezzo immediatamente precedente o ad un prezzo pari al prezzo più recente se questo ha avuto una differenza positiva. La Rule 10a-1 venne inserita nel Securities Exchange Act del 1934.

Il 6 luglio 2007, la SEC decide l'eliminazione della Uptick Rule con la motivazione che tali restrizioni ai test dei prezzi riducono la liquidità e non aiutano a prevenire le manipolazioni<sup>10</sup>.

Alla luce di quanto accaduto sui mercati nel 2008 e 2009, però, la Commissione ha trovato appropriato riconsiderare tale norma, approvando, nel febbraio 2010, un emendamento<sup>11</sup>, noto come *Rule 201*, effettivo dal 10 maggio e in vigore a partire dal novembre 2010, che impone restrizioni alle vendite allo scoperto quando un titolo innesca un *circuit breaker* subendo un ribasso di almeno il 10% in un solo giorno. In una tale situazione, la vendita allo scoperto sarebbe permessa solo se il prezzo del titolo

---

<sup>10</sup> SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION 17 CFR PARTS 240 and 242 [Release No. 34-55970; File No. S7-21-06] RIN 3235-AJ76 Regulation SHO and Rule 10a-1, 6 luglio 2007.

<sup>11</sup> SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION 17 CFR PART 242 Release No. 34-61595; File No. S7-08-09 RIN 3235-AK35 Amendments to Regulation SHO, 24 febbraio, 2010.

fosse superiore alla *best bid* corrente. Questo permetterà ai *long seller* di vendere in un mercato in ribasso. Rendendo l'offerta accessibile solo ai *long seller*, la Rule 201 aiuterà a mantenere la stabilità nei mercati, assicurandone anche un corretto ed efficiente funzionamento. Inoltre, combinando l'*alternative uptick rule* con un sistema di *circuit breaker*, si verrebbe a creare un opportuno bilanciamento tra l'obiettivo di prevenire lo short selling, incluso quello a scopo di manipolazione, e l'efficienza dei prezzi di mercato. L'approccio al *circuit breaker* introdotto dalla Rule 201, porterà benefici al mercato fornendo ai partecipanti l'opportunità di rivalutare le circostanze e rispondere alla volatilità di un titolo, nel momento in cui tale titolo conoscesse un significativo ribasso intra-day.

### **3.4 Iniziative di regolazione in Europa**

In seguito a quanto accaduto sui mercati statunitensi, le strategie HFT sono diventate oggetto di controllo anche da parte della Commissione Europea e degli organi regolatori all'interno dell'Unione Europea. Sono stati quindi presentati documenti e iniziative per far fronte a tale questione, tra cui il "CESR's Technical Advice to The European Commission" pubblicato ad aprile 2010, il "Report on regulation of trading in financial instruments – *dark pools* etc." adottato dal Parlamento Europeo nel novembre 2010, e la "Public-Consultation: Review of the Markets Financial Instruments Directive (MiFID)" della Commissione Europea, pubblicata a dicembre 2010.

#### **3.4.1 CESR Technical Advice to the European Commission**

Analogamente a quanto fatto per il "SEC's Concept Release on Equity Market Structure" (SEC 2010a), il CESR ha presentato un questionario ai partecipanti al mercato, in merito alla micro-struttura del mercato europeo dell'equity, nell'aprile 2010. Il CESR riconosce che i numerosi sviluppi tecnologici hanno avuto effetti potenziali sulla struttura e sull'efficienza del mercato dell'equity in Europa (CESR 2010a).

Per quanto concerne l'argomento HFT, la maggior parte dei partecipanti avrebbe risposto che le società HFT hanno giocato un ruolo fondamentale nel fornire liquidità al mercato. Questo ha aiutato a ridurre gli spread *bid-offer*, permettendo in questo modo di limitare la volatilità (CESR 2010b).

Il questionario proposto dal CESR porta a considerare la necessità di ulteriori studi a proposito degli HFT per meglio comprendere le strategie e i rischi a cui questi ultimi sottopongono il mercato. Inoltre occorre sviluppare alcune linee guida per l'applicazione di sistemi appropriati e di controlli delle società d'investimento e in merito alle piattaforme di trading in un ambiente di contrattazione altamente automatizzato. Per quello che riguarda altri argomenti, come lo *sponsored access*, il CESR raccomanda un'identificazione dei rischi legati ad un accesso diretto e un'analisi dei controlli pre e post-trade.

### **3.4.2 Report on Regulation of Trading in Financial Instruments**

In questo report, conosciuto anche come “Swinburne Report”, il Committee on Economic and Monetary Affairs considera la regolazione del trading in strumenti finanziari, incluse molte questioni relative all'HFT. In riferimento al *flash crash*, infatti, il Committee on Economic and Monetary Affairs suggerisce la realizzazione di tre importanti misure per i mercati europei:

- Infrastrutture solide per tutte le piattaforme di trading
- Abilità delle piattaforme di ricreare *order books* dopo un'attività insolita del mercato
- Supervisione dell'ESMA (European Securities and Market Authority) nella definizione di sistemi di interruzione della volatilità nei mercati europei.

Il report affronta numerosi altri argomenti in merito alla struttura del mercato, proponendo, ad esempio, di condurre più indagini sui costi e sui benefici degli HFT. In particolar modo, cerca di stabilire se l'HFT fornisca effettivamente liquidità al mercato e cerca di esaminare se ci sia la possibilità di una manipolazione.

### 3.4.3 Review of the Markets in Financial Instruments Directive (MiFID)

In seguito ad una consultazione sulla revisione della direttiva MiFID, la Commissione Europea stabilisce che la regolazione dei mercati necessita di un aggiornamento dovuto al rapido sviluppo tecnologico delle contrattazioni, includendo una discussione sul trading automatizzato, e in particolare sull'HFT. I potenziali emendamenti richiesti sono:

- Una definizione più ampia di Algorithmic Trading, e quindi di HFT in quanto sottogruppo.
- L'assicurazione che tutti i partecipanti coinvolti nell'HFT, siano società autorizzate.
- Emendamenti agli articoli 13, 14 e 39 MiFID, quindi:
  - Richiesta di autorizzazione per le società coinvolte nel trading automatizzato in relazione al controllo dei rischi in caso di errori di sistema.
  - Richiesta per gli operatori della sede di contrattazione di sistemi di riduzione dei rischi per mezzo di *circuit breaker* e *stress test* così come di servizi di accesso equo alla *co-location* (possibilità per le società finanziarie partecipanti ad un mercato di collocare computer contenenti gli algoritmi di scambio vicino alla sede del mercato ed evitare in questo modo ritardi nell'invio di ordini).

## 3.5 Obiettivi della discussione in materia di regolazione

Dopo il flash crash, molto è già cambiato negli Stati Uniti in materia di regolazione, relativamente all'HFT. In Europa, invece, la discussione su come regolare le strategie HFT è ancora all'inizio. Questo è dovuto al fatto che molti dei problemi associati all'utilizzo di HFT sono radicati nella struttura stessa del mercato statunitense.

La discussione attuale si basa su due osservazioni:

1. La necessità di regolare l'HFT viene presa come data.
2. Queste discussioni riguardano solo il ruolo dell'HFT in mercati regolamentati, mentre si affronta più raramente la questione sull'esistenza di strategie automatizzate in mercati *dark*/OTC (*Over The Counter*).

### 3.5.1 Rischio Sistemico

Il dibattito più acceso, derivante dall'utilizzo di HFT, riguarda la possibilità di innescare un rischio sistemico dovuto alla loro attività. Tale rischio risulterebbe da un malfunzionamento degli algoritmi che “bombardano” di ordini un mercato, fino a che le infrastrutture non siano più in grado di fronteggiare un tale ammontare. Inoltre, questo potrebbe causare lo spostamento del prezzo di un titolo verso direzioni inattese. La soluzione a questi problemi sarebbe di natura tecnica. Sia gli HFT, sia i mercati devono disporre di infrastrutture (incluso un sistema di controllo dei rischi) adatte a prevenire i danni derivanti dall'uso disonesto di algoritmi. Naturalmente, questo porta a ritenere che pratiche come l'accesso diretto non siano in linea con una tale idea di mercato. È essenziale, dunque, che tutti gli attori coinvolti contribuiscano attivamente a prevenire un potenziale rischio sistemico derivante dal crescente utilizzo di strategie basate sull'uso di nuove tecnologie. Tutto questo si rivolge a società d'investimento operanti nell'HFT, operatori di mercato, *clearing & settlement institutions*, regolatori e autorità di vigilanza. Da parte di coloro che utilizzano strategie HFT, questo richiede la registrazione di tutti i parametri di input e output degli algoritmi al fine di un controllo

interno, così come di indagini di vigilanza. Inoltre devono essere in grado di dimostrare l'applicazione di sofisticati strumenti di gestione del rischio e di salvaguardia delle operazioni, oltre a dover dimostrare di essere in ogni momento in pieno controllo dei loro algoritmi. Gli operatori di mercato, invece, devono essere in grado di sopportare picchi di volumi e di proteggersi da eventuali guasti tecnici degli algoritmi utilizzati dai partecipanti. In più, le regole devono assicurare che ci siano persone fisiche responsabili per gli algoritmi, disponibili in ogni momento durante le ore di contrattazione, pronte a reagire immediatamente nel caso in cui gli operatori riscontrino comportamenti anomali. Infine, i regolatori devono avere la possibilità di investigare e reagire rapidamente in caso di stress del mercato. Informazioni dettagliate sulla dimensione delle attività degli HFT devono essere sempre disponibili per assicurare un quadro aggiornato di potenziali rischi sistemici. I regolatori e le autorità di vigilanza necessitano di persone con capacità specifiche per valutare in ogni momento la funzionalità dell'algorithmic trading.

### **3.5.2 Meccanismi di salvaguardia del mercato**

Sistemi di salvaguardia in caso di stress del mercato, come l'interruzione della volatilità in Europa e i *circuit breakers* negli Stati Uniti, sono già in uso. Ad ogni modo, essi devono adattarsi al nuovo ambiente:

1. prendendo seriamente in considerazione il trading ad alta velocità e le nuove tecnologie
2. combinando le migliori pratiche di interruzione delle contrattazioni a livello mondiale
3. risolvendo il problema di una frammentazione dei mercati attraverso una coordinazione *intermarket*

I regolatori e gli operatori devono assicurare che vi sia dunque uno sviluppo di sistemi di salvaguardia seguendo l'evoluzione tecnologica dell'HFT.

Uno specifico vantaggio dato dalle interruzioni della volatilità in Europa consiste nel fatto che in questo modo si attivano delle aste per mitigare il mercato, indipendentemente dal fatto che i prezzi salgano o scendano a livelli estremi, assicurando, quindi, una certa continuità. Nella maggior parte dei mercati, le interruzioni della volatilità sono innescate su una base *trade-by-trade* al fine di prevenire l'eventualità di un invio di ordini errati. In un ambiente in cui operano gli HFT, con transazioni così frequenti, ci potrebbero essere piccole e costanti variazioni di prezzo all'interno delle rispettive fasce di volatilità senza innescarne l'interruzione. Nel totale, queste variazioni potrebbero avvenire in millisecondi ed essere significative, come mostrato nella Figura 8. Per questo motivo c'è bisogno di una soglia aggiuntiva che limiti la volatilità di breve periodo e riporti il controllo dalle macchine agli uomini. Introducendo una seconda fascia di interruzione del circuito, che controlli i movimenti di prezzo in uno specifico orizzonte temporale (ad esempio 5 minuti), si attiverebbero delle aste nel momento in cui le variazioni portassero il prezzo potenziale fuori da questo range. Questo tipo di approccio permette di combinare i vantaggi derivanti dalle interruzioni di volatilità di tipo europeo e i nuovi sistemi di *circuit breakers* statunitensi.

**Figura 3.1:** Proposta di un meccanismo di salvaguardia inter e intra-market nei mercati europei.



### 3.6 Il ritorno della Tobin tax

L'High Frequency Trading è un fenomeno che ha ormai acquisito un peso importante sui mercati finanziari. Esso rappresenta oltre il 70% del volume di scambi sia sui mercati statunitensi, sia sul mercato inglese. Come si è già osservato in passato, quando una singola strategia diventa così dominante, come sta accadendo per l'HFT, i mercati diventano più "fragili", e questa fragilità può portare a situazioni di instabilità, come ad esempio i flash-crash. La Bank of England ha identificato l'HFT come un problema serio per la determinazione di un rischio sistemico. Al fine di ridurre tali rischi, si possono avanzare due proposte: la prima riguarda il tentativo di ridurre la velocità delle contrattazioni high frequency, ad esempio tramite *circuit breaker* o fasce di prezzo, di cui si è già parlato.

Una seconda alternativa è quella di aumentare i costi delle transazioni per gli HFT. Essi infatti basano le loro strategie sulla realizzazione di margini di profitto esigui. Se si aumentano i costi delle transazioni finanziarie, queste strategie non sarebbero più profittevoli. È sulla scia di questa ipotesi che si rinnova il dibattito sull'introduzione di una tassa sulle transazioni, la cosiddetta Tobin tax, o ancora Robin Hood tax. Un report<sup>12</sup> recentemente pubblicato da parte dei sostenitori della campagna a favore della Robin Hood tax, illustra come l'HFT rappresenti la minaccia di una nuova crisi finanziaria.

Che cos'è dunque la Tobin tax? La Tobin tax venne proposta nel 1972 dallo statunitense premio Nobel per l'economia James Tobin, da cui prende il nome. Originariamente fu concepita per colpire tutte le transazioni sui mercati valutari, con lo scopo di penalizzare le speculazioni valutarie a breve termine, e le cui entrate sarebbero destinate alla comunità internazionale, con il proposito di sconfiggere la povertà estrema in tutto il mondo. L'aliquota proposta sarebbe molto bassa, tra lo 0,05% e l'1%. È subito chiaro che questa tassa si prefigge di colpire i più ricchi, affinché i più poveri ne traggano beneficio. Per questo motivo assunse anche il nome di Robin Hood tax, dal famoso fuorilegge ed eroe popolare inglese. La proposta rimase in realtà dormiente per circa

---

<sup>12</sup> Richard Gower, *Financial Crisis 2: The Rise of the Machines*, [http://robinhoodtax.org/sites/default/files/Rise%20of%20the%20Machines\\_1.pdf](http://robinhoodtax.org/sites/default/files/Rise%20of%20the%20Machines_1.pdf)

vent'anni, finché, alla fine degli anni '90, Ignacio Ramonet, redattore di *Le Monde Diplomatique*, non ne rinnovò il dibattito. Da allora tale dibattito si riapre periodicamente ma non ha ancora trovato una reale applicazione. Affinché una tassa sulle transazioni sia efficace, infatti, occorre che sia introdotta a livello globale. Appare chiaro che gli svantaggi di una tassazione su un singolo mercato potrebbero portare ad un trasferimento in massa dei partecipanti a quel mercato, verso altri mercati privi di tali imposte. Nonostante ci siano molti oppositori all'introduzione di questa tassa, a causa anche del tentativo fallito dalla Svezia che la introdusse alla fine degli anni '80, occorre dire che nel Regno Unito vi è una delle più antiche tasse sulle transazioni del mondo, la *stamp duty*, in vigore dal 1694. Ciò nonostante, questo non ha portato ad alcun esodo verso altri mercati, ad esempio quello statunitense, dove tale imposta non è presente.

Per ridurre i rischi degli HFT, che producono altissimi volumi di scambi, ma i cui margini di profitto sono esigui, la soluzione più efficace sembrerebbe proprio una piccola tassa che colpisca ogni singola transazione. Martin Wheatley (2010), *chief executive officer* del Securities and Futures Commission di Hong Kong, in un articolo del *Financial Times*<sup>13</sup> suggerisce che nonostante il costo sia piccolo, pari ad una frazione di un punto percentuale, sarebbe necessario a ridurre i margini di profitto e limitare gli obiettivi degli HFT.

Una considerazione importante deve essere fatta in merito al pericolo di esodo verso mercati che non prevedono alcuna tassa sulle transazioni. Come argomentato giustamente da Max Lawson (2011) in un articolo sul *The Guardian*<sup>14</sup>, gli operatori High Frequency, non possono permettersi di essere lontani dai mercati in cui scambiano. Anzi, essi devono poter operare utilizzando sedi il più vicino possibile al mercato, in questo modo riescono a sfruttare i loro vantaggi in termini di millisecondi. Per questo motivo i più importanti operatori High Frequency, affittano palazzi adiacenti il più possibile alle sedi dei mercati in cui scambiano.

---

<sup>13</sup> Martin Wheatley, *We need rules to limit the risk of superfast trades*, 20 settembre 2010, <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/ad7f31f6-c4cd-11df-9134-00144feab49a.html#axzz1VmHun3UF>

<sup>14</sup> Max Lawson, *The Robin Hood tax: a small step for capitalism, a big stride for development*, 23 agosto 2011, <http://www.guardian.co.uk/global-development/poverty-matters/2011/aug/23/robin-hood-tax-small-step-capitalism>

I tempi sembrano dunque maturi. I sostenitori della Robin Hood tax sono attivi in più di 40 paesi. Brasile, Sud Africa e Corea sono sicuri alleati in quanto possiedono già una qualche forma di tassa sulle transazioni. Nel corso del G20 tenutosi recentemente a Cannes il 3 e 4 novembre 2011, Europa e Stati Uniti hanno trovato un accordo per tassare le istituzioni finanziarie, con due metodologie diverse: gli Stati Uniti applicheranno una tassa sul rischio, ad esempio sulle deficienze di capitale, l'Unione Europea ha invece stabilito il lancio della Tobin tax a livello comunitario a partire dal 2014.

# CAPITOLO 4

## La Simulazione ad Agenti

La costruzione di modelli di simulazione tramite computer è stata ampiamente utilizzata nel campo delle scienze naturali e nell'ingegneria, ma più recentemente ha trovato un suo importante utilizzo nelle scienze sociali.

La simulazione ad agenti, meglio conosciuta come Agent-Based Model (ABM), si pone l'obiettivo di ricreare, con l'ausilio di un computer e quindi di un linguaggio informatico, eventi reali, in modo da poterne studiare le caratteristiche, le analogie con altri scenari e gli sviluppi futuri. Per capire meglio quanto appena detto, si prende a prestito una spiegazione di Terna e altri (2006) secondo cui:

*“Grazie alla capacità descrittiva flessibile di un codice informatico scritto ad agenti realizziamo dunque esperimenti mentali assistiti dal computer, in quanto troppo complessi per essere risolti senza l'ausilio del calcolo automatico. Ciò consente di verificare la conseguenza delle caratteristiche e delle capacità attribuite agli agenti nel contesto in cui operano. Una delle “scoperte” frequenti e possibili è infatti proprio il legame tra agenti semplici e risultati complessi”.*

È, dunque, una buona rappresentazione della realtà, che ha, naturalmente, come presupposto per la sua realizzazione, una “buona dose di realismo” (Terna e altri 2006). Come si può facilmente immaginare, un tale strumento ha trovato una naturale applicazione nell'ambito dell'economia, dove da sempre si ricerca un modello ottimo di comprensione, simulazione e previsione. È per questo motivo, che si è fatto ricorso a questo valido e rigoroso strumento per compiere questa ricerca sugli effetti prodotti da un utilizzo sui mercati borsistici di una nuova tipologia di contrattazione High Frequency altamente automatizzata, di cui non si conosce perfettamente il potenziale né

dal punto di vista evolutivo, né da quello invece manipolativo, che andrebbe a favorire i possessori di strumenti tecnologici più avanzati rispetto agli altri partecipanti.

## 4.1 Perché una simulazione ad agenti?

Epstein (2008) concettualizza due tipi di modelli, uno di tipo *implicito* in cui i presupposti sono nascosti, le conseguenze ignote e la loro relazione con i dati sconosciuta, quindi, un modello non rappresentato da una scrupolosa scrittura dei dettagli. Il secondo tipo di modello, invece, è di tipo *esplicito*, scritto e spiegato nei dettagli per permettere ad altri di replicare i risultati ottenuti.

Un altro aspetto riguardante i modelli di simulazione è la loro capacità previsionale. Sempre secondo Epstein (2008) la previsione è sicuramente uno degli obiettivi alla base della costruzione di un modello ad agenti, ma egli identifica altre 16 ragioni che portano ad affrontare questo tipo di ricerca. In particolare gli obiettivi alla base dei modelli sono (Epstein 2008):

1. Explain (distinct from predict)
2. Guide data collection
3. Illuminate core dynamics
4. Suggest dynamical analogies
5. Discover new questions
6. Promote a scientific habit of mind
7. Bound outcomes to plausible ranges
8. Illuminate core uncertainties
9. Offer crisis options in near-real time
10. Demonstrate tradeoffs / suggest efficiencies
11. Challenge the robustness of prevailing theory through perturbations
12. Expose prevailing wisdom as incompatible with available data
13. Train practitioners
14. Discipline the policy dialogue
15. Educate the general public

## 16. Reveal the apparently simple (complex) to be complex (simple)

La distinzione tra previsione e spiegazione proposta da Epstein (2008) è quella che caratterizza ad esempio la teoria della tettonica a placche come sicura spiegazione della dinamica dei terremoti, ma certamente non come strumento utile per prevedere il luogo e l'ora in cui un terremoto può verificarsi.

Una questione di grande rilevanza risiede nel non considerare un modello necessariamente giusto o sbagliato. Quello che veramente conta in questo tipo di ricerca è che quest'ultima, quand'anche errata, sia *fruttuosamente* errata. Il punto fondamentale non è dunque che un modello costituisca un'idealizzazione, ma che quest'idealizzazione sia *fertile*. Essa ci spinge a farci sempre nuove domande, il principale obiettivo non è quindi semplicemente trovare una risposta, ma lo stimolo a risolvere nuovi quesiti e nuovi problemi.

Il principale contributo proposto da chi si prefigge di costruire un modello, è mettere dunque in discussione un'autorità che viene da anni di ricerche e da scoperte che impongono una certa lettura di un determinato evento. Un concetto alquanto rivoluzionario che Feynman (1999) definisce come “libertà di dubitare”.

Riassumendo dunque con una definizione di Terna *e altri* (2006) che esprime ottimamente quanto finora argomentato:

*“La costruzione di un modello rappresenta una strada consolidata per comprendere il mondo: un modello è una semplificazione di una struttura esistente. Passando dal modello al programma informatico che lo rappresenta, una volta che la teoria è formalizzata in un codice di calcolo e noi abbiamo stabilito alcuni parametri di avvio, il codice può essere eseguito e conseguentemente noi possiamo osservare il comportamento della simulazione. Il computer diventa così il laboratorio artificiale, ma collegato ad una realtà che noi consideriamo naturale. Per questo motivo talvolta si fa riferimento a questa metodologia con l'espressione esperimento artificiale”.*

## 4.2 Gli usi della simulazione ad agenti

Esistono tre diversi “symbol systems” a disposizione di chi si occupa di scienze sociali: argomentazioni verbali e matematiche, e poi un terzo metodo dato dalla simulazione al computer, per creare modelli sulla base sia di teorie quantitative, che di teorie qualitative. In particolare essa è adatta a rappresentare le relazioni non-lineari che invece non si possono ricreare con modelli statistici e matematici.

L'utilizzo della simulazione nelle scienze sociali ha conosciuto un crescente sviluppo dagli anni '90 e il valore di tali programmi creati con l'uso di computer sono sempre più apprezzati come modelli di scoperta comprensione e formalizzazione. Si possono fornire molti esempi di come l'uso di simulazioni abbia portato alla comprensione di molti comportamenti sociali, ad esempio di come l'atteggiamento di una persona possa influenzare quello di altre persone, e quindi di come gruppi di persone condividano gli stessi comportamenti (ad esempio in merito al consumo di determinati prodotti piuttosto che di altri). Una caratteristica di una simulazione al computer è che questa viene messa a disposizione di altri che possono farla funzionare e verificarne i risultati o crearne di altri.

Il passo avanti nel processo di creazione al computer di modelli nelle scienze sociali deriva dallo sviluppo di sistemi multi-agent (MAS). Oggi un MAS consiste di un numero di agenti che comunicano tra di loro all'interno di un “environment”, rappresentati all'interno dello stesso programma. Tali agenti possono muoversi all'interno del “mondo” o possono essere fissi in un punto. Gli agenti sono programmati in modo da avere una loro autonomia, quindi nel controllare le loro azioni, nell'interagire e reagire in risposta agli stimoli dell'environment e infine possono perseguire determinati obiettivi.

Il compito di chi programma il modello è quello di definire le abilità cognitive e sensoriali degli agenti, in genere ricercando fenomeni “emergenti”, ed è proprio la capacità di far emergere fenomeni dalla relazione tra azioni di individui ad aver attratto l'interesse delle scienze sociali.

### 4.2.1 Reti neurali e algoritmi genetici

Un sistema di produzione degli agenti si compone di tre parti: un insieme di regole, una memoria di lavoro e un interprete di regole. Tale sistema permette agli agenti di imparare qualcosa dall'ambiente circostante e dall'interazione con gli altri agenti aggiungendo una conoscenza alla propria memoria. L'intento è creare agenti capaci di adattarsi alle diverse circostanze che si presentano. Comunemente ci sono due tecniche per compiere ciò: le reti neurali e gli algoritmi genetici.

Le reti neurali traggono ispirazione dalle connessioni del sistema nervoso presenti all'interno del cervello. Una rete neurale consiste di tre o più livelli di neuroni, in cui ogni neurone è connesso agli altri su livelli adiacenti. Il primo strato acquisisce informazioni dall'ambiente le elabora e le passa al livello successivo. Il segnale è trasmesso attraverso i vari livelli fino alla produzione di un output. Ogni neurone accetta input dai livelli precedenti, li aggiusta, li somma e passa in avanti il segnale. Attraverso un algoritmo chiamato di *back propagation* dell'errore, la rete genera diversi pattern di output per ogni pattern di input. Questo è reso possibile aggiustando i pesi finché non si generi l'output desiderato.

Un altro metodo per rendere capace un agente di apprendere è l'uso di algoritmi evolutivi, basati anch'essi su analogie biologiche. Il più comune di essi è l'algoritmo genetico (GA). L'algoritmo genetico parte da una popolazione di individui, aventi un certo grado di "fitness" misurabile, e provvede a farli evolvere. La loro evoluzione avviene attraverso una parziale ricombinazione delle soluzioni, ogni individuo trasmette parte del suo patrimonio genetico ai suoi discendenti e vi sono mutazioni casuali nella popolazione di partenza, con la nascita di tanto in tanto di individui con caratteristiche differenti rispetto alla generazione di partenza.

Sia per le reti neurali che per gli algoritmi genetici la decisione in merito a come il modello deve funzionare spetta a chi lo progetta. Ad esempio con i GA è possibile avere una popolazione per ogni agente, oppure ogni individuo può essere rappresentato da un agente con il risultato che ad evolversi sarà l'intera popolazione di agenti. Allo stesso modo, è possibile per ogni individuo agente o per l'intera società la rappresentazione tramite una rete neurale, in cui ogni neurone sia interpretato come un agente.



## 4.2.2 Da modelli semplici a risultati complessi

Secondo Axtell e Epstein (1994), in merito al problema della complessità dei modelli agent-based, gli esperimenti sarebbero di poco interesse se non riuscissimo a capire i sistemi artificiali complessi meglio di quanto comprendiamo quelli reali. Per fare ciò bisogna seguire semplici linee guida. In primo luogo, si devono considerare gli agenti come oggetti, e quindi pezzi di software capaci di contenere dati e regole di funzionamento. Queste regole forniscono i meccanismi necessari a reagire ai messaggi che vengono dall'esterno dell'oggetto. In secondo luogo, si devono osservare i comportamenti dei singoli agenti all'interno delle loro variabili di stato, e, allo stesso tempo, i risultati che vengono dal loro comportamento collettivo.

Sempre secondo Axtell e Epstein (1994) si possono riassumere i livelli di performance e analisi dei modelli agent-based come segue:

Livello 0: il modello è una caricatura della realtà, come stabilito dai dispositivi grafici.

Livello 1: il modello è in accordo qualitativo con la macro-struttura empirica, come mostrato dai grafici delle distribuzioni di alcuni attributi della popolazione di agenti.

Livello 2: il modello produce un accordo quantitativo con le micro-strutture empiriche, come determinato da routine di stime statistiche.

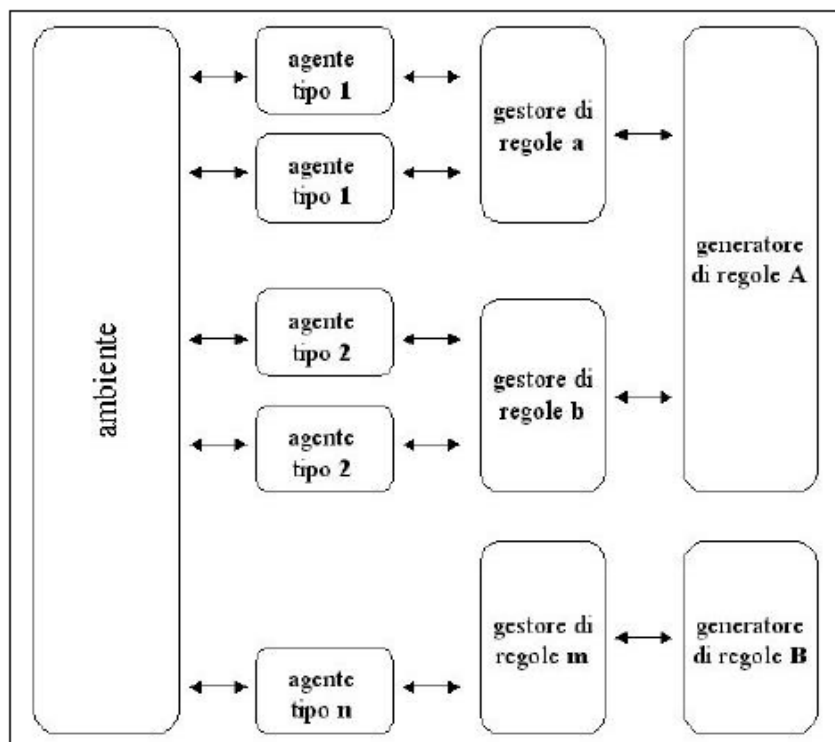
Livello 3: il modello mostra un accordo quantitativo con le micro-strutture empiriche, come stabilito dalle analisi cross-sezionali e longitudinali della popolazione di agenti.

Si può osservare che i risultati simulati a proposito dei comportamenti collettivi possono essere di difficile comprensione tanto quanto quelli reali. È un problema analogo a quello classico della comprensione dei legami tra genotipo e fenotipo. È infatti praticamente impossibile predire quale fenotipo emerga da un determinato genotipo. Questo è un tema centrale del campo dell'Artificial Life (AL).

Nel caso di modelli ad agenti si deve prendere in considerazione sia la varietà dei comportamenti emergenti sia gli effetti aggregati dei loro differenti modi di agire. È in questo contesto che si vedono emergere conseguenze inattese di diversi setting iniziali del modello. La spiegazione principale è la scoperta sia di micro-meccanismi che spiegano il comportamento individuale sia del modo in cui questi meccanismi, seppure semplici, possano generare conseguenze complesse come risultato dell'interazione tra agenti.

### 4.2.3 La struttura dei modelli

I problemi che nascono quando si va dai modelli semplici ai risultati complessi, mettono in luce il ruolo cruciale della struttura dei modelli sottostanti. Viene, dunque, riportata nella figura \_ la proposta dello schema ERA, *Environment-Rules-Agents* (Terna 2000a)<sup>15</sup> di gestire quattro diversi strati nella costruzione del modello e degli agenti.



**Figura 4.1:** Schema ERA, *Environment-Rules-Agents*.

<sup>15</sup> <http://web.econ.unito.it/terna/ct-era/ct-era.html>

Questo schema permette di tenere l'ambiente, che forma il contesto con regole e dati generali, e gli agenti, con i loro dati privati, su livelli concettuali differenti. Per semplificare il codice, il comportamento degli agenti è determinato da oggetti esterni, chiamati *Rule Masters*, gestori di regole, che sono rappresentazioni astratte della cognizione degli agenti. Gli oggetti dei gestori di regole devono essere legati a quelli dei generatori di regole, *Rule Makers*, che modificano le regole. I gestori di regole ottengono informazioni necessarie all'applicazione di tali regole dagli agenti, allo stesso modo i generatori di regole interagiscono con i gestori di regole, responsabili di prendere dati dagli agenti e passarli ai *Rule Makers*.

Un secondo vantaggio è rappresentato dalla sua modularità, che permette ai progettisti di sostituire gestori di regole con caratteristiche diverse, ad esempio un sistema a regole, una rete neurale, un algoritmo genetico, un sistema classificatore.

## **4.3 Un esempio di applicazione: I pagamenti interbancari**

In questa sezione sarà presentato un modello di simulazione ad agenti rappresentante un Real-Time Gross Settlement System (RTGS), sviluppato da L. Arciero, C. Biancotti, L. D'Aurizio e C. Impenna (2009), per simulare come si comportano i flussi di liquidità interbancari quando sono sottoposti a condizioni critiche. Gli autori si pongono l'obiettivo di offrire un contributo metodologico, mostrando come il modello scelto sia in grado di studiare la generazione e la propagazione di un rischio sistemico nei pagamenti interbancari.

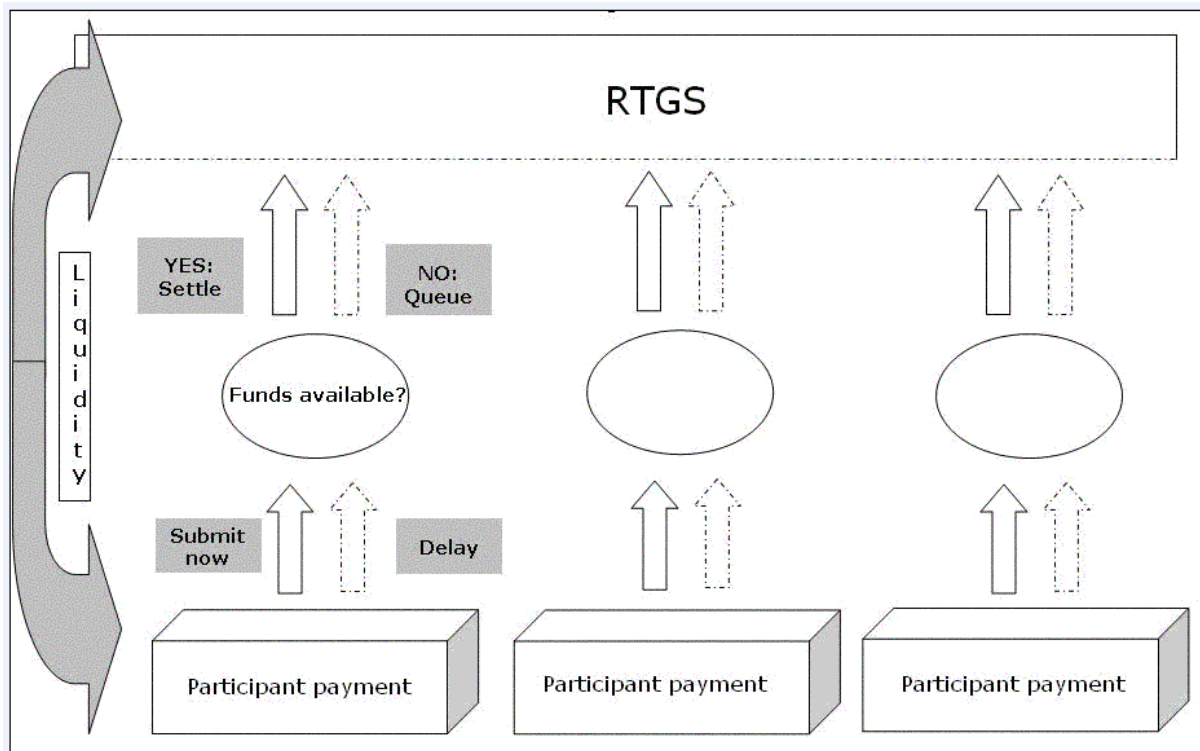
### **4.3.1 Rischio sistemico e Real-Time Gross Settlement System**

Nell'economia moderna, consumatori e imprese generalmente saldano le loro obbligazioni attraverso le banche o altri intermediari finanziari, tramite i più svariati strumenti.

Il volume e il valore delle transazioni che confluiscono nei sistemi di pagamenti aumentano ogni giorno di più. Tali sistemi sono interconnessi e la loro complessità funzionale è alta. Indipendentemente da chi origina il trasferimento e dallo strumento sottostante, ogni ordine di pagamento si inserisce in un processo integrato, che va dalla decisione iniziale di trasferire fondi ad una controparte, fino al saldo presso una banca centrale, o meglio attraverso un flusso di liquidità che passa dai conti che le banche detengono presso la banca centrale. L'alto grado di interdipendenza tra i partecipanti facilita l'emergere di effetti domino in caso di crisi. Al fine di tenere sotto controllo la possibilità di un rischio sistemico, a partire dalla seconda metà degli anni '90, la maggior parte dei sistemi dei pagamenti del mondo hanno adottato lo schema RTGS.

All'interno di un sistema RTGS ogni partecipante si basa su un flusso continuo di pagamenti in entrata provenienti da controparti. In più, è possibile ottenere del credito dalla banca centrale. Questo prevede un costo che può essere esplicito, se il credito è soggetto ad una commissione, oppure implicito, legato alla disponibilità del prestito. In alternativa i fondi possono essere oggetto di prestiti fra le banche.

Le banche possono dunque decidere se eseguire un pagamento o ritardarlo, influenzando in questo modo il funzionamento generale del sistema RTGS. Saldando per tempo i pagamenti esse riescono a soddisfare i bisogni dei clienti e delle controparti, ma vanno incontro ad alti costi di liquidità, a cui fanno fronte chiedendo prestiti ai mercati valutari o alla banca centrale. D'altra parte, le banche possono puntare sulle dinamiche giornaliere dei mercati valutari scegliendo un ritardo dei pagamenti, aumentando la possibilità di un rischio sistemico.



**Figura 4.2:** Real-Time Gross Settlement payment system.

Una volta che il pagamento viene inviato al sistema, esso è immediatamente eseguito se i fondi sono disponibili, altrimenti si va ad inserire nella coda di pagamenti non eseguiti. Occorre dunque capire che cosa accadrebbe nel caso di uno shock nel funzionamento del sistema RTGS.

### 4.3.2 Vantaggi di un approccio agent-based

In passato sono già stati utilizzate tecniche di simulazione per l'analisi dei sistemi di pagamento. La Bank of Finland è stata tra i primi a costruire modelli di simulazione basati su algoritmi *ad hoc*, dove un flusso deterministico di pagamenti è accettato come input e messo in relazione con un sistema centralizzato, in base a diverse ipotesi e regole operative.

In questo campo i modelli di simulazione ad agenti sono stati introdotti solo recentemente. Le banche sono viste come agenti indipendenti e il sistema evolve come risultato della loro interazione.

La flessibilità di un approccio *agent-based* costituisce un vantaggio poiché il sistema finanziario è in continuo cambiamento. Il sistema dei pagamenti evolve, alcuni tipi di banche scompaiono, occasionalmente interi paesi si inseriscono all'interno di un sistema oppure si ritirano, emergono nuovi strumenti finanziari, e le regole possono cambiare. In tali casi le simulazioni tradizionali necessitano di essere ricalibrate, al contrario i modelli *agent-based* possono essere efficientemente adattati.

### 4.3.3 Il modello in StarLogo TNG

Il modello sviluppato da L. Arciero, C. Biancotti, L. D'Aurizio e C. Impenna (2009), è stato costruito utilizzando StarLogo – The New Generation (TNG)<sup>16</sup>, e offre una versione stilizzata di un sistema RTGS, escludendo strumenti avanzati di gestione della liquidità. Esso include sette “razze” di agenti: le banche, la banca centrale, le richieste di pagamento, le operazioni fallite, le richieste di credito interbancarie, gli eventi di crisi e i “craters”, che rappresentano le banche colpite da tali eventi e di conseguenza non operative per un certo periodo di tempo. Un secondo, all'interno del modello, corrisponde ad un minuto del mondo reale.

Le banche sono dotate di un livello di cash iniziale. Durante il giorno, ad ogni tick, ogni banca crea un certo numero di nuovi agenti, che rappresentano le richieste di pagamento inviate ad ogni singola controparte, ad una velocità fissa.

Sono stabilite regole di invio che permettono di simulare i costi dei ritardi nei pagamenti a cui sono sottoposte le banche. Dal momento in cui è generata una richiesta di pagamento, fino al momento della sua liquidazione, il suo ammontare è incorporato nelle attese di liquidità sia di chi la origina, sia di chi la riceve. Si assume, quindi, che le

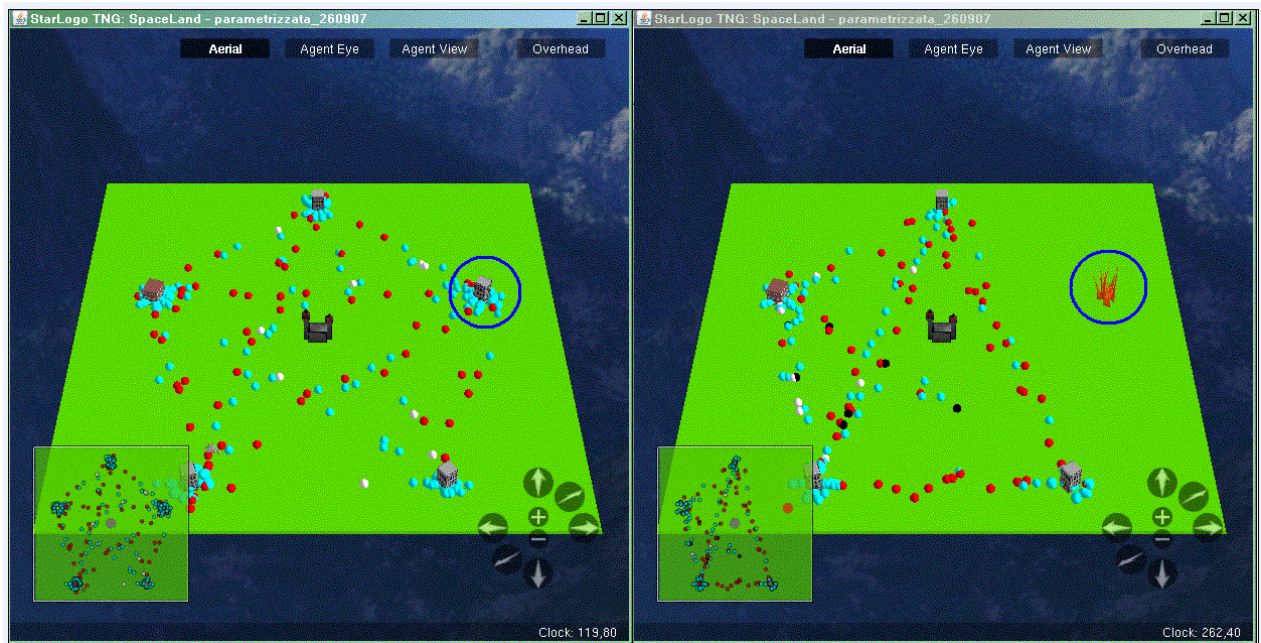
---

<sup>16</sup>StarLogo – TNG ( <http://education.mit.edu/starlogo-tng/>) è la nuova generazione di StarLogo, un software di simulazione programmabile utile a esplorare i comportamenti di sistemi decentralizzati. StarLogo è stato creato per Macintosh, ma sono state sviluppate altre versioni, ad esempio in Java.

banche siano in ogni momento informate su tutte le richieste di pagamento. Al tempo  $t$  esse sono in grado di calcolare la loro liquidità futura fino al tempo  $T$ . Tale aspettativa è costantemente aggiornata ogni volta che viene creata una nuova richiesta.

Quando inizia il processo di liquidazione, colui che deve effettuare il pagamento cerca di incontrare immediatamente la sua controparte. Se le disponibilità possedute in quel momento non sono sufficienti, la banca cerca di indebitarsi con la banca centrale, che si occupa di fornire liquidità su una base del 100%. Nel caso in cui, il prestito non fosse ancora sufficiente, la banca cerca i fondi sul mercato valutario. Le controparti possono accettare se concedere il prestito o meno, in base a regole prestabilite. Se una richiesta di prestito è rifiutata, la banca può chiedere ad altre controparti. Un contatore permette di visualizzare il numero di rifiuti, in modo che, superata una certa soglia, il modello segnala che la banca in questione non è in grado di ottenere fondi sufficienti. La richiesta viene dunque cancellata e segnalata come obbligazione non eseguita.

Un evento “disastroso” è simulato attraverso l’introduzione di un agente. La banca colpita da tale agente diviene totalmente inattiva, non può né ricevere né effettuare pagamenti, né tantomeno operare sul mercato interbancario come prestatore o datore di fondi. Inizialmente nei primi trenta minuti dall’evento destabilizzante, nessun agente è conscio del disastro e continua la sua attività normale. Un processo casuale, in seguito permette alle banche di acquisire consapevolezza, secondo una probabilità che aumenta nel tempo. Non appena una banca si rende conto di quanto accaduto, interrompe le richieste di pagamento dalla banca inattiva, trasformando tutti pagamenti e le richieste di prestito in obbligazioni non eseguibili.



**Figura 4.3:** Mondo simulato, prima e dopo l’evento critico che colpisce l’agente all’interno del cerchio.

Quando è attiva, la banca centrale controlla se le banche ritardano i pagamenti oltre una soglia prestabilita. Se una banca mostra un eccessivo numero di ritardi, la banca centrale fornisce liquidità. Tale intervento si interrompe quando il numero di ritardi ritorna sotto la soglia.

Le previsioni del modello approssimano le caratteristiche del sistema reale, mostrando gli effetti intraday di uno shock inatteso negativo che influenza i partecipanti, in merito alla loro liquidità e alle loro aspettative, toccando in seguito anche il mercato interbancario, fino a necessitare l’intervento della banca centrale. In generale, quindi, i risultati suggeriscono che un tale modello di simulazione ad agenti, possa essere incluso tra gli strumenti analitici utilizzati dalle banche centrali per l’analisi della stabilità dei sistemi finanziari.

Il modello può essere inoltre sviluppato in diverse direzioni allo scopo di rappresentare meglio il sistema RTGS e i mercati valutari. Le dinamiche del rischio di liquidità insito nel sistema dei pagamenti, non sono l’unico ambito di applicazione in cui può essere usata una simulazione ad agenti. Un campo di applicazione può essere, ad esempio,



quello della gestione strategica della liquidità, in merito a come questa possa essere influenzata dall'intervento di un regolatore, al fine di ridurre la probabilità di un rischio sistemico.

## **4.4 Applicazioni dei modelli di simulazione ai mercati finanziari**

La simulazione ad agenti trova un ampio impiego nella rappresentazione dei mercati finanziari. Questi, infatti, sono formati da un sistema di regole e da diverse tipologie di attori che vi operano. Un problema fondamentale che deve essere affrontato nella costruzione di un modello di simulazione di un mercato finanziario, riguarda la scelta della dinamica di comportamenti degli agenti, e come questi si confrontano nel momento in cui avviene una transazione. Uno dei primi modelli di simulazione ad agenti dei mercati finanziari è quello sviluppato da alcuni ricercatori tra cui R. G. Palmer, W. Brian Arthur, John H. Holland e Blake LeBaron (1996) del Santa Fe Institute, ed è noto come Santa Fe Artificial Stock Market (ASM).

### **4.4.1 Santa Fe *Artificial Stock Market***

Il modello consiste in numero di agenti che sceglie tra la possibilità di investire in un titolo che paga un dividendo stocastico o lasciare i propri soldi in banca, dove viene pagato un tasso di interesse fisso. Le decisioni di investimento dipendono da previsioni future sul rendimento del titolo, utilizzando algoritmi genetici per generare regole previsionali.

#### *Struttura del mercato*

La struttura base del modello è l'interazione di  $N$  agenti con un mercato centrale. Ci possono essere diversi tipi di agenti che non interagiscono direttamente tra di loro, ma lo fanno solo attraverso il mercato. Nel mercato esiste un singolo titolo con un prezzo  $p(t)$ , dove  $t$  indica il tempo, e il titolo paga un dividendo  $d(t+1)$  alla fine del periodo  $t$ .

Ad ogni tempo  $t$ , ogni agente  $i$  detiene un determinato numero di titoli e un certo ammontare di cash in banca, per cui la sua ricchezza totale è determinata da:

$$w_i(t) = M_i(t) + h_i(t)p(t)$$

Nell'istante successivo, la ricchezza si modifica in base al nuovo prezzo del titolo ed al dividendo pagato.

Il processo di scambio è gestito da uno *specialist*, che si occupa di fissare il prezzo del titolo all'istante successivo sulla base delle offerte di vendita e di acquisto da parte degli investitori.

Vi è inoltre una serie di informazioni utilizzate dagli investitori per definire le loro azioni, che consiste in una stringa in cui sono collocati valori numerici, tra cui informazioni relative al prezzo, al dividendo e al numero di acquisti e vendite in ognuno degli istanti precedenti. La dinamica dei prezzi si basa su proposte di acquisto e di vendita formulate dagli agenti e sono poi aggregate tramite equazioni che puliscono il mercato, trovando così il prezzo di equilibrio che fa incontrare la quantità dai due lati del mercato.

Questa visione, che riprende quella del banditore di Walras sulla base di scelte eterogenee di agenti che espongono comportamenti di acquisto o di vendita, non risolve il problema del realismo del mercato.

#### **4.4.2 Agenti *zero intelligence***

Al fine di rendere il modello più realistico, è necessaria una scelta radicale in cui l'azione degli agenti sia determinata da istituzioni, come il *book* telematico delle negoziazioni di borsa. In questo modo è possibile eliminare la necessità di aggregazione di comportamenti individuali e superare l'ipotesi dell'agente rappresentativo dotato di razionalità piena. L'impostazione dei modelli si deve basare dunque sull'interazione tra gli agenti e non tramite equazioni aggregate. D. K. Gode e S. Sunder (1993) riportano esperimenti di un mercato in cui i trader umani sono rimpiazzati da agenti "*zero intelligence*" che inviano casualmente domande di acquisto e di vendita. Si può notare che l'efficienza allocativa non dipende dalle motivazioni degli operatori o dalla loro capacità di apprendimento. La "mano invisibile" di Adam Smith risulta essere più

potente di quello che si può credere. Daniels *et al.* (2002) presenta un modello in cui gli agenti hanno intelligenza zero e operano casualmente, il *book* della borsa, con contrattazioni al limite di prezzo, genera le proprietà del mercato, come lo *spread* o la volatilità. I risultati di Farmer, Patelli e Zovko (2003, 2005), dimostrano che domanda e offerta dipendono dall'interazione dinamica della diffusione del prezzo, dell'accumulo e della cancellazione, e non sono frutto dei desideri o dell'intelligenza umana. Con questo non si vuole dire che i partecipanti al mercato sono privi di intelligenza, ma il modello fornisce un riferimento che permette di identificare le proprietà guidate da comportamenti strategici.

#### 4.4.3 Il modello SUM, A Surprising (Un)realistic Market

In questa sezione è proposto il modello denominato SUM (Terna 2002), *A Surprising (Un)realistic Market*, dal titolo del primo articolo di presentazione (Terna 2000). Il modello è basato sullo schema ERA, descritto nel paragrafo 4.2.3, ed è presentato in una prima versione in Objective C, fondata su Swarm<sup>17</sup>, descritta in Terna (2002), e in una seconda versione in Java, sempre fondata su Swarm.

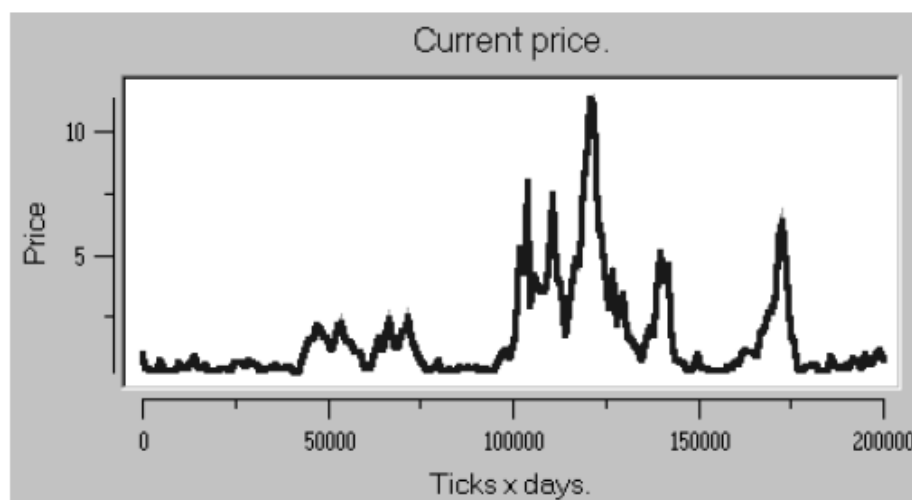
Nel modello SUM sono utilizzati agenti molto semplici, “senza mente”, inseriti in un ambiente strutturato, che operano basandosi su un meccanismo di contrattazione telematica, producendo risultati molto realistici, con la formazione di bolle e crash. Tale modello produce serie di prezzi che si evolvono continuamente, transazione dopo transazione. Gli agenti inviano i loro ordini di acquisto e di vendita, con i relativi limiti di prezzo. Se trova, una controparte, il book esegue immediatamente l'ordine, altrimenti, registra separatamente gli ordini di acquisto e di vendita, per poi farli incontrare in futuro. Gli ordini vengono cancellati alla fine di ogni giornata.

---

<sup>17</sup> *Swarm* (<http://www.santafe.edu/projects/swarm/>) è stato sviluppato al Santa Fe Institute negli anni '90, come una biblioteca di funzioni, sulla base del linguaggio Objective C, un dialetto di C orientato agli oggetti, e dopo alcuni anni è stata sviluppata anche una versione basata su linguaggio Java. Nel sistema Swarm l'unità base di simulazione è la *swarm*, una collezione di agenti che eseguono una serie di azioni. Swarm è stato scritto in modo da adattarsi a diverse aree di applicazioni, come la fisica, l'economia, la chimica, l'antropologia, l'ecologia, le scienze politiche. Gli agenti definiscono gli oggetti base nel sistema Swarm, questi componenti simulati vengono sottoposti ad una serie di eventi all'interno di un tempo specifico. Il tempo avanza solo per serie di eventi a tempi successivi.

La struttura del mercato emerge dal comportamento degli agenti miopi, che conoscono solo l'ultimo prezzo eseguito, scelgono a caso se acquistare o vendere, con uguale probabilità, e fissano il prezzo limite pari all'ultimo oggetto di scambio, più o meno uno scostamento casuale scelto in un intervallo dato. Questa struttura genera sequenze di prezzo crescenti e decrescenti, con una notevole volatilità. Le bolle e i crash si formano quando un lato del book è molto più “corto” dell'altro, per il prevalere (casuale) di acquisti o di vendite.

Nel corso degli esperimenti artificiali condotti, è interessante notare come un ambiente strutturato e agenti semplici producano risultati realistici e complessi. In [Figura](#) si può osservare come l'emergere di bolle e crash sia la diretta conseguenza della struttura del mercato (il book telematico).



**Figura 4.4:** Sequenza di prezzi con agenti che operano in modo casuale.

Le sequenze di prezzo sono riportate secondo una scala di misurazione in cui, ad esempio, 200000 tick corrispondono a 2000 giorni di contrattazione.

In Terna (2002a) viene affrontato anche il caso di agenti “con mente”, cioè con reti neurali, che evolvono complesse strategie di comportamento, operando in un ambito

strutturato. Viene usata la tecnica dei *Cross Targets* (CT), introdotta in Terna (2000a), per costruire reti neurali che sviluppino regole di comportamento minime.

In questo caso, in un ambiente strutturato, il risultato dell'azione di un agente "con mente", produce non solo risultati complessi in termini aggregati, ma anche strategie di azione, come una modalità di comportamento che permette di ottenere risultati positivi anche in presenza di turbolenza dei prezzi. L'agente economico sviluppa dunque la capacità di apprendere e di valutare quale azione sia più adatta al raggiungimento di un certo risultato e quali conseguenze possano derivarne. Si può osservare come i CT siano in grado di riprodurre il comportamento di soggetti economici sulla base di un apparato interno elementare, ma che all'esterno appare complesso, frutto di piani e obiettivi specifici.

## Capitolo 5

# Descrizione del modello “High Frequency Trading”

Il modello *High Frequency Trading* è stato sviluppato utilizzando il programma NetLogo, versione 4.1.3 (rilasciata nell'aprile 2011) e si pone l'obiettivo di simulare un mercato di Borsa, in cui sono inviati, in base a determinate condizioni di mercato, ordini a bassa frequenza ed ordini ad alta frequenza. In particolare, lo scopo del modello è quello di osservare come cambiano le condizioni di un mercato finanziario sottoposto a strategie da parte di operatori High Frequency, che utilizzano una contrattazione automatizzata ad alta velocità, cercando di ricreare le condizioni in cui avviene questo sistema di scambio.

Alla base del modello, dunque, vi è lo scambio di titoli sul mercato. L'istituzione del mercato è rappresentata da una *turtle* che ha lo scopo di visualizzarlo all'interno del mondo simulato, come luogo fisico in cui giungono gli ordini e avviene lo scambio. Questa simulazione crea un mercato finanziario in cui le contrattazioni sono effettuate da agenti compratori e venditori rappresentando i flussi di ordini che sono inviati verso l'istituzione *mercato*, in cui avvengono effettivamente gli scambi. Questa scelta, consente di creare due diversi tipi di ordini: 1) ordini a bassa frequenza (*low-frequency*), che sono comunemente usati dai partecipanti al mercato, e 2) ordini ad alta frequenza (*high-frequency*), che invece sono inviati dagli operatori High Frequency che utilizzano una tecnologia avanzata che permette l'invio di ordini ad altissima velocità.

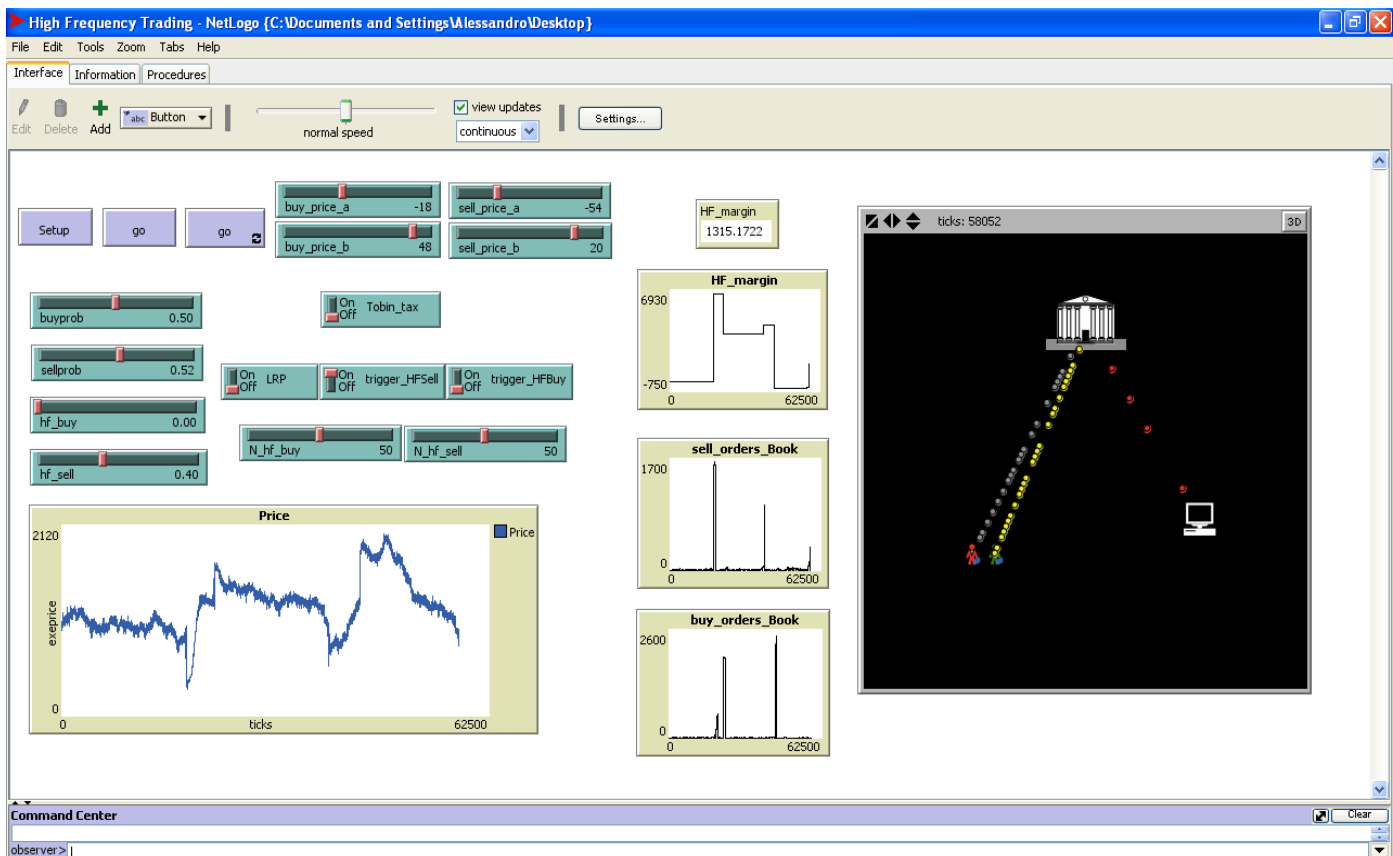
Gli ordini sono gestiti al fine di rendere più chiara la programmazione. La differenza di velocità tra i due tipi di ordini è osservabile nel viaggio che essi compiono una volta generati dal *buyer*, dal *seller* e dall'*high frequency trader* verso il mercato, e indica il tempo di reazione degli operatori tra una decisione di invio e l'altra. Gli ordini *low-frequency* sono creati dai normali partecipanti, in numero di 1 ad ogni tick in base ad

una probabilità di invio decisa dall'utente. Gli ordini *high-frequency*, invece, sono generati dall'operatore High Frequency, rappresentato da un computer, che in base alla strategia che vuole assumere, ne crea ad ogni tick, un numero variabile deciso dall'utente. Al mercato, dunque, ad ogni tick, arriverà un solo ordine di acquisto o di vendita a bassa frequenza, oppure, qualora inviati, numerosi ordini ad alta frequenza in base ad una scelta effettuata dall'utente, che può arrivare ad inviarne un massimo di 100 ad ogni tick.

Al fine di dare una dimensione temporale al modello, è stato assegnato ad un tick il valore di 1 secondo, in questo modo, si riesce a rappresentare realisticamente la particolarità degli ordini *high frequency*, di arrivare al mercato in pochi millisecondi. Nonostante ciò, non si è voluta considerare una giornata di contrattazione corrispondente al valore temporale assegnato, bensì si è stabilita una giornata di contrattazione molto più breve (pari a 1000 tick), in quanto più utile ai fini della simulazione.

## **5.1 Interfaccia grafica e tipologie di agenti**

Il modello è osservabile grazie all'interfaccia grafica di NetLogo, che si compone di pulsanti, slider e switch che permettono di modificare, in ogni momento, il funzionamento della simulazione sottoponendola alle diverse possibilità previste dal programma. I grafici presenti, inoltre, consentono di avere una chiara visione di quanto accade nel mondo simulato. La Figura 1.1 in basso, mostra l'interfaccia del modello *High Frequency Trading*.



**Figura 5.1:** Interfaccia di NetLogo del modello *High Frequency Trading*.

Come si può notare dalla figura precedente, sono presenti tre pulsanti: uno di *Setup* e due di *go*. Il pulsante *Setup* inizializza la simulazione dando vita alle “razze” di agenti che andranno a operare all’interno del programma. I tasti *go* eseguono la procedura scritta all’interno della sezione *Procedures* che costituisce la vera e propria simulazione. In particolare, il primo tasto *go* ripete una sola volta l’istruzione, mentre il secondo la ripete all’infinito.

Il modello si compone di un agente compratore e di un agente venditore, identificabili dalle *turtles* raffiguranti due persone, di colore verde per quanto riguarda l’agente compratore, *buyer*, e di colore rosso per quanto riguarda l’agente venditore, *seller*. Tali partecipanti al mercato finanziario sono solo in numero di due poiché non hanno l’obiettivo di rappresentare la pluralità degli operatori di Borsa, ma si occupano soltanto di creare gli ordini da inviare al mercato in base a probabilità differenziate modificabili



tramite slider, che verranno descritte più avanti. Essi, comunque, possono generare solo un ordine alla volta.

La turtle a cui è stata assegnata la forma di computer, invece, rappresenta l'agente High Frequency, prendendo dunque il nome di *high\_frequency\_trader*, ed è contrapposto agli altri partecipanti al mercato in quanto è in grado di inviare ordini ad alta frequenza, i cui effetti sul mercato sono l'obiettivo primario di questa simulazione. Anche questo agente ha la caratteristica unica di creare gli ordini *high frequency*, il cui numero e tipologia (ordini di acquisto e ordini di vendita) sono determinati da una probabilità modificabile dall'utente. Il numero di ordini ad alta frequenza, generati ad ogni invio, è determinabile dall'utente tramite slider come si vedrà più avanti.

Gli agenti che operano attivamente sul mercato finanziario, secondo l'obiettivo di rappresentazione dei flussi di ordini, precedentemente spiegato, sono di quattro tipi: due tipi di ordini di acquisto, *low\_buy\_orders* (di colore giallo) e *hf\_buy\_orders* (di colore verde), a bassa e ad alta frequenza, e due tipi di ordini di vendita, *low\_sell\_orders* (di colore grigio) e *hf\_sell\_orders* (di colore rosso) sempre a bassa e ad alta frequenza. Tali agenti hanno la forma di pedine lanciate verso il mercato (chiamato *market* e raffigurato da una turtle al semplice scopo di darne una forma visiva), luogo in cui avvengono gli scambi tra compratori e venditori. Il codice per la programmazione delle *breed* appena elencate è il seguente:

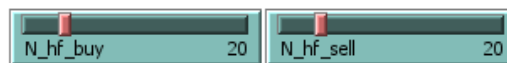
```
breed[sellers seller]
breed[buyers buyer]
breed[markets market]
breed[high_frequency_traders high_frequency_trader]
breed[low_sell_orders low_sell_order]
breed[low_buy_orders low_buy_order]
breed[hf_buy_orders hf_buy_order]
breed[hf_sell_orders hf_sell_order]
```

Gli *slider* a cui si è fatto riferimento, indicano diverse possibilità di variazione delle condizioni all'interno del modello. La Figura 5.2 ne mostra quattro, utilizzati per modificare la probabilità di creazione dei quattro diversi tipi di ordini



**Figura 5.2:** Slider per la probabilità di creazione degli ordini.

In particolare, il primo slider, identificato dal termine *buyprob*, indica la probabilità che l'agente compratore ha di inviare ordini di acquisto al mercato. Il secondo, chiamato *sellprob*, indica la probabilità di generazione di ordini di vendita da parte dell'agente venditore. Gli slider *hf\_buy* e *hf\_sell* invece riguardano la creazione degli ordini di acquisto e di vendita da parte dell'*high frequency trader*. Tali probabilità sono comprese in un range che va da 0 a 1, sono in ogni momento modificabili dall'utente e provocano effetti immediati nel corso della simulazione.

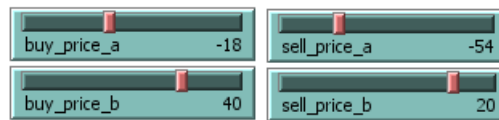


**Figura 5.3:** Scelta del numero di ordini ad alta frequenza da inviare al mercato

La Figura 5.3 mostra invece gli slider che permettono all'utente di modificare il numero di ordini ad alta frequenza da inviare al mercato, al fine di osservare come variano gli effetti causati da alti o bassi volumi di ordini di acquisto o di vendita. L'agente *high frequency trader* è l'unico generatore di ordini ad alta frequenza e decide, in base a determinate fasi di mercato (trend positivi o negativi), quali tipologie di ordini inviare (ordini di acquisto se si è in presenza di un trend positivo e ordini di vendita, invece, se il trend sarà negativo) secondo una procedura che sarà illustrata più avanti.

L'ultima tipologia di slider, in Figura 1.4, indica la possibilità di variare il range di scelta dei prezzi intorno ad un intervallo dato dall'ultimo prezzo eseguito. Anche questi

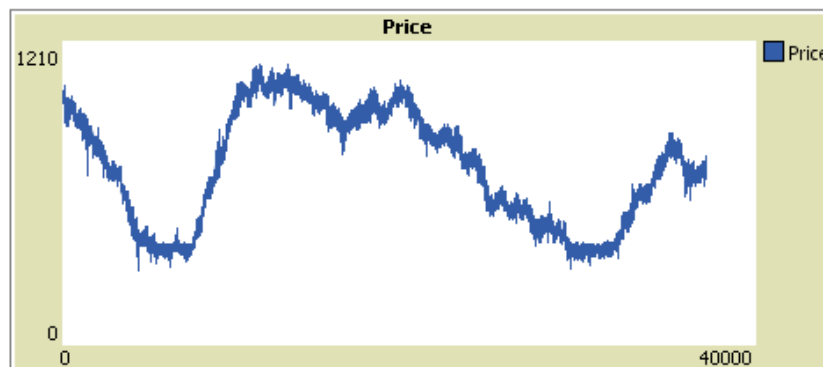
valori sono modificabili da parte dell'utente in qualsiasi momento e generano un effetto immediato sulla simulazione.



**Figura 5.4:** Range di scelta dei prezzi.

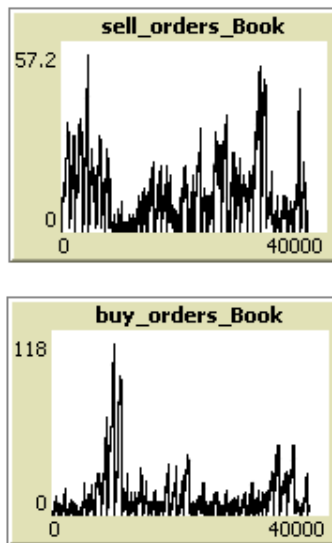
L'uso degli *switch* e le loro funzioni saranno analizzati più nel dettaglio nella sezione dedicata alle procedure e agli esperimenti.

In questo modello è possibile osservare quattro tipi di grafici: il grafico principale è quello del prezzo (Figura 5.5), che viene aggiornato continuamente e illustra l'ultimo prezzo eseguito. Grazie all'ausilio di questo grafico è possibile osservare la creazione di bolle e crash, tipici di un mercato azionario.



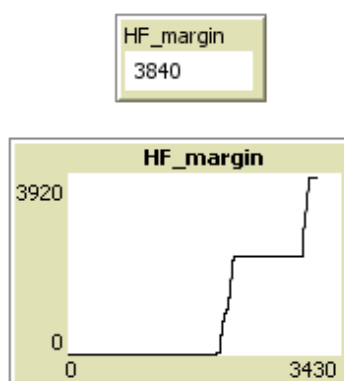
**Figura 5.5:** Grafico dei prezzi del mercato simulato.

I grafici chiamati *sell\_orders\_Book* e *buy\_orders\_Book* (Figura 5.6) mostrano, invece, la dimensione delle liste di ordini, di acquisto e di vendita, in attesa di trovare una controparte di scambio sul mercato.



**Figura 5.6:** Dimensioni delle liste di ordini di acquisto e di vendita in attesa di essere scambiati.

La Figura 5.7 mostra il grafico *HF\_margin* che ha lo scopo di illustrare i margini realizzati dagli High Frequency Trader coinvolti nelle contrattazioni. Tale grafico sarà utile a visualizzare, negli esperimenti, le differenze di profitti, in presenza o meno di una Tobin tax. Il monitor, invece, ne dà una rappresentazione numerica.



**Figura 5.7:** Monitor e grafico dei margini realizzati dall'High Frequency Trader.

A partire dalla versione 4.1 di NetLogo (rilasciata nel dicembre 2009) è possibile scaricare l'applicazione che permette una visualizzazione del modello in 3D, e la Figura 5.8 è un esempio riguardante proprio il modello *High Frequency Trading*.



**Figura 5.8:** Raffigurazione 3D del modello *High Frequency Trading*.

### 5.1.1 Variabili

Le variabili globali, identificate dal Manuale Utente di NetLogo tra le *keywords*, con il nome di *globals*, possono essere utilizzate esclusivamente all'inizio del programma per definire nuove variabili accessibili a tutte le categorie di agenti e utilizzabili in ogni parte del modello.

Nel caso specifico di questo modello le variabili globali sono: il prezzo eseguito, *exeprixe*, che fa riferimento ad ogni scambio, la lista *logB* che contiene gli ordini di acquisto giunti al mercato, la lista *logS* che invece contiene gli ordini di vendita, la lista

*logEx* che elenca tutti i prezzi eseguiti dall'inizio della simulazione e infine *HF\_margin* che rappresenta i margini realizzati dagli high frequency traders.

```
globals [exeprixe logB logS logEx HF_margin]
```

L'ultimo passo da realizzare prima di inizializzare la procedura, è la scrittura delle variabili che invece sono proprie di ogni agente tramite la keyword *<breeds>-own* e in questo caso particolare, vi è un'unica variabile che è quella del prezzo, *price*:

```
low_buy_orders-own [price]
low_sell_orders-own [price]
hf_buy_orders-own [price]
hf_sell_orders-own [price]
```

### 5.1.2 Setup del modello

Prima di mettere in funzione la simulazione occorre dare una forma al mondo che ci consentirà di descrivere il modello. Questa procedura avviene nella fase di Setup ed è eseguita tramite il pulsante *Setup*, presente nell'interfaccia.

```
to setup
  clear-all
  set-default-shape sellers "person business"
  set-default-shape buyers "person business"
  set-default-shape high_frequency_traders "hft"
  set-default-shape markets "building institution"
  set-default-shape hf_buy_orders "orders"
  set-default-shape hf_sell_orders "orders"
  set-default-shape low_sell_orders "orders"
  set-default-shape low_buy_orders "orders"
  set exeprixe 1000
  set HF_margin 0
  set Tobin_tax false
  set logB []
  set logS []
  set logEx []
  set trigger_HFSell false
  set trigger_HFBUY false
  set LRP false
```

Il comando *clear-all* (oppure *ca*) azzerava tutte le variabili all'inizio di ogni simulazione, mentre, con il comando *set-default-shape*, si assegna una forma precisa alle diverse categorie di agenti. In seguito, si settano i valori delle variabili che verranno modificate

nel corso della simulazione. Il prezzo del titolo che sarà oggetto di simulazione, parte da un valore di 1000.

Si passa, poi, alla creazione degli agenti, tramite il comando *create-breeds*, e alla definizione delle loro caratteristiche e della loro collocazione all'interno del mondo.

```
create-sellers 1
ask sellers [set size 1.8
             setxy -10 -8
             set color 15]

create-buyers 1
ask buyers [set size 1.8
            setxy -8 -8
            set color 53]

create-high_frequency_traders 1
ask high_frequency_traders [set size 4
                             set color 9.9
                             setxy 10 -5]

create-markets 1
ask markets [set size 5
             set color 9.9
             setxy 0 12]
```

Il frammento di codice seguente, invece, assegna il colore grigio alle *patches* indicate, che servirà ad identificare il luogo del mercato in cui si realizzeranno gli scambi, una volta arrivati gli ordini, sia a bassa che ad alta frequenza.

```
ask patch -1 10 [set pcolor grey]
ask patch -2 10 [set pcolor grey]
ask patch -3 10 [set pcolor grey]
ask patch 0 10 [set pcolor grey]
ask patch 1 10 [set pcolor grey]
ask patch 2 10 [set pcolor grey]
ask patch 3 10 [set pcolor grey]
ask patch -2 11 [set pcolor grey]
ask patch -1 11 [set pcolor grey]
ask patch 0 11 [set pcolor grey]
ask patch 1 11 [set pcolor grey]
ask patch 2 11 [set pcolor grey]
ask patch -2 12 [set pcolor grey]
ask patch -1 12 [set pcolor grey]
ask patch 0 12 [set pcolor grey]
ask patch 1 12 [set pcolor grey]
ask patch 2 12 [set pcolor grey]
ask patch -2 13 [set pcolor grey]
ask patch -1 13 [set pcolor grey]
ask patch 0 13 [set pcolor grey]
ask patch 1 13 [set pcolor grey]
ask patch 2 13 [set pcolor grey]

end
```

A questo punto si può dichiarare conclusa la procedura di setup con la parola *end*.

### 5.1.3 Descrizione delle procedure di simulazione

La procedura *to go* richiama tutte le altre procedure successive che danno vita alla simulazione, ad esempio i comandi di movimento delle turtles, di creazione degli ordini e dei book, di scambio sul mercato. Inoltre, assegna una dimensione temporale facendo avanzare di 1 il contatore *tick*.

```
to go
  hatch-orders
  move-orders
  tick
  if ticks mod 1000 = 0 [set logB [] set logS[] ]
  generate-books
  exchange
  trigger-HF
  replenish-liquidity
  clear-orders
  graph
end
```

Gli agenti partecipanti al mercato, il *buyer*, il *seller* e l'*high frequency trader*, si occupano della creazione degli ordini di acquisto e di vendita, a bassa frequenza i primi due e ad alta frequenza l'ultimo. La generazione avviene secondo una probabilità che va da 0 a 1, modificabile dall'utente dall'interfaccia per mezzo di slider. Il comando utilizzato per la creazione degli ordini è *hatch-<breeds>*, a cui viene assegnato il numero di agenti desiderati, che nel caso degli ordini high frequency è determinato a scelta dell'utente, in un range che va da 1 a 100.

Si attribuiscono, in questo modo, le caratteristiche proprie ad ogni tipologia di agente, e quindi forma, colore e variabile *price* posseduta da ogni ordine inviato al mercato. In particolare la variabile del prezzo è determinata casualmente intorno ad un intervallo tra 0 e 1, dato dall'ultimo prezzo eseguito, aggiungendo o sottraendo un numero, in modo da creare un'asimmetria tale da rendere casuale l'andamento del prezzo di esecuzione degli ordini. Questo processo è reso possibile determinando un intervallo *a* e *b* (diverso per ordini di acquisto e ordini di vendita), ponendo il prezzo uguale all'ultimo prezzo eseguito a cui viene aggiunto un valore casuale compreso tra 0 e 1 (*random-float 1*) e moltiplicando per  $(b - a) + a$ .



Nel nostro caso, gli estremi dell'intervallo, per ordini di acquisto e ordini di vendita, sono facilmente individuabili, in quanto chiamati *buy\_price\_a* e *buy\_price\_b*, e *sell\_price\_a* e *sell\_price\_b*, e sono ancora una volta determinabili arbitrariamente tramite i quattro slider precedentemente illustrati, in modo da renderli indipendenti tra di loro. Di seguito è riportato il codice della procedura appena esplicata.

```
to hatch-orders

  ask buyers
    [if buyprob > random-float 1
      [hatch-low_buy_orders 1
        [set size 1
          set color 45
          set price exeprice + (random-float 1) * (buy_price_b - (buy_price_a)) + (buy_price_a)
        ]]]

  ask sellers
    [if sellprob > random-float 1
      [hatch-low_sell_orders 1
        [set size 1
          set color 5
          set price exeprice + (random-float 1) * (sell_price_b - (sell_price_a)) + (sell_price_a)
        ]]]

  ask high_frequency_traders
    [if hf_buy > random-float 1
      [hatch-hf_buy_orders N_hf_buy
        [set color 53
          set price exeprice + (random-float 1) * (buy_price_b - (buy_price_a)) + (buy_price_a)
          set size 1
        ]]]

  ask high_frequency_traders
    [if hf_sell > random-float 1
      [hatch-hf_sell_orders N_hf_sell
        [set color 15
          set price exeprice + (random-float 1) * (sell_price_b - (sell_price_a)) + (sell_price_a)
          set size 1
        ]]]

end
```

Le uniche *turtles* a compiere un movimento sono gli ordini, che creano un flusso verso il mercato, luogo in cui avviene il *match* che genera lo scambio. La procedura *move-orders* contiene i comandi necessari a tale movimento, assegnando una certa angolazione, differente per tipo di ordine, e una certa velocità, distinta per ordini *low-frequency* e ordini *high-frequency*, così come avviene nella realtà. Questi ultimi, infatti, arrivano al mercato ad una velocità notevolmente più alta rispetto ai primi.

```
to move-orders

  ask hf_buy_orders [set heading 329 fd 3]
  ask hf_sell_orders [set heading 329 fd 3]
  ask low_buy_orders [set heading 23 fd 0.5]
  ask low_sell_orders [set heading 27 fd 0.5]

end
```

### 5.1.4 Procedura di generazione degli *order books*: *logB* e *logS*

Al fine di effettuare lo scambio, gli ordini, una volta arrivati al mercato (identificato oltre che dalla turtle *market*, anche da una zona di *patches* grigie), copiano il proprio prezzo e il proprio *who* (quindi il loro numero identificativo), all'interno di una lista.

```
to generate-books
  let buy_orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders)
  ask buy_orders with [pcolor = 5]
    [let varbuy []
     set varbuy lput price varbuy
     set varbuy lput who varbuy
     set logB lput varbuy logB
    ;show logB
    ]
  ;show exeprice

  let sell_orders (turtle-set low_sell_orders hf_sell_orders)
  ask sell_orders with [pcolor = 5]
    [let varsell []
     set varsell lput price varsell
     set varsell lput who varsell
     set logS lput varsell logS
    ;show logS
    ]
  ;show exeprice
end
```

In particolare, le quattro tipologie di ordini sono state suddivise in due macro-gruppi che riuniscono gli ordini di acquisto e gli ordini di vendita, creando due variabili provvisorie e inserendo gli agenti all'interno di due insiemi, tramite il comando *turtle-set*. Gli ordini di acquisto, sia a bassa che ad alta frequenza, sono dunque inseriti nella lista *logB*, mentre gli ordini di vendita, sia a bassa che ad alta frequenza, nella lista *logS*. Le liste verranno in seguito ordinate per dare luogo agli scambi.

Una volta che l'ordine è arrivato al mercato e ha copiato il prezzo nella relativa lista, rimanendo in attesa di essere scambiato, l'agente muore secondo la procedura *clear-orders*.

```
to clear-orders
  ask low_buy_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask low_sell_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask hf_buy_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask hf_sell_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
end
```

### 5.1.5 Procedura di scambio sul mercato

Per simulare la contrattazione sul mercato finanziario, si è cercato di ricreare le regole alla base del funzionamento di un mercato telematico, il più realisticamente possibile. Dopo avere riempito, dunque, le liste di ordini, si è proceduto ad ordinarle, in senso decrescente per quanto riguarda gli ordini di acquisto, e in senso crescente, per quello che riguarda invece gli ordini di vendita, tramite il comando *reverse sort-by* e *sort-by*.

```
ask orders with [pcolor = 5]
[set logB reverse sort-by [item 0 ?1 < item 0 ?2] logB]
[set logS sort-by [item 0 ?1 < item 0 ?2] logS]
```

Quando l'ordine arriva al mercato viene interrogato in merito alla sua "razza" e al suo prezzo. Se, ad esempio, ad arrivare è un ordine d'acquisto e il prezzo *bid*, offerto per comprare, è maggiore rispetto al prezzo *ask*, richiesto per vendere, presente nella lista *logS*, lo scambio viene eseguito al prezzo *ask*.

```
to exchange

let orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders low_sell_orders hf_sell_orders)
let buy_orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders)
let sell_orders (turtle-set low_sell_orders hf_sell_orders)

ask orders with [pcolor = 5]

[if breed = buy_orders and (not empty? logS) and price > 400 and
 price >= item 0 (item 0 logS)
 [set exeprice item 0 (item 0 logS)
 set logS but-first logS
 set logB remove list (price) (who) logB
 set logEx lput exeprice logEx
 if breed = hf_buy_orders [set HF_margin HF_margin + 1]
 if breed = low_buy_orders [ask hf_sell_orders
 [set HF_margin HF_margin + 1 if Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]]
 if breed = hf_buy_orders or breed = hf_sell_orders and Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]]
```

Viceversa, se ad arrivare è un ordine di vendita e il prezzo *ask* è minore rispetto al prezzo *bid*, presente nella lista *logB*, lo scambio è eseguito al prezzo *bid*. In entrambi i casi, una volta eseguito, l'ordine viene eliminato dalla lista.

```

if breed = sell_orders and (not empty? logB) and
item 0 (item 0 logB) >= price
[set exeprice item 0 (item 0 logB)
set logB but-first logB
set logS remove list (price) (who) logS
set logEx lput exeprice logEx
if breed = hf_sell_orders [set HF_margin HF_margin + 1]
if breed = low_sell_orders [ask hf_buy_orders
[set HF_margin HF_margin + 1 if Tobin_tax
[set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]]
if breed = hf_sell_orders or breed = hf_buy_orders and Tobin_tax
[set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]

```

Se invece non avviene il *match*, l'ordine rimane nella lista inserendosi nella “coda” di ordini in attesa di trovare una controparte di scambio. Le liste di ordini si svuotano al termine della giornata di contrattazione. Sono stati inoltre tagliati i prezzi *ask* ai quali nessuno sarebbe più disposto a vendere, onde evitare che il prezzo diventi negativo.

È stata inoltre creata una terza lista, chiamata *logEx*, che fa un elenco di tutti i prezzi eseguiti e che sarà utile per determinare la dimensione della variazione del prezzo dai suoi valori medi.

Nella procedura di scambio sono anche compresi i comandi che servono a generare i margini realizzati dall'*high frequency trader*, in presenza o meno di una Tobin tax, che introduce una tassa sulle transazioni e che rappresenta una delle potenziali soluzioni per combattere l'uso indiscriminato dell'High Frequency Trading. Quest'argomento verrà specificato meglio nella sezione dedicata agli esperimenti.

### 5.1.6 Procedura di innesco dell'invio di ordini *high frequency*

La decisione in merito all'invio di ordini high frequency, sia d'acquisto che di vendita, dipende dalle strategie assunte dagli operatori che si avvalgono di tecnologie di trading avanzate, in base ad algoritmi precedentemente generati, che si inseriscono nelle piattaforme di scambio utilizzate dai mercati finanziari. Non essendo possibile conoscere tali algoritmi, che sono generati da matematici, acquistati a caro prezzo dagli operatori High Frequency, e perciò tenuti opportunamente segreti, si è scelto di simulare l'innesco di invio di ordini ad alta frequenza secondo una strategia che segua il trend di mercato.

In questo modello, un trend (positivo o negativo) è determinato da uno scostamento del prezzo dalla sua media di oltre 10 punti percentuali.

```
to trigger-HF
  ifelse (not empty? logEx) and exeprice < mean logEx * (1 - 10 / 100)
    [set trigger_HFSell true][set trigger_HFSell false]

  ifelse trigger_HFSell [set hf_sell hf_sell][set hf_sell 0]

  ifelse (not empty? logEx) and exeprice > mean logEx * (1 + 10 / 100)
    [set trigger_HFBuy true] [set trigger_HFBuy false]

  ifelse trigger_HFBuy [set hf_buy hf_buy][set hf_buy 0]
end
```

Un trend positivo del mercato, dunque, consente la possibilità di inviare ordini high frequency di acquisto, rafforzando ulteriormente il trend al rialzo. Questa possibilità è facilmente osservabile dall'interfaccia del modello in cui vi è uno *switch* denominato appunto *trigger\_HFBuy*. Quando lo switch è posizionato su *On* vuol dire che siamo in presenza di un trend positivo, e sarà dunque possibile inviare ordini di acquisto ad alta frequenza. È l'utente a scegliere se far partire, o meno, gli ordini e in quale misura.

Al contrario, se il trend è negativo, e lo switch *trigger\_HFSell* è posizionato su *On* (come riportato in basso), sarà possibile inviare ordini high frequency di vendita, rafforzando il trend al ribasso e provocando movimenti rapidi di prezzo simili a quelli osservati durante il Flash Crash.



### 5.1.7 LRP e procedura di interruzione degli scambi automatizzati

Come enunciato precedentemente nel capitolo (da inserire riferimento capitolo), nel corso di questa dissertazione, il NYSE utilizza un sistema di trading elettronico ibrido, in cui sono state implementate bande di prezzo note come “liquidity replenishment points” che servono a “raffreddare” temporaneamente la volatilità, convertendo un mercato automatizzato in un mercato ad asta manuale, quando si raggiungono

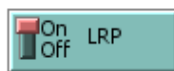
movimenti di prezzo di una certa dimensione. In tal caso la contrattazione sul NYSE diventa più lenta e le esecuzioni automatizzate cessano per un certo periodo.

Durante il Flash Crash del 6 maggio 2010, i Liquidity Replenishment Points (LRP), sono stati innescati diverse volte, nella speranza di riportare i prezzi ai livelli precedenti. Questo modello si pone l'obiettivo di simulare tale situazione per osservare gli effetti di un'interruzione delle contrattazioni automatizzate ad alta frequenza, nel caso di un eccessivo scostamento del prezzo dalla sua media. In particolare, si è posto tale scostamento, pari ad un valore superiore (in caso di trend al rialzo) o inferiore (in caso di trend al ribasso) a 60 punti percentuali del prezzo medio.

```
to replenish-liquidity
  if (not empty? logEx) and exeprice < mean logEx * (1 - 60 / 100)
    and hf_sell != 0 [set LRP true]

  if (not empty? logEx) and exeprice > mean logEx * (1 + 60 / 100)
    and hf_buy != 0 [set LRP true]
```

L'innescio di LRP provoca un'immediata interruzione di qualsiasi invio di ordini ad alta frequenza, nonché della possibilità di utilizzarli. Esiste anche in questo caso uno switch, chiamato appunto *LRP*, che si aziona posizionandosi su *On* (come mostrato sotto), causando lo stop agli ordini high frequency.



```
if LRP [set hf_sell 0
        set hf_buy 0
        set trigger_HFSell false
        set trigger_HFbuy false]
end
```

### 5.1.8 Realizzazione dei grafici

La procedura *graph*, di creazione dei grafici, si compone dei comandi *set-current-plot* e *plot*, con cui si determina il nome a cui fa riferimento il grafico presente nell'interfaccia, e quello che si vuole rappresentare graficamente.

Il grafico *Price* viene aggiornato con gli ultimi prezzi eseguiti, dati dalla variabile globale *exepri*, che indica il prezzo a cui avviene ogni scambio sul mercato.

```
to graph  
  set-current-plot "Price"  
  plot exepri
```

I grafici *buy\_orders\_Book* e *sell\_orders\_Book* fanno riferimento alla dimensione delle liste *logB* e *logS*, relativamente di ordini di acquisto e di vendita, illustrando la quantità di ordini in attesa di essere scambiati.

```
set-current-plot "buy_orders_Book"  
plot length logB  
  
set-current-plot "sell_orders_Book"  
plot length logS
```

Infine, il grafico *HF\_margin* consente di visualizzare i margini realizzati dagli high frequency trader, utili per capire quali sono gli effetti sull'HFT dovuti all'inserimento di una Tobin tax.

```
set-current-plot "HF_margin"  
plot HF_margin  
  
end
```

## 5.2 Piano degli esperimenti

In questa sezione verranno presentati gli esperimenti condotti artificialmente tramite la simulazione in NetLogo, per osservare quali siano gli effetti prodotti dall'High Frequency Trading su un mercato finanziario e quali provvedimenti è possibile adottare per arginare od eliminare i danni provocati dal suo utilizzo. Si inizia simulando un mercato con soli ordini *low-frequency*, e si passa all'introduzione di strategie ad alta frequenza, prima per vedere che cosa accade in assenza di regolazioni sul mercato, e poi introducendo un'interruzione dell'invio di ordini *high-frequency* (Liquidity Replenishment Points) nel caso di un eccessivo rialzo o ribasso di prezzo. In tali

situazioni, si vuole inoltre ricreare l'effetto di un intervento dei market maker per fornire liquidità al mercato.

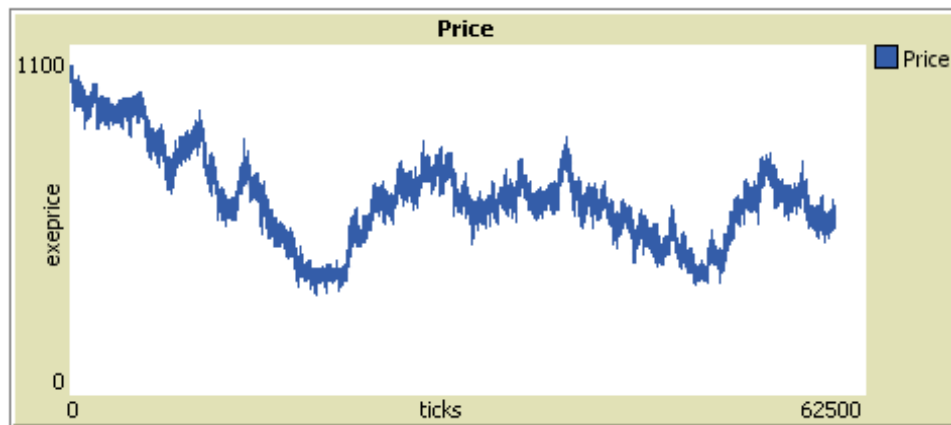
Infine, si introdurrà una tassazione sulle transazioni, la cosiddetta Tobin tax, per osservare come cambiano i margini realizzati dagli operatori High Frequency, e per capire se possa rappresentare una soluzione efficace per disincentivarne l'attività sui mercati finanziari.

### **5.2.1 Invio di ordini *low frequency***

#### **Primo esperimento**

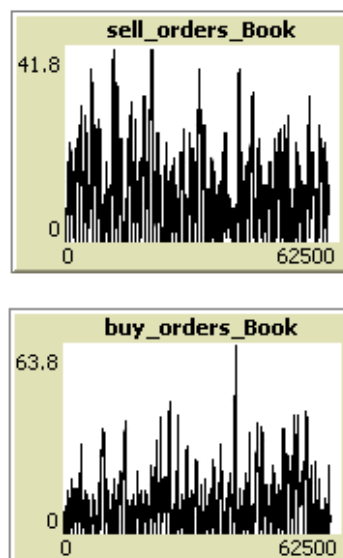
Il primo esperimento simula un mercato finanziario in cui vi è equilibrio nella probabilità di invio di ordini di acquisto e di vendita, e in cui gli scambi riguardano esclusivamente ordini a bassa frequenza. Il prezzo si forma casualmente intorno ad un intervallo determinato dal range scelto dall'utente. In questo caso, si è posta a 0,48 la probabilità di invio sia degli ordini di acquisto che degli ordini di vendita a bassa frequenza, facendo procedere la simulazione fino a circa 60.000 tick, pari a 60 giornate di contrattazione, secondo la concezione temporale stabilita per questo modello e a cui si è già fatto riferimento. Senza l'“intrusione” di ordini *high frequency*, e tenute costanti le altre variabili, si può osservare che il prezzo segue una *random walk* con la formazione di bolle e crash tipici di un mercato di Borsa.





**Figura 5.9:** Grafico dei prezzi con pari probabilità di invio di ordini a bassa frequenza.

Anche i grafici dei book di ordini indicano un certo equilibrio. Se la quantità di un tipo di ordini giunti al mercato fosse maggiore rispetto all'altra, come sarà possibile vedere negli esperimenti successivi, uno dei due grafici, mostrerebbe una linea più piatta, a rappresentazione della lista con meno scorte di ordini. In questo caso, invece nessuna lista prevale sull'altra.



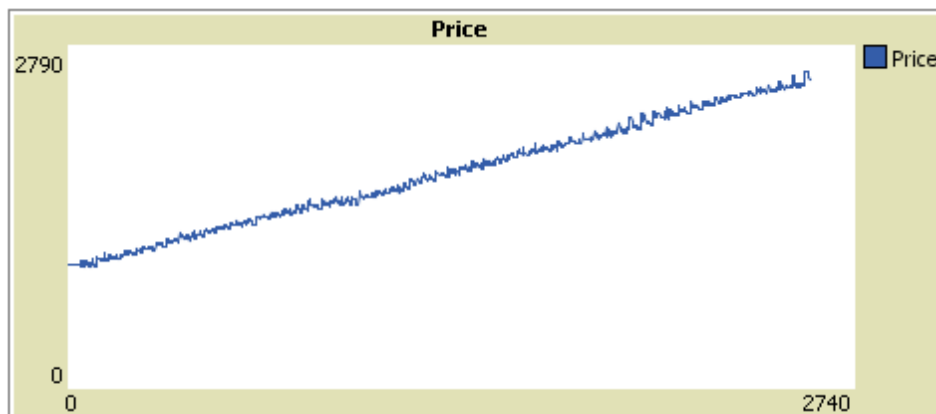
**Figura 5.10:** Grafici dei volumi di ordini *low frequency* giunti al mercato e in attesa di essere eseguiti.

## 5.2.2 Invio di ordini *low frequency* con diversa probabilità

### Secondo esperimento

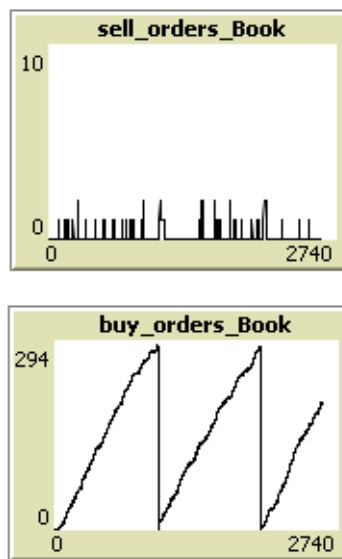
Poniamo ora il caso che le probabilità di invio di ordini a bassa frequenza siano differenziate. Se la probabilità degli ordini di acquisto è diversa da quella degli ordini di vendita, è possibile modificare a proprio piacimento il trend di mercato, evitando, quindi, di lasciare al caso i movimenti di prezzo. Appare chiaro che, inviando un numero maggiore di ordini di acquisto, il trend risulterà al rialzo, mentre vi sarà un trend al ribasso inviando un numero maggiore di ordini di vendita. Questa variazione è direttamente osservabile modificando le due probabilità, in quanto il modello si presenta reattivo a qualsiasi cambio nelle variabili. In questo modo si dà la possibilità all'utente di modificare l'attività del mercato in base all'obiettivo perseguito.

Le possibilità di variazione sono molteplici, ma ne verranno mostrate solo alcune. Si pone, ad esempio, a 0,86 la probabilità di invio di ordini di acquisto e a 0,44 quella dell'invio di ordini di vendita.



**Figura 5.11:** Grafico dei prezzi nel caso di prevalenza di ordini di acquisto.

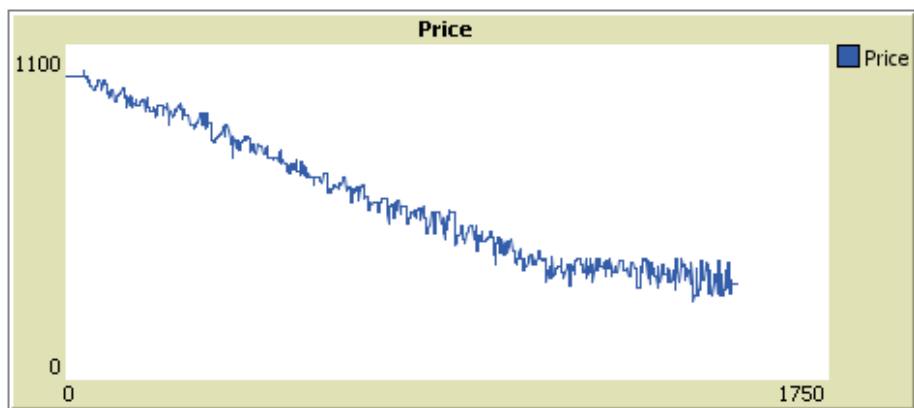
La Figura 5.11 mostra chiaramente come, già dopo poco più di 2.500 tick, il trend registri un notevole rialzo, senza possibilità di inversioni di tendenza, a meno che non si modifichino i valori della probabilità.



**Figura 5.12:** Grafici dei volumi di ordini a bassa frequenza nel caso di prevalenza di ordini di acquisto.

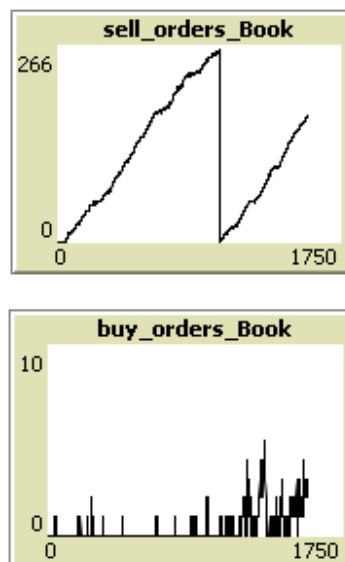
Anche i grafici degli order book mostrano la grande disparità tra i volumi di ordini di acquisto giunti al mercato e i volumi di ordini di vendita. I punti in cui il grafico, raffigurante i *buy orders*, precipita, indicano lo svuotamento delle liste al termine di ogni giornata di contrattazione.

Si vuole, ora, osservare che cosa accade qualora si invii un numero più elevato di ordini di vendita, ponendo a 0,80 la probabilità di invio da parte dell'agente venditore, e a 0,40, quella riguardante gli ordini di acquisto da parte dell'agente compratore.



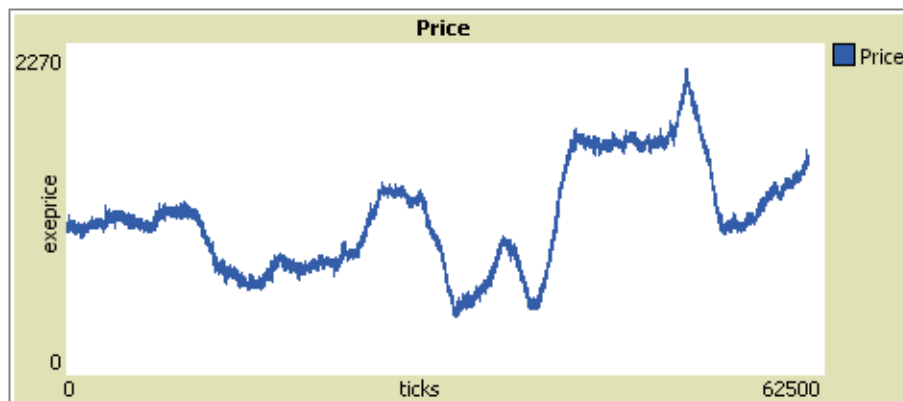
**Figura 5.13:** Grafico dei prezzi nel caso di prevalenza di ordini di vendita.

In maniera alquanto speculare al caso precedente, si osserva un trend di mercato irrimediabilmente al ribasso, e, ancora una volta, questa situazione la si può dedurre anche dal book dei volumi di ordini (come riportato nella figura seguente).

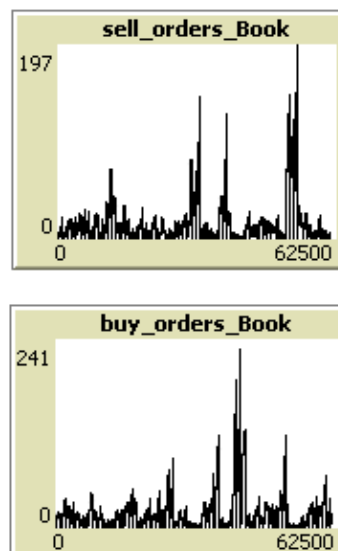


**Figura 5.14:** Grafici dei volumi di ordini a bassa frequenza nel caso di prevalenza di ordini di vendita.

Nell'esperimento seguente, invece, si è proceduto variando continuamente le probabilità di generazione degli ordini, sempre a bassa frequenza, creando un andamento di mercato notevolmente instabile. Queste continue modifiche sono ancora meglio identificabili nei picchi che si formano all'interno dei grafici degli *order book* in corrispondenza delle decisioni di modifica della strategia di trading.



**Figura 5.15:** Grafico dei prezzi sottoposto a continue modifiche nelle strategie di trading (assenza di ordini *high frequency*).



**Figura 5.16:** Grafici dei volumi di ordini con picchi in corrispondenza delle variazioni nelle strategie di invio di ordini a bassa frequenza.

### 5.2.3 Invio di ordini *high frequency*

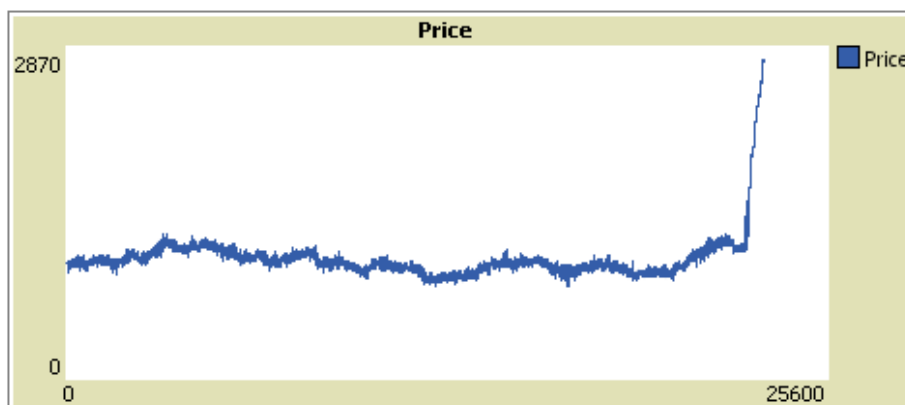
#### Terzo esperimento

Vediamo, ora, che cosa accade, quando si inviano al mercato gli ordini ad alta frequenza. Nel mondo reale, gli ordini *high frequency* raggiungono il mercato in pochi millisecondi creando rapidi movimenti di prezzo. Il fatto di arrivare al mercato così rapidamente fa sì che il volume di ordini inviati ed eseguiti in lassi di tempo così brevi, sia notevolmente più elevato che nel caso in cui gli ordini impieghino i tempi previsti da una contrattazione telematica a bassa frequenza. Nel modello realizzato in NetLogo si è assegnata una diversa velocità agli ordini, in modo da rappresentare graficamente questa differenza. Gli ordini *high-frequency* rappresentati nella simulazione, dunque, arrivano molto più rapidamente al mercato rispetto agli ordini *low-frequency*. La velocità del viaggio compiuto dagli ordini, indica il tempo di reazione dei partecipanti, tra una decisione di invio e l'altra. Oltre alla velocità, quello che distingue gli ordini *high-frequency* da quelli *low-frequency*, è la quantità che arriva al mercato nel medesimo lasso di tempo. In questo modello, nell'arco temporale di un tick, può giungere al mercato un solo ordine a bassa frequenza, mentre nello stesso periodo, il volume di ordini ad alta frequenza che arriva e viene eseguito sul mercato, può essere molto elevato. Nel caso particolare del modello simulato, tale numero può arrivare a un massimo di 100 ed è determinabile dall'utente. In questo modo si riesce a rappresentare in maniera efficace l'effetto dell'utilizzo di un sistema di High Frequency Trading su un mercato finanziario.

#### Invio di ordini *high frequency* di acquisto.

In questo esperimento si prende in considerazione il caso in cui ci sia un trend positivo dell'andamento dei prezzi. Quando ci si trova in questa situazione, si innesca la possibilità di inviare ordini *high-frequency* di acquisto. Questa possibilità è visualizzata tramite lo switch *trigger\_HFBuy*, presente nell'interfaccia di NetLogo, che consente all'utente di far partire gli ordini ad alta frequenza, qualora si voglia approfittare del trend. In questo caso, non viene ancora attivato il Liquidity Replenishment Point che

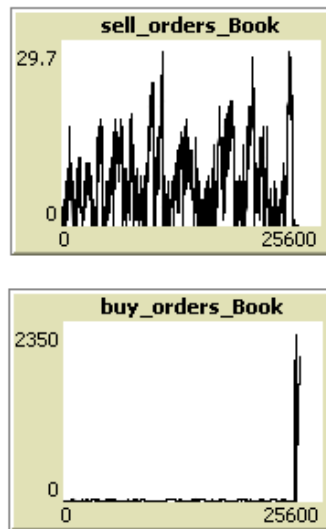
interrompe le contrattazione automatizzate e ne rallenta l'attività, dando la possibilità di riempire le liste e riportare il prezzo a livelli più normali.



**Figura 5.17:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini *high-frequency* di acquisto (senza LRP).

Il grafico in Figura 5.17 mostra quello che succede ai prezzi quando sono inviati ordini di acquisto ad alta frequenza. Si può osservare che il movimento di prezzo risulta essere alquanto regolare quando si inviano solo ordini a bassa frequenza (con pari probabilità di invio), con variazioni intorno alla sua media. Dopo circa 22800 tick, si viene a formare una tendenza al rialzo e viene innescata la possibilità di inviare gli ordini di acquisto ad alta frequenza. A quel punto, si lanciano tali ordini, e il prezzo inizia una rapida ascesa, passando, nel giro di poche centinaia di tick, da un valore medio di circa 1.150 al valore di 2.734, nel momento in cui si è interrotta la simulazione. Prima dell'invio, si è posto a 50 il numero di ordini *high-frequency* generati ad ogni tick. Maggiore è il numero di ordini ad alta frequenza inviati ad ogni tick, più grande e più rapido sarà il movimento di prezzo.

Anche i grafici del volume di ordini mostrano un incredibile aumento della quantità di ordini *buy* rispetto a quella di ordini *sell*, che vanno a riempire le liste in attesa di essere scambiati.



**Figura 5.18:** Grafici dei volumi di ordini nel caso di invio di ordini *high-frequency* di acquisto.

Questo è quello che accade lasciando correre l'invio di ordini *high-frequency*, senza che questi siano interrotti in alcun modo da un intervento esterno che ne limiti la contrattazione. Come vedremo più avanti, nella realtà, si assumono alcuni provvedimenti per limitare i danni provocati da un sistema di trading automatizzato ad altissima velocità, nonostante sia alquanto difficoltoso il controllo da parte degli esseri umani.

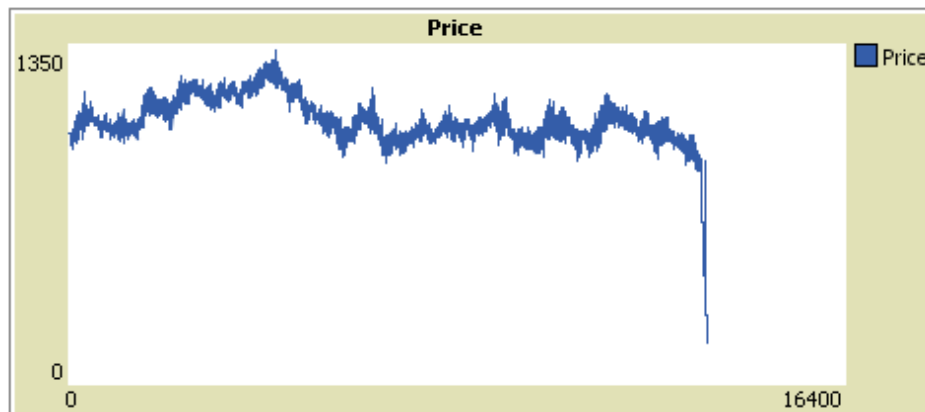
### **Invio di ordini *high frequency* di vendita. Flash Crash**

Qualora, invece, si presenti un trend negativo, gli algoritmi di trading posseduti dalle *High Frequency firms*, potrebbero decidere di sfruttare questa situazione inviando al mercato ordini di vendita ad alta frequenza. Nell'interfaccia grafica del modello è possibile visualizzare questa opportunità nel momento in cui lo switch *trigger\_HFSell* si posizionerà su *On*.

Anche in questo caso, si tengono costanti le probabilità di generazione degli ordini *low-frequency*, in modo da ottenere un andamento dei prezzi determinato dal caso. Come nell'esperimento precedente, sono lanciati al mercato ordini ad alta frequenza, nel caso



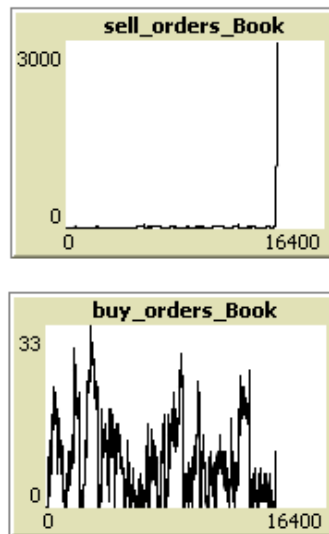
specifico *sell orders*, in numero di 50 e con una probabilità di invio di 0,40, e sono lasciati contrattare senza porre alcuna limitazione che crei un'interruzione. Prima dell'innesco di tali ordini, al tick 13.338, il prezzo ha un valore di 1.049 circa.



**Figura 5.19:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini *high-frequency* di vendita (senza LRP). Flash Crash.

Come mostrato in Figura 5.19, dopo l'invio degli ordini *high-frequency*, al tick 13500, dopo poco meno di 200 tick dall'innesco, pari a pochi minuti del mondo reale, il prezzo passa dal valore di 1049 al valore di 168 (una variazione di circa 84 punti percentuali). Si tratta di una caduta di prezzo notevole, che non è dissimile da quanto osservato il 6 maggio 2010 su molti titoli statunitensi. Si è, infatti, in presenza di quello che viene comunemente chiamato Flash Crash.

I volumi di ordini, illustrati dal grafico *sell\_orders\_Book*, testimoniano questa “iniezione” di ordini di vendita che provoca un picco decisamente anomalo in corrispondenza del crash.



**Figura 5.20:** Grafici dei volumi di ordini nel caso di invio di ordini *high-frequency* di vendita.

La stessa cosa è facilmente osservabile nei grafici che mostrano l'elevato volume di ordini sui mercati reali, nel momento in cui si verifica un Flash Crash.

## 5.2.4 Innesco di Liquidity Replenishment Points.

Dopo aver rappresentato gli effetti negativi dell'High Frequency Trading sui movimenti di prezzo dei titoli, questo esperimento rappresenta uno dei punti centrali di questa simulazione, in quanto pone l'accento su un possibile provvedimento per arginare gli effetti di una contrattazione high frequency. Un sistema di trading computerizzato che compie operazioni nell'arco di intervalli di tempo dell'ordine di pochi millisecondi, non permette a nessun essere umano di tenerne sotto controllo gli esiti e di attuare soluzioni utili ad una ripresa della normale attività di mercato. Per questo motivo, i diversi mercati, sono intenti a cercare il modo più opportuno per regolare tale meccanismo di trading, ad esempio l'introduzione di *circuit breakers* o il divieto di vendite allo scoperto, e il dibattito è ancora in corso, come già riportato nella sezione dedicata all'attività di regolazione sia in Europa che negli Stati Uniti. Il modello di simulazione *High Frequency Trading* sviluppato in NetLogo, simula l'interruzione automatica delle

contrattazioni automatizzate ad alta frequenza qualora il prezzo si discosti eccessivamente dalla sua media. Questo è stato realizzato sulla base dell'utilizzo dei *Liquidity Replenishment Points* da parte del NYSE, e prevede un'interruzione temporanea dell'invio di ordini *high-frequency*, di acquisto o di vendita, per un certo periodo di tempo, in modo da dare ai market maker la possibilità di riempire le liste di controparte e riportare il prezzo ai suoi livelli medi. Nel modello, l'intervento dei market maker viene azionato manualmente a discrezione dell'utente, che agirà aumentando le liste di controparte; non si è voluto rendere automatico il riempimento delle liste per rendere il modello il più realistico possibile. Verranno analizzati quindi i casi di invio sia di ordini *high-frequency* di acquisto, nel caso di trend positivi, sia di ordini *high-frequency* di vendita, nel caso di trend negativi, in cui l'innesco di LRP avviene automaticamente mettendo in evidenza la necessità di un tale intervento.

## **Quarto esperimento**

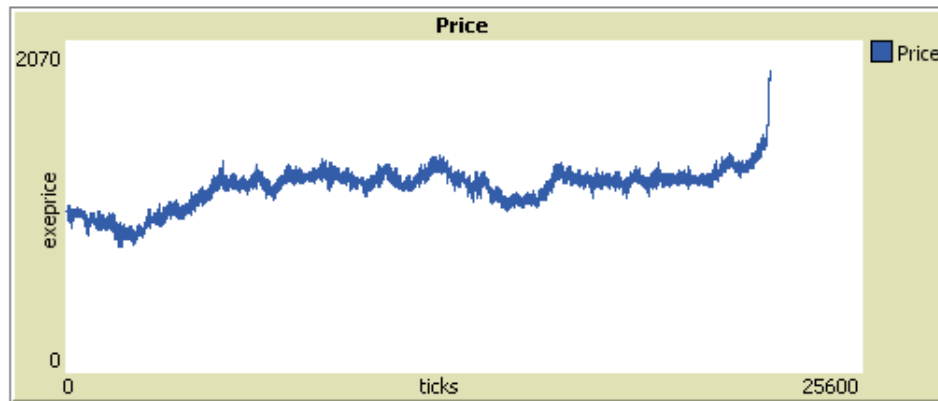
### **Ordini high frequency di acquisto con LRP**

#### **a) Caso senza intervento dei *market makers*.**

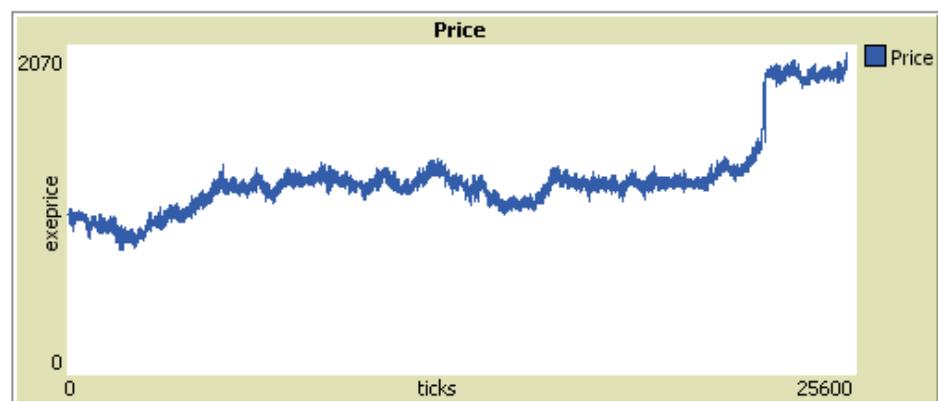
Come negli esperimenti precedenti, si è posta uguale probabilità di invio degli ordini *low-frequency* (fissata a 0,48), affinché si formi un trend sulla base del caso. Chiaramente, il fatto di dare modo all'utente di modificare tale probabilità, dà la possibilità di determinare trend positivi o negativi a proprio piacimento, per cui le opportunità di sperimentazione sono molteplici. Si è scelto, dunque, di far seguire al prezzo l'andamento di una *random walk* per non influire sulla formazione di tendenze sul mercato.

La scelta del numero di ordini *high-frequency* inviati ad ogni tick è stata fissata a 50. Una volta azionata la simulazione, dunque, si attende l'innesco del *trigger\_HFBuy* che consente di iniziare l'attività *high frequency* in acquisto. Al tick 22.526, il prezzo si attesta ad un valore di circa 1.488. A questo punto, viene azionato l'avvio degli ordini *buy* ad alta frequenza con una probabilità di invio pari a 0,40. Al tick 22.634, e quindi in poco più di 100 tick, corrispondenti a circa un paio di minuti nel mondo reale, il prezzo

passa da 1488 a 1.874, provocando l'innesto di LRP che interrompe le contrattazioni high frequency "raffreddando" il mercato, come mostrato in Figura 5.22.

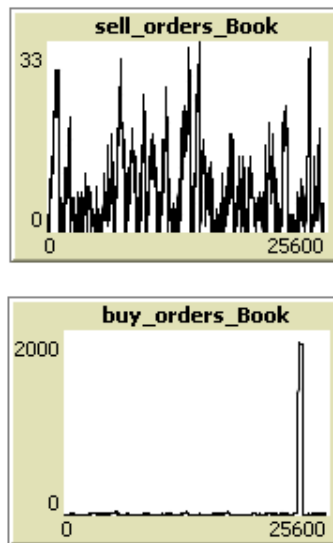


**Figura 5.21:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini *high-frequency* di acquisto con l'innescò di LRP.



**Figura 5.22:** Grafico dei prezzi dopo l'innescò di LRP e ripresa della normale attività di mercato.

I grafici dei book di ordini testimoniano quanto accaduto sul mercato, raffigurando il picco del volume di ordini *buy* proprio in corrispondenza del momento in cui sono stati inviati ordini *high-frequency*, e il ritorno alla "normalità" dopo l'innescò dell'LRP.



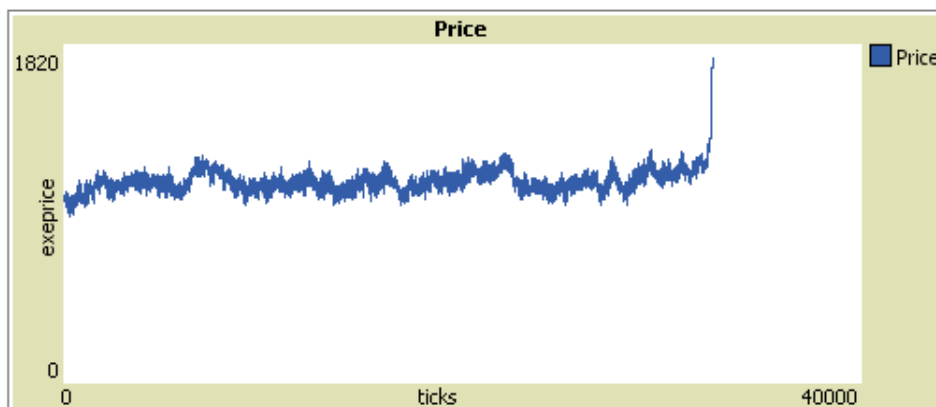
**Figura 5.23:** Grafici dei volumi di ordini nel caso di invio di ordini high-frequency di acquisto dopo l’innescò di LRP.

Contrariamente a quanto osservato nel terzo esperimento, dove la crescita del prezzo, dovuta all’inserimento dell’High Frequency Trading sul mercato, assume dimensioni ingenti, in questo caso, il provvedimento attuato, ha evitato che la situazione divenisse drammatica, con un intervento tempestivo che interrompe le contrattazioni High Frequency.

#### **b) Caso con intervento dei market maker**

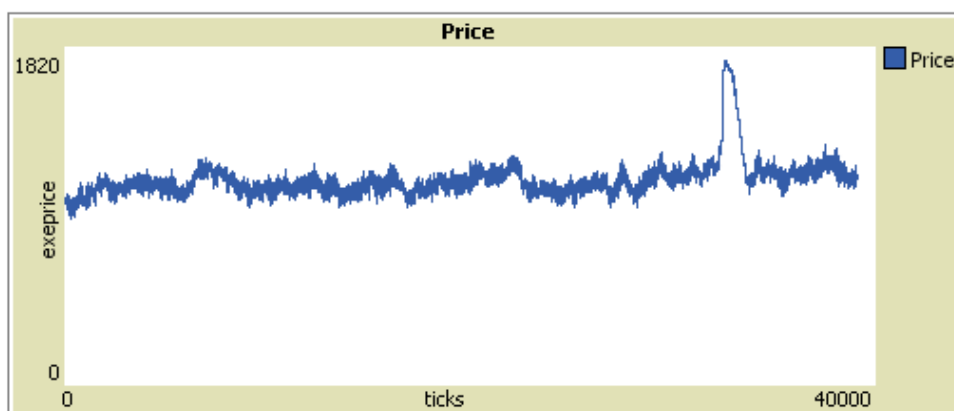
L’intervallo che si viene a creare, grazie a tale interruzione, può dare il tempo ai market maker di agire sul mercato riempiendo (da qui, infatti, il termine replenish) le liste di controparte, in modo da riportare il prezzo ai livelli precedenti.

Per dimostrare quanto appena detto, viene iniziata una nuova simulazione con le medesime condizioni di quella precedente. Non appena si forma un nuovo trend positivo, al tick 32.265, si inviano gli ordini *buy* ad alta frequenza. Il prezzo prima di tale invio è di 1.208. L’inizio dell’attività dell’high frequency trader, fa innescare l’LRP dopo 275 tick, e con il prezzo che ha raggiunto il valore di 1.744.



**Figura 5.24:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini high-frequency di acquisto e innesco di LRP.

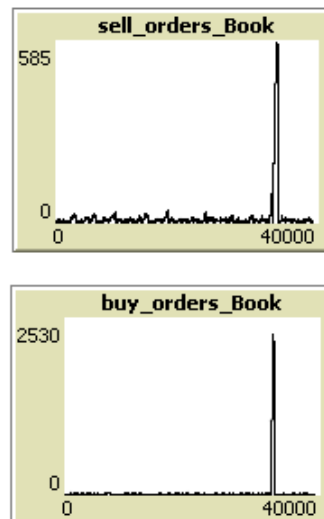
A questo punto, agiamo da market maker e avviamo un *replenishment* delle liste di ordini vendita.



**Figura 5.25:** Grafico dei prezzi dopo l'innesco di LRP e intervento di replenishment da parte del market maker che riporta i prezzi ai livelli precedenti.

Dal grafico in Figura 5.25 è chiaramente visibile come un'interruzione tempestiva del trading automatizzato ad alta velocità e la conseguente azione dei market maker, permetta al mercato di riportare i prezzi ai livelli medi precedenti, consentendo di riprendere una normale attività di contrattazione.

In questo caso, i grafici del volume di ordini giunti al mercato e pronti ad essere scambiati, mostra non solo il picco in corrispondenza dell'attività dell'agente High Frequency, ma anche l'“iniezione” di ordini di vendita per mano del market maker, dopo l'innesco dell'LRP.



**Figura 5.26:** Effetto sugli order book nel caso di invio di ordini high-frequency di acquisto e riempimento delle liste di ordini sell da parte del market maker, dopo l'innesco di LRP.

## Quinto esperimento

### Ordini high frequency di vendita con LRP

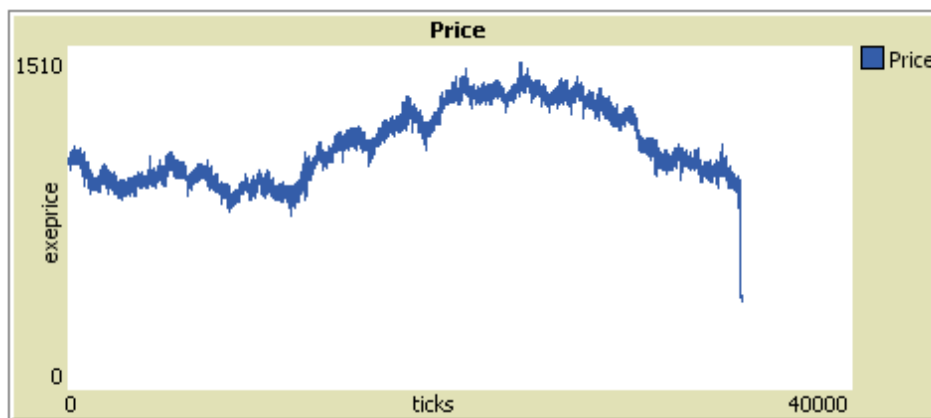
#### Flash Crash

##### a) Caso senza intervento dei *market makers*

In questo esperimento viene simulato il caso di un trend negativo, in modo da osservare una strategia *high frequency* di vendita. Come già mostrato nel terzo esperimento, in caso di invio di ordini high frequency di vendita, ci si trova in presenza di quello che viene comunemente chiamato Flash Crash. Contrariamente a quanto mostrato precedentemente, però, in questo caso verrà simulato l'innesco di LRP, in modo da arginare la caduta dei prezzi dopo aver raggiunto un livello ritenuto eccessivo dal

mercato. Non viene, per ora, preso in considerazione alcun intervento di *market makers*, ma il mercato ristabilirà, da solo, una normale attività di contrattazione.

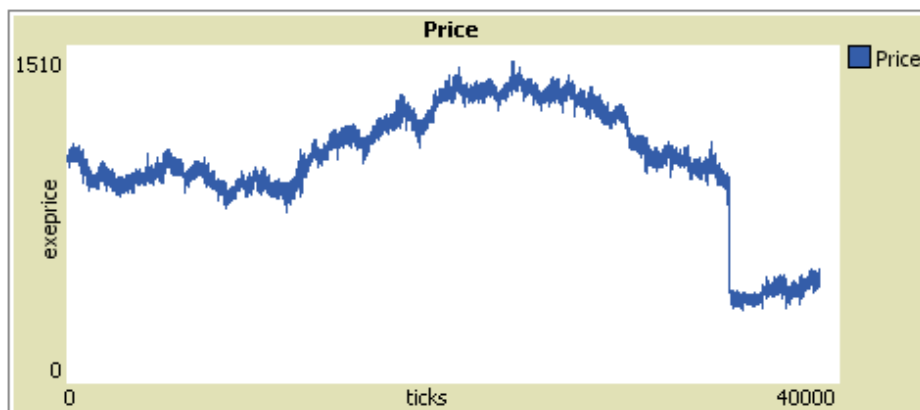
Sono mantenute le stesse condizioni impostate nell'esperimento precedente, per dare una certa continuità alla simulazione. La probabilità di generazione degli ordini *low-frequency* è, dunque, posta a 0,48, e il numero di ordini *high-frequency* creati ad ogni tick è pari a 50. Si è scelto di sfruttare il trend negativo che si forma al tick 34.240. Nel momento in cui si innesca la possibilità di inviare ordini *high-frequency* di vendita, si decide di inviare tali ordini con una probabilità pari a 0,40; il prezzo in quel punto ha un valore di 913. Una volta lanciati gli ordini *sell* ad alta frequenza, il prezzo registra un ribasso immediato fino a toccare, dopo meno di 200 tick (pari a circa 3 minuti nel mondo reale), un valore di circa 400. A quel punto si innesca l'LRP, che interrompe le contrattazioni *high-frequency* (come riportato in Figura 1.27). Quello che si viene a formare prende comunemente il nome di Flash Crash.



**Figura 5.27:** Grafico dei prezzi nel caso di un Flash Crash con l'innescò di LRP.

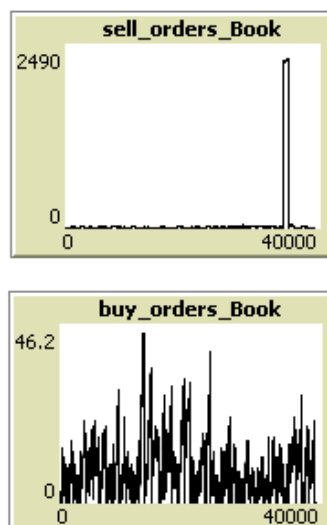
Anche in questo caso, come nel quarto esperimento, l'innescò dell'LRP, evita una caduta dei prezzi ancora più drammatica, e riporta l'attività di contrattazione su valori normali, come mostrato in basso.





**Figura 5.28:** Grafico dei prezzi dopo l’innescò di LRP e ripresa della normale attività di mercato.

Il grafico del volume di ordini mostra la dimensione anomala della lista di ordini di vendita in corrispondenza del Flash Crash, testimoniando quando accaduto sul mercato.



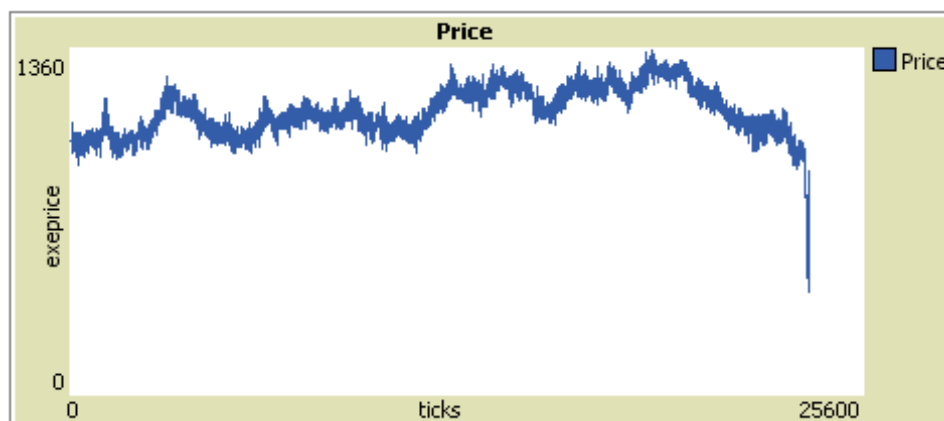
**Figura 5.29:** Effetto sugli order book nel caso di un Flash Crash, causato dall’invio di ordini high-frequency di vendita.

#### **b) Caso con intervento dei market maker.**

La seconda parte dell’esperimento consiste nel simulare nuovamente un Flash Crash causato da un’attività di tipo *high frequency*. In questo caso però, dopo l’innescò

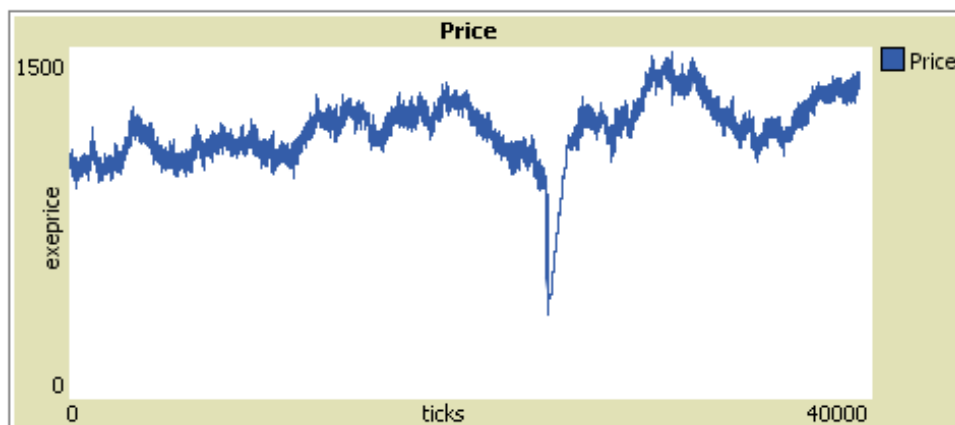
dell'LRP che interrompe le contrattazioni automatizzate ad alta frequenza, vediamo che cosa accade se i *market makers* decidono di iniettare liquidità nel mercato, cercando di riportare i prezzi ai loro livelli precedenti.

Anche in questo caso la probabilità iniziale di generazione degli ordini *low-frequency* è uguale tra ordini di acquisto e ordini di vendita. Intorno al tick 20.000 circa, viene determinato un trend negativo aumentando di 0.02 la probabilità di invio di ordini *sell* a bassa frequenza. La risposta del modello è immediata, e si innesca la possibilità di iniziare un'attività *high frequency*. Al tick 23.712, si lanciano dunque ordini ad alta frequenza di vendita e si forma subito un Flash Crash, che porta il prezzo, nell'arco di circa 130 tick, da un valore di 936 a un valore di 411, come mostrato in Figura 1.30. A quel punto l'LRP interrompe l'invio di ordini *high-frequency*, evitando un'ulteriore caduta del prezzo.



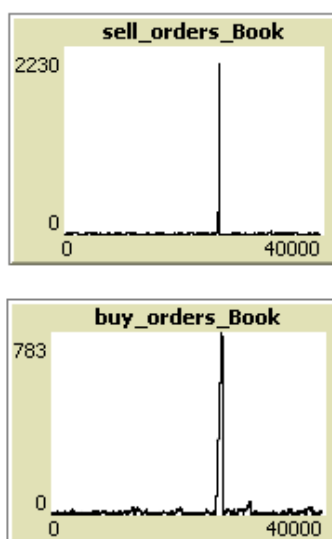
**Figura 5.30:** Grafico dei prezzi nel caso di un Flash Crash con l'innesco di LRP.

Si è, dunque, simulato un intervento dei market maker, al fine di riportare i prezzi ai loro livelli pre-crash, tramite un'attività di *replenishment* delle liste di ordini *buy*, che è quanto normalmente accade, in tali situazioni, sui mercati reali.



**Figura 5.31:** Flash Crash, grafico dei prezzi dopo l'innescò di LRP e intervento di replenishment da parte dei market maker che riporta i prezzi ai livelli precedenti.

Il grafico rappresentato in Figura 5.31, è molto simile ai grafici raffiguranti l'andamento di prezzo dei numerosi titoli coinvolti nel Flash Crash del 6 maggio 2010, riportati nel capitolo (da inserire numero del capitolo), a dimostrazione dell'attendibilità di questa simulazione.



**Figura 5.32:** Flash Crash, effetto sugli order book e replenishment delle liste di ordini buy.

Il grafico degli *order book*, permette di visualizzare sia il picco di ordini di vendita causato dall'attività *high frequency* in corrispondenza del Flash Crash, sia il successivo *replenishment* delle liste, attuato per mano dei market maker, al fine di riportare il prezzo ai livelli pre-crash e di scongiurare, dunque, una crisi di liquidità.

### **5.2.5 Effetti dell'introduzione della Tobin tax**

Al fine di arginare gli effetti dell'High Frequency Trading nei mercati finanziari, il dibattito si è recentemente indirizzato verso un provvedimento che ha come scopo quello di disincentivare tale metodo di contrattazione. La tecnica di trading *high frequency*, come già esplicitato nel capitolo (da inserire numero del capitolo), consiste nell'aggiornare gli ordini molto velocemente, si parla di millesimi di secondo, e nell'effettuarne la rapida cancellazione. Questo permette la realizzazione di piccoli margini su un grande numero di scambi, concentrandosi, dunque, su strumenti altamente liquidi. Gli high frequency trader, tendono a liquidare rapidamente le loro posizioni e solitamente terminano la giornata di contrattazione senza aver acquisito una posizione rilevante. Proprio per questo motivo, introdurre una tassa sulle transazioni finanziarie (la cosiddetta Tobin tax), andrebbe a colpire quei margini, impedendo la realizzazione di ampi profitti da parte delle società High Frequency. Come già argomentato nel paragrafo (da inserire numero del par.) ad essa dedicato, la Tobin tax avrebbe un tasso di circa lo 0,1 %, e colpirebbe tutte le transazioni al fine di penalizzare le speculazioni.

In questo modello, dunque, si è voluto simulare che cosa accade nei mercati finanziari senza alcuna tassa sulle transazioni, e che cosa, invece, accadrebbe con l'introduzione di una Tobin tax. In particolare, sono stati presi in considerazione soltanto i margini realizzati dagli operatori High Frequency, che rappresentano il tema centrale di questa simulazione. Tali margini risultano essere molto piccoli ma realizzati su un grande volume di scambi. È interessante notare come, senza alcuna tassa sulle transazioni, gli high frequency trader realizzino profitti indipendentemente dal tipo di strategia utilizzata.

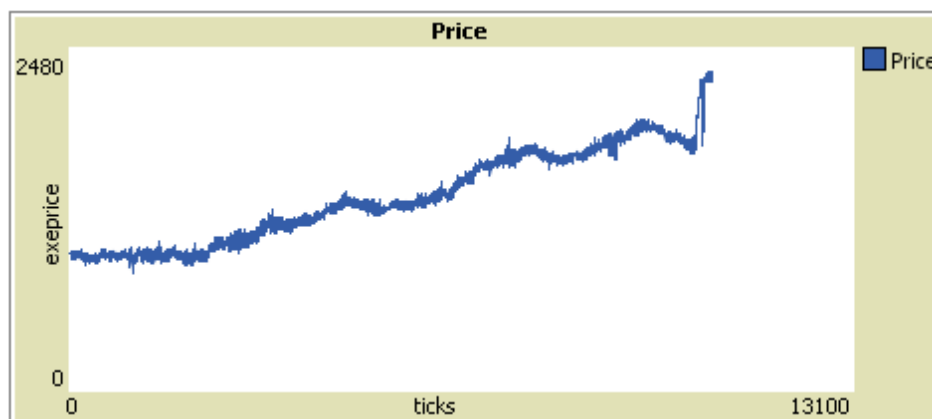
L'introduzione della Tobin tax, che interessa ogni singola transazione, invece, colpisce quei profitti, rendendo non proficuo l'utilizzo di strategie high frequency.

## Sesto esperimento

### Strategia *high frequency* d'acquisto

#### a) Caso senza Tobin tax

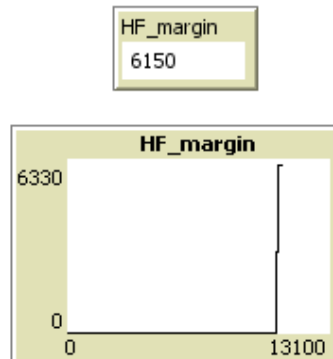
In questo esperimento viene analizzato il caso di una strategia *high frequency* d'acquisto, in un mercato che non prevede una tassa sulle transazioni. Si pone una probabilità diversa di invio degli ordini *low-frequency*, e in particolare si imposta a 0.50 la probabilità di invio dei *buy orders* e a 0.48 quella di invio di *sell orders*. Questo forma immediatamente un trend positivo e al tick 10.454 si decide di iniziare la strategia *high frequency* annunciata. Il prezzo passa da un valore di 1.760 ad un valore di circa 2245 dopo poco più di 150 tick.



**Figura 5.33:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini high-frequency di acquisto con l'innesco di LRP.

Si può osservare, dal grafico e dal monitor in Figura 5.34, che il livello dei margini realizzati dagli high frequency trader è aumentato in corrispondenza del momento

dell'inizio della strategia, creando profitti per ogni singola contrattazione, interrotto solo dall'innesco dell'LRP.

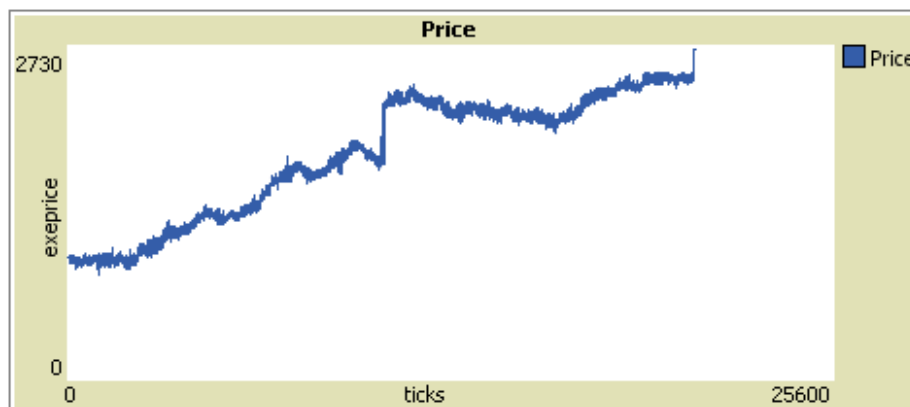


**Figura 5.34:** Monitor e grafico dei margini realizzati dall'high frequency trader in un mercato senza Tobin tax.

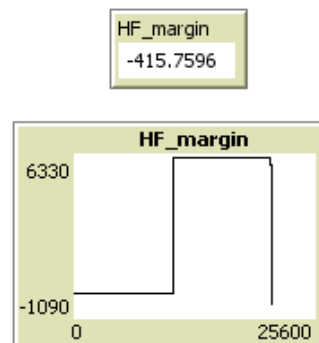
#### **b) Caso con Tobin tax**

A questo punto si decide di introdurre sul mercato la Tobin tax per vedere che cosa accade ai margini realizzati dagli operatori ad alta frequenza. Viene stabilita un'aliquota dello 0.1% su ogni singola transazione compiuta dell'high frequency trader.

Si agisce sull'andamento dei prezzi modificando più volte la probabilità di invio degli ordini *low-frequency* fino a formare un nuovo trend positivo. Al tick 20.907, si è scelto di iniziare un'ulteriore strategia *high frequency*, questa volta per osservare i margini in presenza della Tobin tax.



**Figura 5.35:** Grafico dei prezzi nel caso di invio di ordini high-frequency di acquisto dopo l'introduzione della Tobin tax.

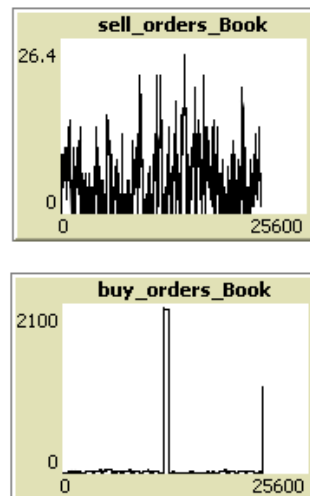


**Figura 5.36:** Monitor e grafico dei margini realizzati dall'high frequency trader in un mercato con la Tobin tax.

Dal grafico in Figura 5.36, si può notare una linea piatta in corrispondenza dei momenti in cui non sono utilizzati ordini ad alta frequenza, in quanto i margini degli operatori low-frequency non sono di alcun interesse ai fini di questa simulazione, e una linea verticale discendente che rappresenta la perdita di profitto degli high frequency trader. Il valore di tali profitti arriva ad essere negativo. In questo modello, è stato stabilito che l'attività high frequency si interrompa non appena i margini realizzati diventino negativi; questo per rendere realistica l'attività sul mercato simulato.

In questo modo, si riesce a visualizzare come una tassa che colpisce tutte le transazioni, rappresenti un danno per una strategia *high frequency*.

Il grafico dei *buy order book* mostra i due picchi relativi all'utilizzo degli ordini di acquisto ad alta frequenza.



**Figura 5.37:** Effetto sul *buy order book* dell'invio di ordini di acquisto *high-frequency*.

## Settimo esperimento

### Strategia *high frequency* combinata di acquisto e di vendita

Anche in questo esperimento si vuole osservare come cambiano i profitti degli operatori *high frequency* modificando le condizioni del mercato tramite l'introduzione, o meno, di una tassa sulle transazioni. In questo caso, però, si prende in considerazione una strategia combinata di acquisto e di vendita.

#### a) Caso senza Tobin tax

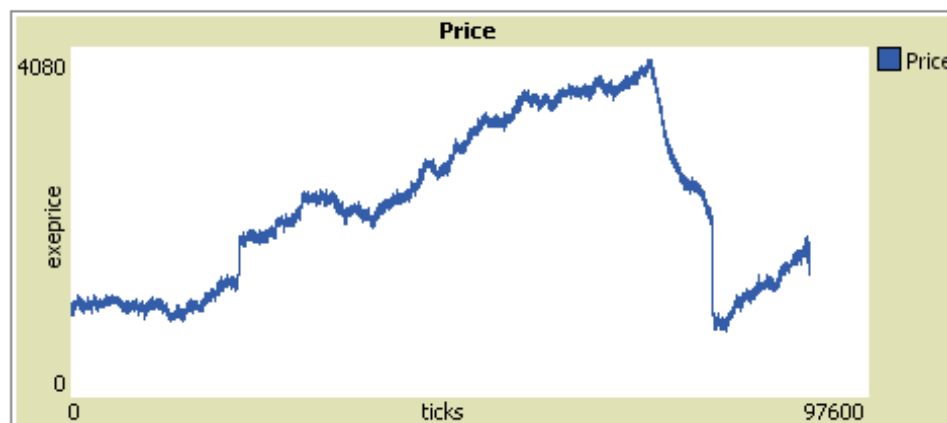
Si modificano manualmente le probabilità di invio di ordini *low-frequency* in modo da formare un alternarsi di trend positivi e negativi. Al tick 20.800, si sfrutta la formazione di un trend positivo per attuare una strategia di acquisto ad alta frequenza, come già visto in alcuni degli esperimenti precedenti. Per il momento si considera un mercato in cui non vi è alcuna tassa sulle transazioni. Il prezzo aumenta e passa da un valore di 1.420 ad un valore di 1.850, a quel punto si innesca l'LRP che interrompe l'invio di



ordini high frequency. Senza una tassa sulle transazioni i margini aumentano fino a toccare un valore di 5.900, come si può osservare nella prima parte del grafico in Figura 5.39.

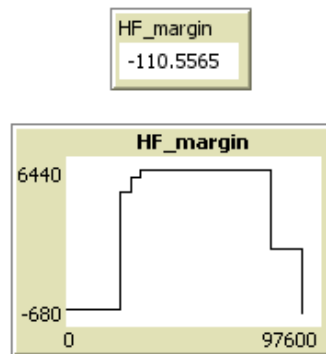
#### b) Caso con Tobin tax

In seguito, si è lasciata correre la simulazione continuando ad agire sulla formazione di bolle e crash e facendo assumere all'andamento dei prezzi una tendenza al rialzo. Al tick 71.300, viene invertita questa tendenza e si forma un trend fortemente al ribasso. Quando il prezzo raggiunge un valore pari a circa 2.020, si innesca una strategia *high frequency* di vendita che provoca un Flash Crash, fino all'innescò dell'LRP. In questo caso però viene introdotta la Tobin tax, che porta ad una netta diminuzione dei profitti degli operatori high frequency come si può osservare nuovamente dal grafico in Figura 1.39.



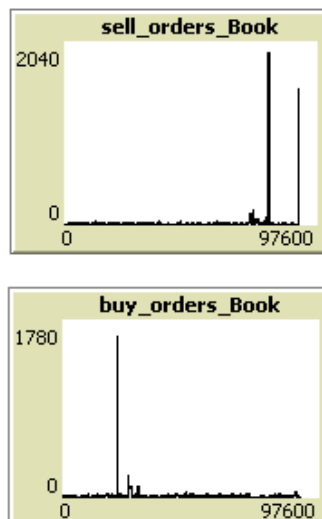
**Figura 5.38:** Grafico dei prezzi nel caso di una strategia high frequency combinata di acquisto e di vendita prima e dopo l'introduzione della Tobin tax.

Dopo una notevole ripresa del prezzo, si decide di innescare un ulteriore invio di ordini *high-frequency* di vendita. A questo punto, essendo ancora vigente la Tobin tax, i margini degli high frequency trader, scendono fino a diventare negativi. Non appena i margini diventano negativi, le contrattazioni automatizzate ad alta frequenza vengono immediatamente interrotte.



**Figura 5.39:** Monitor e grafico dei margini realizzati dall'high frequency trader nel caso di una strategia combinata di acquisto e di vendita prima e dopo l'introduzione della Tobin tax.

I grafici degli *order book* testimoniano questa attività del mercato, in cui risulta, prima, un volume anomalo di ordini *buy*, e, in seguito, un volume elevato di ordini *sell*, che forma due picchi in corrispondenza dei due flash crash, il secondo dei quali, viene interrotto a causa della caduta dei margini di contrattazione fino ad assumere valori negativi.



**Figura 5.40:** Effetto sugli order book di una strategia high frequency combinata di acquisto e di vendita.

## 5.3 Risultati della simulazione

Gli esperimenti effettuati, tramite la simulazione ad agenti, hanno dimostrato la pericolosità di un utilizzo sconsiderato dell'High Frequency Trading. Nei primi due esperimenti si è voluto rappresentare un mercato in cui vi fossero esclusivamente ordini a bassa frequenza. Si è visto che l'attività sul mercato risulta alquanto regolare, con la formazione di bolle e crash tipici di un mercato finanziario che si formano sulla base del caso, oppure che sono determinate da parte dell'utente. Dal terzo esperimento in poi, invece, è stato introdotto l'uso di ordini ad alta frequenza. L'utilizzo di strategie *high frequency*, nei casi in cui non vi è alcuna regolazione da parte del mercato, ha prodotto scostamenti di prezzo improvvisi e incontrollabili, che hanno provocato rialzi o ribassi superiori all'80% del valore medio.

L'introduzione di una regolazione sul mercato, rappresentata in questo modello dal Liquidity Replenishment Point, ha permesso un contenimento degli effetti negativi generati dall'High Frequency Trading. In particolare, l'LRP agisce interrompendo le contrattazioni automatizzate *high frequency*, evitando che il rialzo o la caduta del prezzo assumano dimensioni drammatiche. Gli esperimenti sono stati condotti considerando sia il caso senza un intervento dei market maker che ristabilisca la liquidità sufficiente a permettere la ripresa delle contrattazioni, sia il caso in cui invece i market maker, attraverso un *replenishment* delle liste, riportino il prezzo sui valori medi precedenti all'invio di ordini ad alta frequenza, scongiurando in questo modo una crisi di liquidità. Osservando i grafici ottenuti tramite la simulazione, è interessante notare come alcuni di essi siano molto simili a quelli dei titoli coinvolti nel Flash Crash del 6 maggio 2010.

Gli ultimi due esperimenti nascono dal recente dibattito, che propone l'introduzione di una tassa sulle transazioni, la cosiddetta Tobin tax, che rappresenta una buona soluzione per colpire le speculazioni condotte dagli operatori High Frequency. Oltre a necessitare di regole efficaci per arginare gli effetti di un tale metodo di contrattazione, che sfrutta tecnologie avanzate e algoritmi per eseguire operazioni ad altissima velocità, i mercati dovrebbero, infatti, puntare a disincentivarne l'uso. Una tassa sulle transazioni

introdotta sui mercati a livello globale (per evitare “fughe” verso mercati che non prevedono questo tipo di tassazione), renderebbe assolutamente non proficua un’attività di tipo High Frequency, che mira alla realizzazione di piccoli margini di profitto, su un ingente volume di scambi. Colpendo ogni singola transazione, però, questi margini sarebbero talmente insignificanti, se non addirittura nulli, da non giustificare l’uso di una contrattazione High Frequency. In questo modello, si è considerato, dunque, il caso in cui non vi fosse alcuna tassa sulle transazioni, e il caso in cui fosse introdotta una Tobin tax, a un tasso dello 0,1%. Si è quindi osservato che dopo l’introduzione della Tobin tax i profitti realizzati dall’operatore *high frequency*, tramite un trading ad alta velocità, diminuiscono notevolmente fino a diventare nulli.

## Conclusioni e sviluppi futuri

L'High Frequency Trading rappresenta sicuramente un'evoluzione del modo di compiere le contrattazioni sui mercati finanziari. Il problema derivante dalla comparsa di nuovi sistemi di negoziazione, riguarda il modo in cui questi possono essere utilizzati. Al contrario di quanto accaduto a seguito dell'introduzione di Internet, la tecnologia usata dall'HFT ha un costo tale da non poter essere sostenuto da tutti i partecipanti al mercato. Questo crea un problema di correttezza, e più in particolare, di *fair access* al mercato. Il dibattito in merito è aperto da tempo, ma non riesce a mettere d'accordo analisti, partecipanti e opinione pubblica. È chiaro che un sistema capace di inviare, eseguire o cancellare ordini in periodi di tempo di pochi millisecondi, sfugge al controllo degli esseri umani, in più, il fatto che una tale tecnologia sia nelle mani di pochi partecipanti, che possono sfruttarla a proprio vantaggio, genera preoccupazioni che vanno oltre la disparità di accesso al mercato. Il pericolo di innescare una crisi a livello globale è infatti reale. In tempi in cui i mercati sono così interconnessi e la tecnologia utilizzata ha raggiunto potenzialità così elevate, un'assenza di regolamentazione del fenomeno potrebbe avere effetti disastrosi.

Questo lavoro si inserisce nel filone di studi che mirano ad una maggiore comprensione di tale fenomeno. Le considerazioni in merito all'HFT sono molteplici e, all'interno di questo lavoro, ne sono state presentate diverse. In particolare, l'obiettivo era quello di dare una risposta alla domanda: l'HFT è benefico o dannoso per l'economia? Considerato quanto detto precedentemente e alla luce degli eventi, quali il Flash Crash del 6 maggio 2010 sui mercati statunitensi, si è partiti da un'opinione personale piuttosto negativa. Un tale metodo di contrattazione favorisce, infatti, comportamenti di tipo manipolativo e speculativo da parte di quei partecipanti al mercato che possono permettersi una tecnologia avanzata capace di negoziare ad altissima velocità, soprattutto se l'ambiente in cui opera è privo della necessaria regolamentazione.

Si è dato spazio alle diverse opinioni presenti nella letteratura accademica e si è presentato un report approfondito, effettuato dal Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issue, una commissione composta da uno staff appartenente a

CFTC<sup>18</sup> e SEC, in merito a quanto accaduto nei mercati statunitensi il 6 maggio 2010. Si è considerato necessario, dunque, fornire gli strumenti per una maggiore comprensione dei fatti. Poiché risulta difficile delineare gli esatti contorni di questo fenomeno, non vi è ancora una regolamentazione chiara e univoca che accomuni i mercati finanziari nella sua globalità. Sono molte le discussioni e le proposte in materia di regolazione, e qui sono state presentate quelle relative ai mercati statunitensi ed europei, sottolineandone differenze e similitudini.

Per capire davvero la dimensione del fenomeno e la necessità di regolamentarlo, si è creato un modello di simulazione ad agenti, in modo da rappresentare realisticamente che cosa accade su un mercato finanziario in seguito all'introduzione di un'attività di tipo High Frequency. Il modello è stato sviluppato utilizzando il programma NetLogo al fine di simulare i flussi di ordini di acquisto e di vendita che si osservano sul mercato per ogni giornata di contrattazione. In questo modo è stato possibile rappresentare le negoziazioni che avvengono sui mercati, facendo incontrare ordini di acquisto e di vendita attraverso un *book* telematico.

In questo caso, però, si è fatto uso di due tipologie di ordini: ordini *low-frequency*, inviati da normali partecipanti al mercato, e ordini *high-frequency*, che identificano l'attività di un *high frequency trader*. È stato stabilito che l'attività dell'operatore *high frequency* sia guidata da una strategia che trae vantaggio dalla formazione di un determinato trend del mercato.

Gli esperimenti artificiali, condotti tramite il modello, hanno permesso di visualizzare realisticamente gli effetti derivanti dall'utilizzo dell'HFT su un mercato in cui il prezzo si genera in maniera endogena e in cui si osserva la formazione di bolle e crash quando un lato del mercato risulta essere più "corto" dell'altro. Il modello è stato dunque sottoposto a diversi test, al fine di simulare quanto desiderato, e i risultati sono stati molteplici e molto realistici. Alcuni esperimenti hanno mostrato che cosa accade a seguito dell'introduzione di un'attività di tipo *high frequency*, e, in particolare, è stato osservato che il prezzo subisce improvvise variazioni dai suoi valori medi, causando sia bolle improvvise, sia quelli che vengono comunemente chiamati Flash Crash, in base alle diverse condizioni che si vengono a creare sui mercati.

---

<sup>18</sup> Commodity Futures Trading Commission

Uno dei punti centrali di questo lavoro è stato, dunque, quello di cercare di arginare tali effetti, in modo da “rallentare” le contrattazioni. Per fare ciò si è utilizzato uno strumento, realmente impiegato in questi casi dal NYSE, per “raffreddare” il mercato e permettere ai market maker di riportare i prezzi a valori più ragionevoli. Tale provvedimento prende il nome di Liquidity Replenishment Points (LRP) e serve ad interrompere le contrattazioni automatizzate per un certo periodo di tempo in modo che i market maker possano fornire liquidità al mercato. Nel modello, l’innescò di LRP interrompe le contrattazioni *high frequency*, mostrando chiaramente come, in questo modo, le variazioni di prezzo siano più contenute, evitando che si raggiungano i livelli drammatici che invece sono stati osservati nei casi di una completa assenza di regolazione.

In ultima analisi, si è voluto simulare l’introduzione di un provvedimento che, invece, si pone l’obiettivo di disincentivare l’uso degli HFT, rendendone insignificanti i guadagni e quindi non proficuo l’utilizzo. Si è proceduto introducendo una tassa sulle transazioni, anche detta Tobin tax o Robin Hood tax. Poiché gli HFT traggono profitto dall’alto volume di scambi, ma realizzano margini esigui per ogni singola contrattazione, l’istituzione di una tassa, anche di basso importo, che colpisce le transazioni, riesce nell’intento di penalizzare le speculazioni attuate dagli operatori *high frequency*. Dal modello infatti si può osservare che i profitti realizzati dopo l’introduzione della Tobin tax, ad un tasso dello 0.1%, diminuiscono fino a diventare nulli. Questa, dunque, sembra essere la soluzione più appropriata, poiché colpisce le speculazioni alla base, disincentivandone l’uso. Il dibattito intorno all’introduzione di una tassa sulle transazioni è aperto e si riapre periodicamente da molti anni. La Tobin tax risulta essere più efficace se introdotta a livello di mercati globali, ed è quindi opportuno che si trovi un accordo comune. Per tale motivo, questo è stato uno degli argomenti in agenda al G20 tenutosi recentemente a Cannes il 3 e 4 novembre 2011, in cui l’Unione Europea ha stabilito il lancio di una tassa sulle transazioni a livello comunitario a partire dal 2014.

Il modello ad agenti sviluppato ai fini di questa ricerca, potrà, inoltre, essere oggetto di futuri sviluppi, perché lascia libero spazio a possibili implementazioni di nuove regolamentazioni, che limitino o eliminino i danni provocati dall’utilizzo sconsiderato dell’HFT. Si spera dunque che le ricerche future siano in grado di investigare, in modo

ancora più completo, gli effetti dell'introduzione di ulteriori regole utili a scongiurare un rischio sistemico nei mercati finanziari causato dall'impiego di metodi di negoziazione computerizzata ad alta frequenza.



# Appendice A

## Codice del programma in NetLogo

È riportato di seguito il codice del programma sviluppato in NetLogo.

```
breed[sellers seller]
breed[buyers buyer]
breed[markets market]
breed[high_frequency_traders high_frequency_trader]
breed[low_sell_orders low_sell_order]
breed[low_buy_orders low_buy_order]
breed[hf_buy_orders hf_buy_order]
breed[hf_sell_orders hf_sell_order]

globals [exeprice logB logS logEx HF_margin]

low_buy_orders-own [price]
low_sell_orders-own [price]
hf_buy_orders-own [price]
hf_sell_orders-own [price]

to setup
  clear-all
  set-default-shape sellers "person business"
  set-default-shape buyers "person business"
  set-default-shape high_frequency_traders "hft"
  set-default-shape markets "building institution"
  set-default-shape hf_buy_orders "orders"
  set-default-shape hf_sell_orders "orders"
  set-default-shape low_sell_orders "orders"
  set-default-shape low_buy_orders "orders"
  set exeprice 1000
  set HF_margin 0
  set Tobin_tax false
  set logB []
  set logs []
  set logEx []
  set trigger_HFSell false
  set trigger_HFBuy false set LRP false

  create-sellers 1
  ask sellers [set size 1.8
               setxy -10 -8
               set color 15]
```

```

create-buyers 1
ask buyers [set size 1.8
            setxy -8 -8
            set color 53]

create-high_frequency_traders 1
ask high_frequency_traders [set size 4
                            set color 9.9
                            setxy 10 -5]

create-markets 1
ask markets[set size 5
            set color 9.9
            setxy 0 12]

ask patch -1 10 [set pcolor grey]
ask patch -2 10 [set pcolor grey]
ask patch -3 10 [set pcolor grey]
ask patch  0 10 [set pcolor grey]
ask patch  1 10 [set pcolor grey]
ask patch  2 10 [set pcolor grey]
ask patch  3 10 [set pcolor grey]
ask patch -2 11 [set pcolor grey]
ask patch -1 11 [set pcolor grey]
ask patch  0 11 [set pcolor grey]
ask patch  1 11 [set pcolor grey]
ask patch  2 11 [set pcolor grey]
ask patch -2 12 [set pcolor grey]
ask patch -1 12 [set pcolor grey]
ask patch  0 12 [set pcolor grey]
ask patch  1 12 [set pcolor grey]
ask patch  2 12 [set pcolor grey]
ask patch -2 13 [set pcolor grey]
ask patch -1 13 [set pcolor grey]
ask patch  0 13 [set pcolor grey]
ask patch  1 13 [set pcolor grey]
ask patch  2 13 [set pcolor grey]

end

to go

move-orders
hatch-orders
tick
if ticks mod 1000 = 0 [set logB [] set logS[]]
generate-books
exchange
trigger-HF
replenish-liquidity clear-orders
graph

end

to hatch-orders

```

```

ask buyers
[if buyprob > random-float 1
[hatch-low_buy_orders 1
[set size 1
set color 45
set price exeprice + (random-float 1) *
(buy_price_b - (buy_price_a)) +
(buy_price_a)]]]

ask sellers
[if sellprob > random-float 1
[hatch-low_sell_orders 1
[set size 1
set color 5
set price exeprice + (random-float 1) *
(sell_price_b - (sell_price_a)) + (sell_price_a)]]]

ask high_frequency_traders
[if hf_buy > random-float 1
[hatch-hf_buy_orders N_hf_buy
[set color 53
set price exeprice + (random-float 1) *
(buy_price_b - (buy_price_a)) + (buy_price_a)
set size 1
]]]

ask high_frequency_traders
[if hf_sell > random-float 1
[hatch-hf_sell_orders N_hf_sell
[set color 15
set price exeprice + (random-float 1) *
(sell_price_b - (sell_price_a)) + (sell_price_a)
set size 1]]]

end

to move-orders
ask hf_buy_orders [set heading 329 fd 3]
ask hf_sell_orders [set heading 329 fd 3]
ask low_buy_orders [set heading 23 fd 0.5]
ask low_sell_orders [set heading 27 fd 0.5]
end

to generate-books
let buy_orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders)
ask buy_orders with [pcolor = 5]

[let varbuy []

set varbuy lput price varbuy
set varbuy lput who varbuy
set logB lput varbuy logB

;show logB

```

```

]
;show exeprice

let sell_orders (turtle-set low_sell_orders hf_sell_orders)
ask sell_orders with [pcolor = 5]

[let varsell []
 set varsell lput price varsell
 set varsell lput who varsell
 set logS lput varsell logS
;show logS
]
;show exeprice

end

to exchange

let orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders low_sell_orders
hf_sell_orders)
let buy_orders (turtle-set low_buy_orders hf_buy_orders)
let sell_orders (turtle-set low_sell_orders hf_sell_orders)

ask orders with [pcolor = 5]

[if breed = buy_orders and (not empty? logS) and price > 400 and
price >= item 0 (item 0 logS)
[set exeprice item 0 (item 0 logS)
 set logS but-first logS
 set logB remove list (price) (who) logB
 set logEx lput exeprice logEx
 if breed = hf_buy_orders [set HF_margin HF_margin + 1]
 if breed = low_buy_orders [ask hf_sell_orders
 [set HF_margin HF_margin + 1 if Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]]
 if breed = hf_buy_orders or breed = hf_sell_orders and Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]

if breed = sell_orders and (not empty? logB)
 and item 0 (item 0 logB) >= price
[set exeprice item 0 (item 0 logB)
 set logB but-first logB
 set logS remove list (price) (who) logS
 set logEx lput exeprice logEx
 if breed = hf_sell_orders [set HF_margin HF_margin + 1]
 if breed = low_sell_orders [ask hf_buy_orders
 [set HF_margin HF_margin + 1 if Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]]
 if breed = hf_sell_orders or breed = hf_buy_orders and Tobin_tax
 [set HF_margin HF_margin - exeprice * 0.001]]

if HF_margin < 0 [set hf_sell 0
 set hf_buy 0]]

```

```

ask orders with [pcolor = 5]
  [set logB reverse sort-by [item 0 ?1 < item 0 ?2] logB
   set logS sort-by [item 0 ?1 < item 0 ?2] logS]

ask orders [if exeprice < 0 [set exeprice 0]]

end

to trigger-HF

  ifelse (not empty? logEx)
  and exeprice < mean logEx * (1 - 10 / 100)
    [set trigger_HFSell true][set trigger_HFSell false]
  ifelse trigger_HFSell [set hf_sell hf_sell][set hf_sell 0]
  ifelse (not empty? logEx)
  and exeprice > mean logEx * (1 + 10 / 100)
    [set trigger_HFBuy true] [set trigger_HFBuy false]
  ifelse trigger_HFBuy [set hf_buy hf_buy][set hf_buy 0]

end

to replenish-liquidity

  if (not empty? logEx) and exeprice < mean logEx * (1 - 60 / 100)
  and hf_sell != 0 [set LRP true]

  if (not empty? logEx) and exeprice > mean logEx * (1 + 60 / 100)
  and hf_buy != 0 [set LRP true]

  if LRP [set hf_sell 0
    set hf_buy 0
    set trigger_HFSell false
    set trigger_HFbuy false]

end

to clear-orders

  ask low_buy_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask low_sell_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask hf_buy_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]
  ask hf_sell_orders [if [pcolor] of patch-here = 5 [die]]

end

to graph

  set-current-plot "Price"
  plot exeprice

  set-current-plot "buy_orders_Book"
  plot length logB

  set-current-plot "sell_orders_Book"

```

```
plot length logS

set-current-plot "HF_margin"
plot HF_margin

end
```

# Bibliografia

- ALDRIDGE I. (2010), *High-frequency Trading, A practical guide to Algorithmic Strategies and Trading Systems*, John Wiley & Sons, 2010.
- ALDRIDGE I. (2011), *Dodd-Frank and Trading Tech*, 18 aprile 2011. Disponibile al sito: <http://www.advancedtrading.com/regulations/229401761>.
- ARCIERO L., BIANCOTTI C., D'AURIZIO L. e IMPENNA C. (2009), *Exploring Agent-Based Methods for the Analysis of Payment Systems: A Crisis Model for StarLogo TNG*, 31 gennaio 2009, JASSS, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/2.html>.
- ARNOLD J., BECH M.L., BEYELER W.E., GLASS R.J. e SORAMAKI K. (2006), The topology of interbank payment flows, Federal Reserve Bank of New York, Staff Report 243.
- ARTHUR W.B., HOLLAND J.H., LEBARON B., PALMER R. e TAYLER P. (1996), *Asset Pricing under endogenous expectations in an artificial stock market*. 12 dicembre 1996, SSRN, [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2252](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2252).
- AXELROD R. (1997) *Advancing the art of simulation in the social sciences*. In R. Conte, R. Hegselmann e P. Terna (ed.) *Simulating social phenomena*. Berlin: Springer, pp. 21-40.
- AXTELL R.L. (2000), *Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences*, CSED Working Paper n. 17.
- AXTELL R.L. e EPSTEIN, J.M. (1994), *Agent Based Modeling: Understanding Our Creations*, The Bulletin of the Santa Fe Institute, 1994, pp.28-32.
- BROGAARD J. (2010), *High Frequency Trading and its Impact on Market Quality*, 5th Annual Conference on Empirical Legal Studies Paper. Copia disponibile al sito: <http://ssrn.com/abstract=1641387>.
- CESR (2010), Committee of European Securities Regulators, *Call for Evidence. Microstructural issues of the European equity markets*, 1 aprile 2010. Copia disponibile al sito: [http://www.cesr.eu/data/document/10\\_142.pdf](http://www.cesr.eu/data/document/10_142.pdf).
- CESR (2010), Committee of European Securities Regulators, *CESR Technical Advice to the European Commission in the Context of the MiFID Review and Responses to the European Commission Request for Additional Information*, 29 luglio 2010.

- CFTC & SEC (2010), *Findings regarding the market events of May 6, 2010*, Report of the Staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issue.
- CFTC & SEC (2010), *Preliminary findings Regarding the Market Events of May 6, 2010*, Report of the Staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issue.
- CHABOUD A., HJALMARSSON E., VEGA C. e CHIQUOINE B. (2009), *Rise of the machines: Algorithmic trading in the foreign exchange market*. International Finance Discussion Papers, 2009.
- CVITANIC J. e KIRILENKO A. (2010), *High Frequency Traders and Asset Prices*, SSRN, 11 marzo 2010.
- DANIELS M.G., FARMER G.D., IORI G. e SMITH E. (2002), *How storing supply and demand affects price diffusion*, Santa Fe Working Paper. Disponibile al sito: <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/02-01-001.pdf>.
- EASLEY D., LOPEZ DE PRADO M.M., O'HARA M. (2010), *THE MICROSTRUCTURE OF THE 'FLASH CRASH' Flow toxicity, liquidity crashes and the Probability of Informed Trading*, 19 novembre 2010. Copia disponibile al sito: <http://ssrn.com/abstract=1695041>.
- EPSTEIN J.M. (2008), *Why Model?*, SFI WP, 31 ottobre 2008, n.40 & JASSS, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>.
- EUROPEAN COMMISSION (2004), *Markets in Financial Instruments Directive (MiFID)*, Directive 2004/39/EC. Copia disponibile al sito: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/consleg/2004/L/02004L0039-20060428-en.pdf>.
- EUROPEAN COMMISSION (2010), European Commission Directorate General Internal Market and Services, *Public consultation: Review of the Markets in Financial Instruments Directive (MiFID)*. 8 dicembre 2010.
- EUROPEAN PARLIAMENT (2010), *Report on regulation of trading in financial instruments – 'dark pools' etc.*, Committee on Economic and Monetary Affairs, rapporteur: Kay Swinburne, 16 novembre 2010. Disponibile al sito: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=EN&reference=A7-0326/2010>.
- FARMER J.D., PATELLI P. e ZOVKO I.I. (2003), *The Predictive Power of Zero Intelligence in Financial Markets*. Copia disponibile al sito: <http://tuvalu.santafe.edu/~jdf/papers/science2.pdf>.



- GILBERT N., TERNA P. (2000), *How to build and use agent-based models in social science*, in «Mind & Society», 1, Vol. 1, pp. 57-72.
- GODE D. e SUNDER S. (1993), *Allocative efficiency of markets with zero intelligence traders: Markets as a partial substitute for individual rationality*, «Journal of Political Economy», Vol. 101, n.1, pp. 119-137.
- GOWER R. (2011), *Financial Crisis 2: The Rise of the Machines*, [http://robinhoodtax.org/sites/default/files/Rise%20of%20the%20Machines\\_1.pdf](http://robinhoodtax.org/sites/default/files/Rise%20of%20the%20Machines_1.pdf).
- HASBROUK J. e SAAR G. (2010), *Low-Latency Trading*, Johnson School Research Paper Series No. 35-2010.
- HENDERHOTT T. e RIORDAN R. (2009), *Algorithmic Trading and Information*, 21 giugno 2011. <http://faculty.haas.berkeley.edu/hender/ATInformation.pdf>
- JARNECIC E. e SNAPE M. (2010), *An analysis of trades by high frequency participants on the London Stock Exchange*, SSRN, giugno 2010.
- JOVANOVIC B. e MENKVELD A.J. (2010), *Middlemen in Limit -Order Markets*, SSRN, 24 ottobre 2011.
- KAUFMAN E. (2009), Comments on File No. S7-21-09. *Elimination of Flash Order Exception from Rule 602 Regulation NMS*. Disponibile al sito: <http://sec.gov/comments/s7-21-09/s72109-107.pdf>.
- KIRMAN A. (2011), *Learning in Agent-Based Models*. Eastern Economic Journal, Vol. 37, Issue 1, pp. 20-27.
- LAWSON M. (2011), *The Robin Hood tax: a small step for capitalism, a big stride for development*, 23 agosto 2011, The Guardian. <http://www.guardian.co.uk/global-development/poverty-matters/2011/aug/23/robin-hood-tax-small-step-capitalism>.
- MACEY J.R., MITCHELL M. e NETTER J. (1989), *Restrictions on Short Sales: An Analysis of the Uptick Rule and its Role in View of the October 1987 Stock Market Crash*, Yale Law School Legal Scholarship Repository, 1 gennaio 1989.
- SCHAPIRO M.L. (2010), *Examining the Causes and Lessons of the May 6th Market Plunge*, U.S. Securities and Exchange Commission, 20 maggio 2010. Disponibile al sito: <http://www.sec.gov/news/testimony/2010/ts052010mls.htm>.
- SEC (2010), Securities and Exchange Commission, *SEC Adopts New Rule Preventing Unfiltered Market Access*. <http://www.sec.gov/news/press/2010/2010-210.htm>.
- STRATOUDAKIS T. (2011), *Hardware Accelerated FIX Order Cancel System*, Wall Street FPGA, LLC, New York City, Marzo 2011.

TERNA P. (2000), SUM: a Surprising (Un)realistic Market: Building a Simple Stock Market Structure with Swarm, presentato a CEF 2000, Barcelona, 5-8 giugno.

TERNA P., BOERO R. MORINI M. e SONNESSA M., (A cura di) (2006). *Modelli per la complessità. La simulazione ad agenti in economia*. il Mulino, Bologna.

WHEATLEY M., *We need rules to limit the risk of superfast trades*, 20 settembre 2010, Financial Times. <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/ad7f31f6-c4cd-11df-9134-00144feab49a.html#axzz1VmHun3UF>.