

AI e mercati finanziari: un'analisi di rischi, normative e riforme necessarie

Prof.ssa Mirella Pellegrini

RELATORE

Prof.ssa Paola Lucantoni

CORRELATORE

Gabriele D'Aquino (Matricola: 761931)

CANDIDATO

Indice

<i>Introduzione</i>	1
<i>Capitolo 1: L'intelligenza artificiale nei mercati finanziari: panoramica teorica e normativa</i>	5
1.1 Introduzione storica dell'AI nei mercati finanziari	6
1.1.1 Evoluzione delle piattaforme di trading elettronico	6
1.1.2 Dal trading automatizzato al trading algoritmico.....	8
1.1.3 Machine learning e predizione dei trend di mercato	11
1.1.4 High-Frequency Trading (HFT): impatti e sviluppi	14
1.1.5 Robo-advisor: origini, evoluzione e impatto sui piccoli investitori	17
1.2 Applicazioni dell'AI nei mercati finanziari	20
1.2.1 Applicazioni dell'AI nel trading algoritmico	20
1.2.2 AI nella gestione del rischio finanziario.....	22
1.2.3 AI nella consulenza finanziaria	25
1.3 Quadro normativo dell'AI nei mercati finanziari	27
1.3.1 MiFID II: misure e requisiti per l'uso di algoritmi	28
1.3.2 AI Act: armonizzazione delle regole europee	30
1.3.3 Normative extraeuropee: USA e Asia	34
1.4: Sfide e opportunità legate all'adozione dell'AI nei mercati finanziari	36
1.4.1 Trasparenza algoritmica e regolamentazione	36
1.4.2 Rischio sistemico legato al trading algoritmico: il caso del Flash Crash	38
1.4.3 AI e stabilità finanziaria: possibili rischi futuri	40
<i>Capitolo 2: Analisi Empirica delle Performance Finanziarie e dell'Impatto della MiFID II</i>	43
2.1 Metodologia e Fonti dei Dati	43
2.1.1 Fonti dei dati utilizzati	44
2.1.2 Descrizione del dataset: istituzioni finanziarie e mercati esaminati.....	45
2.1.3 Modelli statistici ed econometrici adottati	50
2.2 Analisi Descrittiva delle Variabili Finanziarie	53
2.2.1 Analisi descrittiva del ROI	53
2.2.2 Analisi descrittiva del rendimento azionario	60
2.2.3 Analisi della Redditività Operativa	64
2.2.4 Analisi del Volume di Trading.....	68
2.2.5 Analisi della Volatilità	72

2.3 Valutazione dell’Impatto della MiFID II e dell’Innovazione Tecnologica	75
2.3.1 Confronto delle Performance Finanziarie pre e post MiFID II	76
2.3.2 Conformità normativa e performance finanziarie	79
2.3.3 Analisi dell’Impatto della MiFID II sulle Performance Finanziarie: Regressione Lineare	83
2.3.4 Effetti della MiFID II sulla Volatilità	85
2.3.5 Interazione tra MiFID II e Adozione di Intelligenza Artificiale	87
2.3.6. Analisi della Normalità dei Residui e Segmentazione degli Intermediari.....	92
 Capitolo 3: Proposte normative per un uso più sicuro dell’AI nei mercati finanziari	97
3.1 Principi per una regolamentazione dell’AI orientata alla stabilità finanziaria.....	98
3.1.1 Bilanciamento tra innovazione e protezione degli investitori	99
3.1.2 L’importanza della trasparenza algoritmica nelle normative future	101
3.2 Proposte per migliorare la MiFID II e l’AI Act.....	104
3.2.1 Revisione dei requisiti di auditabilità e explainable AI.....	104
3.2.2 Nuovi standard per il controllo del rischio algoritmico	106
3.3 Modelli internazionali e opportunità di convergenza normativa	108
3.3.1 Analisi delle differenze tra le normative europee, americane e asiatiche	108
3.3.2 Proposta di uno standard normativo globale	110
3.4 Proposte di strumenti tecnologici per mitigare i rischi dell’AI	112
3.4.1 Sostituire Explainable AI con un sistema di “AI Watchdog”	113
3.4.2 Strumenti di monitoraggio in tempo reale per i sistemi di AI	115
 Conclusioni	118
Bibliografia	124

Introduzione

Negli ultimi anni, i mercati finanziari hanno vissuto una trasformazione radicale, spinta dall'uso pervasivo dell'intelligenza artificiale (AI) in varie fasi del processo d'investimento: dal trading algoritmico ad alta frequenza, fino alla consulenza automatizzata e alla gestione del rischio. In questa rapida evoluzione, l'AI si configura come un fattore di potenziamento significativo della competitività e dell'efficienza, consentendo di operare analisi predittive sempre più complesse, in tempi ristretti e a costi relativamente contenuti. Tuttavia, la crescente automazione e l'autonomia decisionale degli algoritmi evidenziano criticità che non possono essere trascurate: la volatilità di mercato sembra accentuarsi in presenza di sistemi di trading ad alta frequenza, mentre i meccanismi di controllo e vigilanza stentano a tenere il passo con strategie e infrastrutture tecnologiche in continua evoluzione.

La presente tesi mira a valutare in che misura la normativa attuale – in particolare la Direttiva MiFID II e l'AI Act – sia in grado di fronteggiare le sfide poste dall'intelligenza artificiale nei mercati finanziari e a identificare eventuali lacune che possano mettere a repentaglio la stabilità del sistema.

A questo proposito, risulta indispensabile chiarire fino a che punto le applicazioni di AI nell'industria finanziaria rientrino nell'ambito applicativo dell'AI Act. Come evidenziato dal Discorso al mercato finanziario, nel Convegno promosso da OCF in collaborazione con Sapienza Università di Roma sul tema: "L'impatto dell'AI Act sul mondo finanziario", pronunciato dal Presidente della Consob, prof. Savona, e dall'intervento del Commissario Corneli, il legislatore europeo, con il Regolamento (UE) 2024/1689 (c.d. *AI Act*), ha introdotto un'architettura di vigilanza basata sulla categorizzazione in quattro livelli di rischio (inaccettabile, alto, limitato, minimo). Per quanto riguarda i servizi finanziari, l'art. 74 dell'AI Act prevede in via ordinaria che i sistemi di IA "ad alto rischio" utilizzati da soggetti vigilati (banche, SGR, società di intermediazione, gestori di mercati regolamentati, ecc.) rientrino sotto la supervisione delle autorità finanziarie competenti (Consob, Banca d'Italia, IVASS, o analoghi organi in altri Stati membri).

Il dibattito italiano più recente, tuttavia, ha evidenziato possibili divergenze tra l'approccio definito dall'AI Act e il Disegno di Legge (DDL) nazionale dedicato all'Intelligenza Artificiale, che, così come delineato, attribuirebbe invece all'Agenzia per

l'Italia Digitale (AgID) e all'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN) alcune competenze sulla vigilanza dei sistemi AI anche in ambito finanziario. Ciò rischia di generare – come sottolineato dallo stesso Commissario Corneli – una complessità istituzionale non del tutto in linea con l'art. 74 dell'AI Act, il quale tende a conferire la competenza di vigilanza alle *autorità finanziarie di settore* (o ai *sandbox* regolamentari da queste gestiti), a meno che non ricorrano specifiche circostanze che giustificino una diversa designazione.

È quindi evidente che – specialmente in un contesto in cui la rapidità dell'innovazione AI e la crescita delle attività finanziarie risultano in costante aumento – la piena efficacia del Regolamento europeo dipenderà anche da come verranno risolte queste possibili sovrapposizioni di competenze, nonché dalla capacità delle diverse Autorità di dotarsi di risorse e competenze adeguate a garantire una vigilanza efficace su algoritmi sempre più complessi e potenzialmente ad “alto rischio”.

Tale sfida regolatoria, al centro del dibattito sull'*AI Act* e sulla sua attuazione in Italia, si intreccia con le considerazioni sviluppate nella presente tesi: se l'AI nei mercati finanziari ha dimostrato benefici tangibili in termini di efficienza e competitività, è altrettanto vero che l'introduzione di sistemi di IA non adeguatamente vigilati potrebbe accrescere la volatilità di mercato e porre rischi sistemici che vanno affrontati attraverso un quadro normativo chiaro e internamente coerente. Da qui l'urgenza di identificare e colmare le eventuali lacune, sia in MiFID II sia nell'AI Act, per garantire l'affidabilità e la stabilità del sistema.

Diventa quindi necessario comprendere se i quadri regolatori, pensati per un mondo finanziario in cui l'automazione era solo un ausilio e non un protagonista, riescano a tutelare adeguatamente investitori e intermediari, mantenendo al contempo un giusto bilanciamento tra l'esigenza di innovazione e la protezione da rischi sistemici sempre più imprevedibili.

Alla base di tale interrogativo si pongono due ordini di riflessione:

1. La capacità dell'AI di impattare sulle performance e sulla stabilità dei mercati. Se da un lato l'automazione algoritmica genera benefici tangibili in termini di riduzione dei costi e di rapidità di esecuzione, dall'altro sembra amplificare fenomeni di volatilità estreme e introdurre nuovi canali di rischio (come i flash crash), difficili da tracciare con approcci normativi tradizionali.

2. La sufficienza o meno delle norme esistenti a governare questi scenari. Le regole di trasparenza e supervisione previste dalla MiFID II sono state poste come un passo avanti rispetto alla precedente regolamentazione, in quanto hanno esteso gli obblighi di disclosure e rafforzato i presidi di vigilanza sul trading algoritmico e sui rischi di mercato, ma recenti episodi di turbolenza e l'analisi di dati empirici suggeriscono una risposta non sempre adeguata, specialmente in un panorama che si va integrando con le potenzialità (e le opacità) dell'AI.

Per rispondere in modo critico a tali quesiti, la tesi si articola in tre capitoli. Il Capitolo 1 ricostruisce l'evoluzione dei mercati finanziari alla luce delle trasformazioni digitali, approfondendo gli impatti della MiFID II e tracciando le linee essenziali dell'AI Act, una proposta che considera l'uso dell'AI "ad alto rischio" quando applicata alla finanza. Il Capitolo 2, di natura empirica, presenta l'analisi di un dataset multivariato che riguarda 24 intermediari in Europa, Stati Uniti e Asia, con lo scopo di misurare l'impatto dell'adozione di AI e della conformità normativa sulle variabili fondamentali (ROI, rendimento azionario, redditività operativa, volatilità, volumi di trading). Questa sezione consente di evidenziare, in termini quantitativi, fino a che punto l'AI innalzi le performance e, al contempo, accresca l'esposizione al rischio; o in che modo la regolamentazione in vigore incida sulla stabilità di mercato, generando o meno vantaggi tangibili per gli operatori conformi. Infine, il Capitolo 3 propone una serie di interventi normativi e tecnologici per colmare le lacune emerse: tra questi, l'introduzione di un sistema di certificazione ex-ante degli algoritmi (con stress test "AI vs AI"), l'implementazione di sandbox regolatori ispirati ai modelli asiatici e il ricorso a un "AI Watchdog" capace di monitorare in tempo reale le strategie di trading automatizzate, segnalando tempestivamente situazioni a rischio.

Nonostante le finalità di tutela del pubblico e dei mercati, le regole attuali incentrate sulla trasparenza e sulla registrazione delle operazioni non sempre garantiscono una difesa efficace contro gli eccessi speculativi o i comportamenti emergenti degli algoritmi, specie quando la logica di funzionamento degli stessi rimane perlopiù oscura agli stessi operatori di mercato. La tesi si propone, quindi, di mostrare come la convergenza tra innovazione tecnologica e adempimenti regolatori non sia soltanto una sfida tecnica, ma un passaggio critico per assicurare la tenuta del sistema finanziario a lungo termine. L'obiettivo ultimo è, da un lato, evidenziare i limiti e i possibili punti di fallimento (*regulatory failures*) degli

strumenti legislativi e, dall'altro, tracciare percorsi di riforma che non ostacolino la naturale evoluzione del settore, ma garantiscano forme di supervisione più dinamiche, capaci di tenere il passo della rapidissima evoluzione degli algoritmi.

Il contributo che ne deriva è duplice: in primo luogo, la ricerca ambisce a fornire evidenze empiriche concrete sulle potenziali contraddizioni tra normativa e realtà operativa, specialmente laddove le istituzioni finanziarie cerchino di ottimizzare le proprie strategie di investimento attraverso algoritmi di nuova generazione. In secondo luogo, le proposte avanzate puntano a rendere la regolamentazione più aderente ai mutamenti strutturali dei mercati, nonché a spingere verso una convergenza normativa internazionale che scongiuri arbitraggi regolamentari e fughe di capitale verso giurisdizioni meno severe.

La tesi intende, dunque, fornire una risposta critica alla domanda di fondo: “Fino a che punto il quadro normativo esistente garantisce un uso sicuro dell'AI nei mercati finanziari, e quali interventi sono necessari per evitare distorsioni competitive e rischi sistemici?”. Il percorso d'indagine pone l'accento sulla necessità di strumenti di vigilanza più dinamici e di un dibattito regolatorio che superi l'attuale dicotomia tra protezione e innovazione. Emerge, in definitiva, la consapevolezza che senza un sostegno normativo mirato e proattivo, i benefici dell'AI rischiano di essere accompagnati da pericolose inefficienze e instabilità, minando la fiducia degli investitori e la resilienza stessa del sistema finanziario globale.

Capitolo 1: L'intelligenza artificiale nei mercati finanziari: panoramica teorica e normativa

L'intelligenza artificiale (AI) rappresenta una delle innovazioni tecnologiche più importanti dell'ultimo decennio, rivoluzionando profondamente settori chiave, incluso quello finanziario. Nei mercati finanziari, l'AI non è semplicemente uno strumento di progresso, ma un fattore di trasformazione sistemica che sta ridisegnando le modalità di trading, la gestione degli investimenti e i processi decisionali. Tuttavia, questa rivoluzione comporta rischi significativi, sia a livello operativo che sistemico, rendendo indispensabile una regolamentazione che sia adeguata per affrontare tali sfide. Questo capitolo si propone di delineare un quadro teorico e normativo sull'introduzione dell'AI nei mercati finanziari, analizzandone i benefici, le criticità e le implicazioni regolatorie, muovendo dall'analisi di strumenti e tecnologie chiave e mettendo in evidenza i rischi emergenti (tra cui la volatilità del mercato, la mancanza di trasparenza algoritmica e le potenziali instabilità sistemiche).

L'analisi approfondirà anche le risposte normative attuali, tra cui la MiFID II e l'AI Act, evidenziando il loro tentativo di mitigare tali rischi, ma anche le nuove sfide che pongono sia agli operatori che ai regolatori. La ricerca intende dimostrare come l'AI, pur migliorando l'efficienza operativa e creando nuove opportunità nei mercati finanziari, possa al contempo amplificare vulnerabilità già esistenti e introdurre di nuove, richiedendo un continuo adattamento del quadro regolamentare. L'analisi svolta, pertanto, è volta a dimostrare l'importanza di bilanciare l'innovazione tecnologica con la stabilità sistemica, nonché a suggerire possibili miglioramenti agli attuali quadri normativi per rispondere in modo più efficace alle sfide di un settore in rapida evoluzione.

1.1 Introduzione storica dell'AI nei mercati finanziari

L'introduzione dell'intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari è frutto di un'evoluzione progressiva, iniziata con le prime piattaforme di trading elettronico e culminata in complessi sistemi di trading algoritmico e machine learning. Ripercorrerne le tappe principali consente di capire come tali strumenti abbiano gradualmente trasformato il settore, incrementando la rapidità e la complessità dei processi decisionali e incidendo in modo strutturale sulla gestione del rischio, sull'esecuzione degli ordini e sulla consulenza finanziaria. Nel corso degli anni, queste innovazioni hanno portato allo sviluppo di strategie ad alta frequenza (HFT) e di algoritmi predittivi sempre più sofisticati, con effetti positivi in termini di efficienza ma anche nuove sfide, come l'aumento della volatilità e la potenziale insorgenza di comportamenti emergenti potenzialmente destabilizzanti.

1.1.1 Evoluzione delle piattaforme di trading elettronico

L'evoluzione delle piattaforme di trading elettronico ha rappresentato una trasformazione radicale nel funzionamento dei mercati finanziari, sostituendo gradualmente gli scambi manuali con operazioni completamente digitalizzate. Questo processo ha avuto inizio negli anni '70 con l'introduzione dei primi sistemi di scambio elettronico, che hanno ridisegnato la struttura del mercato, migliorando l'efficienza e riducendo i costi di transazione¹.

Uno dei primi esempi di piattaforma di trading elettronico è il NASDAQ, introdotto nel 1971 come la prima borsa valori completamente elettronica negli Stati Uniti. In precedenza, il trading avveniva principalmente attraverso il sistema di asta del New York Stock Exchange (NYSE), dove i broker e i market maker si incontravano fisicamente per eseguire le operazioni. Con il NASDAQ, invece, gli ordini di acquisto e vendita venivano

¹ ÖZER, Mahmut; PERC, Matjaz; SUNA, H. Eren. *Artificial intelligence bias and the amplification of inequalities in the labor market. Journal of Economy Culture and Society*, 2024, 69: 159-168.

abbinati tramite un sistema informatico, eliminando la necessità di una presenza fisica e riducendo significativamente i tempi di esecuzione delle transazioni².

Negli anni '80 e '90, il settore continuò a evolversi con l'introduzione di nuove tecnologie che aumentarono la velocità e la capacità operativa delle piattaforme di trading elettronico. In questo periodo, furono sviluppati sistemi automatizzati come il Reuters Dealing System, che permettevano agli istituti finanziari di eseguire operazioni di cambio valuta in modo automatizzato³. Questi progressi hanno aperto la strada al trading continuo 24 ore su 24, migliorando l'accesso ai mercati globali e ottimizzando l'efficienza operativa.

Un momento cruciale in questa evoluzione fu rappresentato dall'introduzione delle Electronic Communication Networks (ECN) negli anni '90, che permisero agli investitori di interagire direttamente tra loro, bypassando le tradizionali borse valori. Le ECN consentivano l'abbinamento automatico degli ordini di acquisto e vendita senza l'intermediazione di un market maker, riducendo i costi di transazione e migliorando la velocità delle operazioni⁴. Questo modello favorì lo sviluppo del trading ad alta frequenza (HFT), che sfruttava la struttura tecnologica avanzata delle ECN per eseguire milioni di transazioni al secondo. Tuttavia, l'adozione diffusa di queste tecnologie ha sollevato nuove problematiche legate alla riduzione della trasparenza e all'aumento della volatilità, specialmente durante periodi di elevata attività di trading.

Nel decennio successivo, l'espansione delle piattaforme di trading elettronico ha raggiunto anche gli investitori al dettaglio. Piattaforme come E*TRADE, Charles Schwab e TD Ameritrade hanno consentito ai trader individuali di eseguire ordini direttamente dai propri dispositivi, senza dover ricorrere a broker tradizionali. Questo fenomeno ha democratizzato l'accesso ai mercati finanziari, ma ha anche contribuito a una maggiore volatilità, dato il crescente numero di investitori inesperti che partecipano attivamente al trading.

Con l'avvento del cloud computing e delle tecnologie di intelligenza artificiale (AI), le piattaforme di trading sono diventate ancora più avanzate. Oggi, molte istituzioni

² NASDAQ, *What is the Nasdaq Composite, and What Companies are in It?*, in <https://www.nasdaq.com/articles/what-is-the-nasdaq-composite-and-what-companies-are-in-it-2021-05-12>, 2021

³ RIME, Dagfinn. *New electronic trading systems in the foreign exchange market*. SSRN, 2014, 475 s.

⁴ HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002, 32-139

finanziarie utilizzano algoritmi di machine learning che analizzano grandi volumi di dati di mercato in tempo reale, ottimizzando le strategie di trading e migliorando la precisione delle previsioni. Piattaforme come MetaTrader e Interactive Brokers integrano questi algoritmi per identificare pattern di mercato e prendere decisioni autonome basate su modelli predittivi⁵.

Tuttavia, l'evoluzione delle piattaforme di trading elettronico ha introdotto anche sfide significative. La complessità crescente di questi sistemi rende difficile una regolamentazione efficace, sollevando interrogativi riguardo alla trasparenza e alla stabilità del sistema finanziario. La regolamentazione rappresenta oggi un aspetto cruciale per garantire che tali innovazioni possano essere adottate in modo sicuro e responsabile, tema che sarà approfondito nella sezione relativa al quadro normativo.

1.1.2 Dal trading automatizzato al trading algoritmico

L'evoluzione del trading nei mercati finanziari ha attraversato una trasformazione profonda, passando dal trading manuale al trading automatizzato, per poi approdare al trading algoritmico. Questo cambiamento ha rivoluzionato il modo in cui le operazioni vengono eseguite, rendendo i mercati più efficienti, ma al contempo più complessi e difficili da regolamentare.

Il trading automatizzato è una modalità che utilizza sistemi informatici per monitorare i prezzi di mercato e inviare ordini di acquisto o vendita quando vengono soddisfatte determinate condizioni predefinite. Introdotto negli anni '80, questo approccio ha permesso alle istituzioni finanziarie di automatizzare processi che prima richiedevano l'intervento manuale, riducendo così i tempi di esecuzione e minimizzando il rischio di errori umani⁶. Un esempio classico di trading automatizzato è rappresentato dagli ordini stop-loss, che si attivano automaticamente quando il prezzo di un asset scende sotto una soglia prestabilita, limitando così le perdite potenziali per l'investitore⁷. Tuttavia, i primi sistemi erano relativamente semplici e si concentravano solo sull'esecuzione automatica di ordini di base, senza analisi sofisticate.

⁵ COHEN, Gil. *Algorithmic trading and financial forecasting using advanced artificial intelligence methodologies*. *Mathematics*, 2022, 10.18: 3302.

⁶ ALDRIDGE, Irene. *High-frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. John Wiley & Sons, 2013.

⁷ HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002. 32-139

Con l'avanzare della tecnologia, il trading automatizzato si è evoluto nel trading algoritmico, che utilizza algoritmi complessi per analizzare dati di mercato e prendere decisioni di investimento basate su regole matematiche e modelli statistici⁸. A differenza del trading automatizzato, che segue istruzioni predefinite, il trading algoritmico è in grado di analizzare una vasta gamma di dati e reagire in tempo reale ai cambiamenti del mercato⁹. Gli algoritmi possono essere programmati per implementare diverse strategie, come il market making, l'arbitraggio statistico e il trading basato sul momentum. Ad esempio, l'arbitraggio statistico sfrutta discrepanze temporanee nei prezzi di asset correlati, acquistando quello sottovalutato e vendendo quello sopravvalutato per trarre profitto dalle differenze.

L'introduzione delle Electronic Communication Networks (ECN) negli anni '90 ha avuto un ruolo cruciale nella diffusione del trading algoritmico, consentendo agli investitori di interagire direttamente tra loro senza l'intermediazione di un market maker¹⁰. Le ECN hanno aumentato la velocità e l'efficienza del trading, creando le condizioni ideali per lo sviluppo di algoritmi sempre più sofisticati. In questo periodo sono emerse anche le prime applicazioni di high-frequency trading (HFT), caratterizzate da algoritmi in grado di eseguire milioni di operazioni al secondo, sfruttando piccole discrepanze di prezzo per generare profitti. Sebbene l'HFT abbia migliorato la liquidità del mercato, ha anche introdotto nuovi rischi, aumentando la volatilità e potenzialmente minando la stabilità del mercato.

Con l'avvento del machine learning e dell'intelligenza artificiale, il trading algoritmico ha compiuto un ulteriore passo avanti. Gli algoritmi di machine learning possono apprendere dai dati e adattare le proprie strategie ai cambiamenti del mercato, superando i limiti degli algoritmi tradizionali¹¹. Questo ha consentito alle istituzioni finanziarie di sviluppare modelli predittivi avanzati, capaci di identificare pattern complessi e anticipare movimenti di mercato difficili da rilevare con metodi convenzionali. Ad esempio, algoritmi come il VWAP (Volume-Weighted Average Price) sono stati progettati per

⁸ BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop*. *Sydney Law Review*, The, 2021, 43.1: 43-81.

⁹ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II: Algorithmic Trading Guidelines*, 2017, 14

¹⁰ BIAIS, Bruno; FOUCAULT, Thierry; MOINAS, Sophie. *Equilibrium high frequency trading*. In: *Proceedings from the fifth annual Paul Woolley Centre conference, London School of Economics*. 2011.

¹¹ BUCKLEY, Ross P., et al. *FinTech, financial inclusion and the UN Sustainable Development Goals*. In: *Routledge Handbook of Financial Technology and Law*. Routledge, 2021. p. 247-272.

minimizzare l'impatto sul mercato degli ordini di grandi dimensioni, suddividendo l'ordine in parti più piccole distribuite nel corso della giornata per ottenere un prezzo medio ponderato sul volume.

L'adozione del trading algoritmico ha trasformato profondamente i mercati finanziari, migliorando l'efficienza operativa e riducendo i costi di transazione. Tuttavia, questa evoluzione ha introdotto anche sfide significative. Tuttavia, la crescente velocità e autonomia decisionale degli algoritmi solleva anche questioni di responsabilità e trasparenza: gli algoritmi utilizzati nell'HFT possono generare un numero elevatissimo di operazioni in pochissimo tempo, amplificando la volatilità e creando rischi di destabilizzazione del mercato. Un esempio emblematico di tali rischi è stato il Flash Crash del 2010, quando l'interazione simultanea di diversi algoritmi provocò un crollo improvviso e drammatico del mercato, evidenziando la vulnerabilità dei mercati moderni al trading ad alta velocità.

Le autorità di regolamentazione hanno risposto a queste sfide introducendo normative più rigorose per controllare l'uso del trading algoritmico. La direttiva MiFID II, implementata nel 2018, ha stabilito nuovi requisiti per le istituzioni che utilizzano algoritmi di trading, imponendo l'obbligo di monitorare e registrare gli algoritmi, eseguire test di stress regolari e implementare sistemi di controllo come i kill switch, che consentono di disattivare rapidamente gli algoritmi in caso di comportamenti anomali¹². Queste misure mirano a ridurre i rischi associati al trading algoritmico, garantendo al contempo una maggiore trasparenza e stabilità del mercato.

Ciononostante, permangono questioni aperte di natura economica e giuridica. Se da un lato circuit breakers e stress test puntano a contenere la volatilità, essi agiscono soprattutto "a valle" dei fenomeni patologici, senza affrontare in maniera strutturale la mancanza di spiegabilità dei modelli AI più sofisticati, l'eventuale concentrazione tecnologica presso pochi operatori e la tendenza di molti algoritmi a reagire in modo simile a determinati input di mercato. Questo effetto di "omogeneità tecnologica" può accentuare i rischi di flash crash o di vendita collettiva automatica. Inoltre, la complessa catena di responsabilità in caso di malfunzionamenti (dallo sviluppatore al fornitore di infrastruttura, fino all'istituzione finanziaria che adotta l'algoritmo) non è sempre chiarita dalle normative vigenti, generando incertezza legale. Una regolamentazione più proattiva

¹² *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II, 2017, 22*

potrebbe, dunque, prevedere incentivi alla diversificazione algoritmica e strumenti di supervisione in tempo reale, capaci di individuare tempestivamente pattern anomali e prevenire effetti domino su scala sistemica. Parallelamente, servirebbe un confronto internazionale per evitare che disallineamenti tra diverse giurisdizioni consentano arbitraggi regolamentari, minando gli sforzi di stabilità finanziaria a livello globale.

In sintesi, questa transizione, pur migliorando l'efficienza operativa, introduce questioni di responsabilità in caso di malfunzionamento degli algoritmi e rischi di volatilità amplificata. A livello giuridico, emerge il problema di stabilire chi risponda dei danni derivanti da esecuzioni errate o da comportamenti imprevisi degli algoritmi di trading, specialmente quando la logica decisionale è parzialmente opaca.

1.1.3 Machine learning e predizione dei trend di mercato

Il machine learning è una branca dell'intelligenza artificiale (AI) che si occupa di sviluppare sistemi informatici capaci di apprendere dai dati e di migliorare le proprie prestazioni nel tempo, senza che siano esplicitamente programmati. Questa tecnologia è diventata una componente essenziale nell'analisi finanziaria moderna, soprattutto per la predizione dei trend di mercato. Grazie alla sua capacità di elaborare grandi quantità di dati, individuare pattern nascosti e generare previsioni precise, il machine learning ha rivoluzionato il modo in cui le istituzioni finanziarie analizzano i mercati e prendono decisioni. Alla base di queste innovazioni si trovano algoritmi statistici e modelli matematici che consentono ai sistemi di apprendere dalle esperienze passate e di adattarsi dinamicamente a nuove informazioni.

Le applicazioni del machine learning nei mercati finanziari sono molteplici e includono il trading algoritmico, la gestione del rischio e l'ottimizzazione dei portafogli. Una delle caratteristiche principali di questa tecnologia è la capacità di analizzare dati in tempo reale provenienti da fonti eterogenee, come i prezzi di mercato, i volumi di scambio, le notizie finanziarie e persino i dati dei social media. Questa versatilità consente di identificare tendenze di mercato e formulare previsioni sulle future variazioni dei prezzi degli asset¹³. Il machine learning può essere suddiviso in tre categorie principali: apprendimento supervisionato, apprendimento non supervisionato e apprendimento per rinforzo.

¹³ *Financial Stability Board (FSB), AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities, 2022, 15*

Nell'apprendimento supervisionato, l'algoritmo viene addestrato utilizzando un dataset etichettato, in cui ogni esempio è associato a un output desiderato. L'obiettivo è sviluppare un modello capace di fare previsioni accurate su nuovi dati in base agli input forniti. Tra le tecniche più utilizzate in questo ambito figurano la regressione lineare, la regressione logistica e le reti neurali artificiali. Tali metodi risultano molto efficaci nell'individuare pattern complessi nei dati finanziari, pur rimanendo spesso di difficile interpretazione a causa della struttura interna dei modelli.

L'apprendimento non supervisionato, invece, si basa sull'analisi di dati privi di etichette, con l'obiettivo di individuare pattern nascosti o gruppi di dati con caratteristiche simili. Tra le tecniche più comuni si trovano il clustering e l'analisi delle componenti principali (PCA), strumenti spesso impiegati per rilevare anomalie nei mercati o per segmentare i dati in base a caratteristiche condivise¹⁴. Un ulteriore approccio è rappresentato dall'apprendimento per rinforzo, che utilizza un sistema di ricompense e penalità per consentire all'algoritmo di apprendere decisioni ottimali attraverso un processo iterativo di tentativi ed errori. Questa tecnica è particolarmente utile nel trading algoritmico, dove gli algoritmi devono adattarsi ai cambiamenti di mercato e migliorare continuamente le proprie strategie¹⁵.

Una delle applicazioni più rilevanti del machine learning nei mercati finanziari è la predizione dei trend di mercato. Modelli di apprendimento supervisionato, come le reti neurali ricorrenti (RNN) e le long short-term memory (LSTM), si sono dimostrati particolarmente efficaci nell'analisi delle serie temporali finanziarie. Le RNN, infatti, sono progettate per lavorare con dati sequenziali e riescono a "ricordare" informazioni provenienti da osservazioni precedenti, un elemento cruciale per l'analisi di questo tipo di dati. Un esempio pratico dell'uso del machine learning nella predizione dei trend di mercato è rappresentato dagli algoritmi di trading basati su LSTM adottati dagli hedge fund. Questi algoritmi analizzano dati storici relativi ai prezzi degli asset, ai volumi di scambio e agli indicatori tecnici per generare segnali di acquisto o vendita. Grazie alla loro capacità di gestire dati con struttura temporale, gli LSTM garantiscono previsioni più accurate rispetto ai modelli tradizionali, riducendo al minimo il rischio di falsi segnali.

¹⁴ HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002. 32-139

¹⁵ SUTTON, Richard S.; BARTO, Andrew G. *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press, 2018, 1-13

Tecniche di apprendimento non supervisionato, come il clustering k-means, sono utilizzate per identificare pattern comportamentali degli investitori o per segmentare i dati di mercato. Questi strumenti possono individuare gruppi di azioni che tendono a muoversi in sincronia oppure rilevare anomalie nei movimenti di prezzo che potrebbero suggerire manipolazioni del mercato¹⁶. Combinando tecniche supervisionate e non supervisionate, è possibile ottenere una visione più completa e accurata delle dinamiche di mercato.

Il machine learning offre numerosi benefici per i mercati finanziari. La capacità di analizzare grandi volumi di dati e di formulare previsioni precise consente di migliorare le decisioni di investimento, ottimizzare i portafogli e ridurre i rischi associati al trading. Inoltre, l'uso di algoritmi avanzati ha permesso di sviluppare strumenti di gestione del rischio in grado di rilevare segnali di potenziali crisi finanziarie e suggerire misure preventive¹⁷. Tuttavia, questa tecnologia presenta anche alcune limitazioni. La qualità delle previsioni dipende in larga misura dall'accuratezza dei dati di input: dati incompleti possono compromettere l'affidabilità del modello. Inoltre, molti algoritmi di machine learning sono spesso considerati "scatole nere", poiché i loro processi decisionali interni sono difficili da interpretare, sollevando questioni legate alla trasparenza e alla accountability. Per affrontare queste problematiche, sono in fase di sviluppo tecniche di explainable AI (XAI), che consentono di comprendere meglio il funzionamento degli algoritmi e di garantire che le loro decisioni siano giustificabili e affidabili¹⁸. Tuttavia, la rapidità con cui gli algoritmi di machine learning vengono sviluppati e la loro potenziale opacità pongono seri interrogativi di responsabilità e supervisione, specialmente se i modelli evolvono in modo non previsto. Inoltre, la forte dipendenza dai dati può tradursi in rischi sistemici qualora tali algoritmi elaborino informazioni parziali o distorte, condizionando la stabilità dei mercati.

In conclusione, il machine learning ha trasformato il modo in cui le istituzioni finanziarie analizzano i mercati e prendono decisioni di investimento. Sebbene questa tecnologia offra enormi opportunità per migliorare il trading e la gestione del rischio, richiede un'attenta supervisione e l'adozione di misure di controllo per affrontare i limiti e i rischi

¹⁶ BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop*. *Sydney Law Review*, The, 2021, 43.1: 43-81

¹⁷ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI*, 2017, 22

¹⁸ Financial Stability Board (FSB), *Explainable AI in Financial Services*, 2022, 12

associati al suo utilizzo. Solo con una gestione appropriata sarà possibile sfruttare appieno i vantaggi di questa tecnologia avanzata, minimizzando le criticità.

L'impiego di reti neurali e tecniche di machine learning rende più complesso tracciare la catena decisionale, ponendo un problema di trasparenza algoritmica e di compatibilità con gli obblighi di disclosure previsti dalla MiFID II. In particolare, occorre chiarire se l'investitore o l'ente di vigilanza possano accedere a una spiegazione comprensibile delle decisioni prese dal modello.

1.1.4 High-Frequency Trading (HFT): impatti e sviluppi

Il trading ad alta frequenza (High-Frequency Trading, HFT) rappresenta una delle applicazioni più avanzate dell'intelligenza artificiale (AI) e del trading algoritmico nei mercati finanziari. Questa tecnologia si basa su algoritmi sofisticati che eseguono milioni di transazioni al secondo, sfruttando discrepanze temporanee nei prezzi degli asset e riducendo al minimo la latenza, ovvero il ritardo tra l'emissione di un ordine e la sua esecuzione. L'HFT ha trasformato profondamente i mercati globali, portando significativi vantaggi ma anche introducendo nuove sfide legate alla volatilità, alla trasparenza e al rischio sistemico.

Una delle caratteristiche distintive dell'HFT è la sua velocità estrema. Gli algoritmi HFT sono progettati per individuare opportunità di trading che si presentano in finestre temporali di millisecondi o microsecondi¹⁹. Per raggiungere tali livelli di rapidità, le istituzioni finanziarie che utilizzano questa tecnologia investono in infrastrutture tecnologiche avanzate, come data center situati in prossimità delle borse valori (proximity hosting) e collegamenti a bassa latenza basati su fibra ottica o onde radio. Oltre alla velocità, l'HFT si contraddistingue per l'alto volume di transazioni: gli algoritmi possono generare centinaia di migliaia di ordini al secondo, contribuendo in modo significativo ai volumi di trading globali. Nei mercati principali, come il New York Stock Exchange (NYSE), si stima che l'HFT rappresenti oltre il 50% delle operazioni quotidiane. Questo elevato volume di scambi non solo aumenta la liquidità del mercato, ma riduce anche lo spread bid-ask (la differenza tra il prezzo di acquisto e quello di vendita), migliorando l'efficienza operativa complessiva.

¹⁹ HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002, 32-139

Tra i principali benefici offerti dall'HFT spicca proprio l'aumento della liquidità. La maggiore disponibilità di asset facilita gli scambi, consentendo agli investitori di acquistare e vendere in modo più rapido ed efficiente. L'HFT contribuisce anche al miglioramento del processo di price discovery, ovvero il meccanismo attraverso cui i prezzi degli asset vengono stabiliti in base alla domanda e all'offerta²⁰. Gli algoritmi analizzano costantemente i dati di mercato e adeguano i prezzi in tempo reale, contribuendo a ridurre le inefficienze e a rendere i mercati più competitivi. Inoltre, operando con margini di profitto estremamente ridotti, gli algoritmi HFT favoriscono una riduzione dei costi di transazione per gli investitori. La competizione tra algoritmi porta infatti a spread più bassi, aumentando l'accessibilità del mercato²¹.

Tuttavia, l'HFT non è privo di criticità. Una delle principali preoccupazioni è legata alla sua dipendenza dalla velocità, che può amplificare la volatilità durante situazioni di stress di mercato. Il caso del Flash Crash del 6 maggio 2010 è emblematico in questo senso: l'interazione simultanea di diversi algoritmi HFT causò un crollo improvviso e temporaneo dell'indice Dow Jones Industrial Average, evidenziando il potenziale destabilizzante di questa tecnologia. Un altro problema è rappresentato dalla mancanza di trasparenza. Gli algoritmi HFT operano spesso come "scatole nere", rendendo difficile per gli operatori umani e le autorità di regolamentazione comprendere i processi decisionali interni. Questa opacità aumenta il rischio di pratiche potenzialmente dannose, come il quote stuffing, una strategia che consiste nel generare un elevato numero di ordini non eseguibili per rallentare i sistemi degli altri operatori. Inoltre, l'HFT può creare disparità competitive tra gli operatori di mercato. Le istituzioni che possono permettersi di investire in infrastrutture tecnologiche avanzate hanno un vantaggio significativo rispetto ai trader al dettaglio o alle istituzioni più piccole, sollevando questioni di equità e accessibilità.

Per mitigare i rischi associati all'HFT, le autorità di regolamentazione hanno introdotto diverse misure volte a garantirne un utilizzo responsabile. La direttiva MiFID II, impone alle società che utilizzano algoritmi HFT di monitorare e registrare attentamente le loro attività. Tra le misure principali figurano i kill switch, che consentono di disattivare

²⁰ BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop*. *Sydney Law Review*, The, 2021, 43.1: 43-81

²¹ Financial Stability Board (FSB), *Global Standards for AI in Financial Services: Recommendations for Harmonization*, 2022, 15

rapidamente gli algoritmi in caso di malfunzionamento, e i requisiti per eseguire test di stress periodici, necessari a valutare il comportamento degli algoritmi in condizioni di mercato estreme²². Un'altra misura importante è rappresentata dai circuit breakers, meccanismi progettati per interrompere temporaneamente il trading in caso di movimenti di prezzo estremi, prevenendo reazioni a catena e dando agli operatori umani il tempo di ristabilire l'ordine. Inoltre, normative come l'AI Act, puntano a migliorare la trasparenza e la responsabilità degli algoritmi di AI, compresi quelli utilizzati nell'HFT, imponendo requisiti per la spiegabilità e l'auditabilità degli algoritmi²³.

Nel contesto HFT, l'estrema rapidità d'esecuzione può esasperare movimenti di prezzo innescando flash crash. Da un punto di vista normativo, si pone l'esigenza di definire limiti dinamici alla volatilità e meccanismi di monitoraggio in tempo reale, per impedire che le strategie algoritmiche producano effetti a catena su scala sistemica.

In conclusione, il trading ad alta frequenza ha portato cambiamenti significativi ai mercati finanziari, aumentando la liquidità, migliorando l'efficienza e riducendo i costi di transazione. Tuttavia, ha introdotto anche nuove complessità e rischi che richiedono una regolamentazione attenta e un monitoraggio continuo. Iniziative normative come la MiFID II e l'AI Act rappresentano passi fondamentali per garantire che l'HFT possa continuare a offrire benefici, minimizzando al contempo i rischi per la stabilità del sistema finanziario e promuovendo mercati più equi e trasparenti. È inoltre importante comprendere che oltre a disciplinare le società europee, la MiFID II ha prodotto effetti di rimbalzo anche nei confronti di operatori extra-UE che desiderino accedere ai mercati regolamentati dell'Unione. Tali soggetti, infatti, sono tenuti ad adeguare i propri algoritmi alle prescrizioni sulla trasparenza e sul monitoraggio del rischio, in modo da non incorrere in restrizioni o nell'esclusione dal trading sulle Borse europee. Questo fenomeno di "spillover regolamentare" contribuisce a una progressiva convergenza degli standard globali, pur senza eliminare del tutto le differenze normative tra le diverse giurisdizioni.

²² European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II: High-Frequency Trading Guidelines*, 2017, 12

²³ European Commission, *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act)*, 2021, 32

1.1.5 Robo-advisor: origini, evoluzione e impatto sui piccoli investitori

Negli ultimi decenni, l'intelligenza artificiale ha introdotto innovazioni significative anche nel settore della consulenza finanziaria, trasformando profondamente il modo in cui gli investimenti vengono gestiti. Una delle innovazioni più rilevanti è rappresentata dai robo-advisor, piattaforme digitali che utilizzano algoritmi di AI per fornire consulenza finanziaria automatizzata. Questi strumenti hanno rivoluzionato la gestione degli investimenti, rendendo i servizi finanziari accessibili a un pubblico più ampio, dai piccoli investitori ai clienti istituzionali.

I primi robo-advisor sono comparsi negli Stati Uniti all'inizio degli anni 2010, grazie a società come Betterment e Wealthfront. Queste piattaforme sono state progettate per automatizzare la gestione degli investimenti, offrendo soluzioni personalizzate basate sui profili di rischio e sugli obiettivi finanziari degli utenti. Attraverso semplici questionari online, i robo-advisor raccolgono informazioni sulle preferenze dei clienti, come la tolleranza al rischio e l'orizzonte temporale degli investimenti. Sulla base di questi dati, costruiscono portafogli diversificati, prevalentemente composti da fondi indicizzati ed ETF (Exchange-Traded Funds)²⁴.

La crescente popolarità di queste piattaforme è stata favorita da diversi fattori. In primo luogo, i robo-advisor offrono costi significativamente inferiori rispetto alla consulenza finanziaria tradizionale. Mentre i consulenti umani applicano commissioni annuali comprese tra l'1% e il 2% del valore del portafoglio, i robo-advisor generalmente applicano costi che variano tra lo 0,25% e lo 0,50%, rendendoli una soluzione particolarmente interessante per gli investitori con portafogli di dimensioni ridotte. Inoltre, hanno democratizzato l'accesso ai servizi di gestione patrimoniale. Molte di queste piattaforme richiedono investimenti minimi molto bassi o addirittura nulli, aprendo il mercato degli investimenti a categorie di persone che in passato ne erano escluse, come i giovani investitori e chi non poteva permettersi i costi elevati della consulenza tradizionale.

Dal punto di vista tecnologico, i robo-advisor utilizzano una combinazione di algoritmi di machine learning, analisi dei dati e modelli statistici per ottimizzare la gestione del portafoglio. Una delle metodologie più comuni adottate è l'ottimizzazione del portafoglio

²⁴ PHOON, Kok Fai; KOH, Cher Chiew Francis. *Robo-advisors and wealth management*. *Journal of Alternative Investments*, 2018, 20.3: 79.

basata sulla teoria moderna del portafoglio (Modern Portfolio Theory, MPT) di Harry Markowitz. Questo approccio consente di costruire portafogli diversificati che bilanciano rischio e rendimento, migliorando l'efficienza complessiva degli investimenti²⁵. Oltre alla gestione automatizzata, molte piattaforme offrono funzionalità avanzate, come il ribilanciamento automatico del portafoglio e l'ottimizzazione fiscale. Il ribilanciamento garantisce che la composizione del portafoglio rimanga coerente con gli obiettivi dell'investitore, correggendo eventuali squilibri dovuti alle variazioni di mercato. L'ottimizzazione fiscale, invece, utilizza tecniche come il tax-loss harvesting, che permette di ridurre il carico fiscale compensando i guadagni di capitale con le perdite registrate²⁶.

Negli ultimi anni, alcune piattaforme hanno integrato tecnologie di natural language processing (NLP) per migliorare l'interazione con gli utenti. Chatbot basati su AI sono in grado di rispondere a domande sugli investimenti in tempo reale, fornendo un supporto personalizzato e immediato²⁷.

L'introduzione dei robo-advisor ha avuto un impatto particolarmente significativo sui piccoli investitori, offrendo loro opportunità che in passato erano riservate esclusivamente agli investitori istituzionali o ai clienti con patrimoni di alto valore. Questi strumenti hanno abbassato le barriere d'ingresso nel mercato finanziario, consentendo a un numero crescente di persone di iniziare a investire e costruire ricchezza nel tempo. Inoltre, le piattaforme di robo-advisory promuovono una maggiore alfabetizzazione finanziaria. Attraverso interfacce intuitive e strumenti educativi, aiutano gli utenti a comprendere i principi fondamentali della gestione patrimoniale, incoraggiandoli a prendere decisioni più consapevoli. Per molti giovani investitori, i robo-advisor rappresentano spesso un primo passo verso la costruzione di una strategia finanziaria a lungo termine.

Tuttavia, non mancano alcune limitazioni. Una delle critiche principali riguarda la mancanza di personalizzazione profonda. Sebbene i robo-advisor siano in grado di fornire soluzioni basate su profili di rischio standardizzati, non possono offrire lo stesso livello

²⁵ MARKOWITZ, Harry M.; TODD, G. Peter. *Mean-variance analysis in portfolio choice and capital markets*. John Wiley & Sons, 2000.

²⁶ PHOON, Kok Fai; KOH, Cher Chiew Francis. *Robo-advisors and wealth management*. *Journal of Alternative Investments*, 2018, 20.3: 79.

²⁷ BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop*. *Sydney Law Review*, The, 2021, 43.1: 43-81

di consulenza specifica e contestualizzata che un consulente umano può garantire. Inoltre, in situazioni di alta volatilità di mercato, alcuni investitori potrebbero preferire un'interazione umana per ricevere rassicurazioni o consigli strategici. Un'altra sfida riguarda la trasparenza degli algoritmi. Poiché i processi decisionali dei robo-advisor sono spesso basati su modelli complessi, gli utenti possono avere difficoltà a comprendere le scelte d'investimento. Questo aspetto può sollevare preoccupazioni, soprattutto in un contesto di crescente attenzione alla responsabilità e alla regolamentazione delle tecnologie AI.

Guardando al futuro, si prevede che i robo-advisor diventeranno sempre più sofisticati, integrando funzionalità avanzate per migliorare ulteriormente l'esperienza degli utenti. Tecniche come l'intelligenza artificiale generativa e l'apprendimento per rinforzo potrebbero consentire una maggiore personalizzazione, offrendo consigli di investimento ancora più mirati e adattivi²⁸. Parallelamente, si prevede un aumento della regolamentazione per garantire che queste piattaforme operino in modo trasparente ed etico. Iniziative come l'AI Act dell'Unione Europea puntano a proteggere i consumatori e a migliorare la responsabilità degli algoritmi, imponendo requisiti più stringenti sulla spiegabilità e sull'auditabilità delle decisioni prese dalle tecnologie AI²⁹.

L'ascesa dei robo-advisor ha reso la consulenza finanziaria accessibile a una platea più ampia di investitori, ma ha anche introdotto nuove problematiche. La mancanza di trasparenza sui criteri utilizzati dagli algoritmi per bilanciare portafogli e il rischio di un'eccessiva standardizzazione delle strategie rappresentano criticità significative. Inoltre, l'assenza di una supervisione diretta da parte di consulenti umani può esporre gli investitori a bias algoritmici non intenzionali. Le normative attuali non prevedono requisiti specifici per i robo-advisor, ma la loro crescente diffusione richiede un quadro regolatorio che includa standard di trasparenza, audit algoritmici obbligatori e limiti alla concentrazione degli investimenti suggeriti dagli algoritmi.

²⁸ *Financial Stability Board (FSB), AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities, 2022, 18*

²⁹ *European Commission, Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act), 2021, 40*

1.2 Applicazioni dell'AI nei mercati finanziari

Il crescente utilizzo dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari ha dato origine a numerose applicazioni pratiche, che hanno profondamente trasformato le modalità operative degli intermediari e la gestione del rischio. Tra i principali ambiti spiccano il trading algoritmico, l'ottimizzazione di portafoglio e le soluzioni di robo-advisory, in cui l'AI consente di migliorare l'analisi dei dati e l'efficienza delle decisioni.

1.2.1 Applicazioni dell'AI nel trading algoritmico

L'intelligenza artificiale ha rivoluzionato il mondo del trading algoritmico, offrendo alle istituzioni finanziarie strumenti sempre più sofisticati per ottimizzare le operazioni di mercato. Grazie alla capacità di analizzare enormi quantità di dati in tempo reale e di individuare pattern nascosti, l'AI ha introdotto vantaggi significativi rispetto ai metodi tradizionali, migliorando la velocità, l'efficienza e l'accuratezza delle decisioni di trading³⁰.

Una delle applicazioni più importanti dell'AI nel trading algoritmico è l'analisi predittiva, che utilizza algoritmi di machine learning per anticipare i movimenti futuri dei prezzi basandosi su dati storici e attuali. Modelli avanzati come le reti neurali ricorrenti (RNN) e le long short-term memory (LSTM) sono particolarmente efficaci nell'analisi delle serie temporali finanziarie, permettendo di identificare segnali di mercato che possono suggerire opportunità di acquisto o vendita. Questi algoritmi non si limitano a individuare tendenze, ma si adattano dinamicamente ai cambiamenti di mercato, affinando continuamente le loro previsioni. Ad esempio, nel momentum trading, una strategia che sfrutta i trend di prezzo a breve termine, gli algoritmi basati su AI analizzano milioni di dati al secondo—dai prezzi delle azioni ai volumi di scambio, fino alle notizie di mercato—per determinare se un trend sia destinato a continuare o a invertirsi³¹. Questa capacità di reagire in tempo reale è cruciale nei mercati ad alta volatilità, dove decisioni rapide possono fare la differenza.

³⁰ ÖZER, Mahmut; PERC, Matjaz; SUNA, H. Eren. *Artificial intelligence bias and the amplification of inequalities in the labor market*. *Journal of Economy Culture and Society*, 2024, 69: 159-168.

³¹ GOODFELLOW, Ian. *Deep learning*. 2016, 172-175

Oltre ai dati finanziari tradizionali, l'AI consente di analizzare anche dati non strutturati, come notizie di mercato, post sui social media o rapporti aziendali. Utilizzando tecniche di natural language processing (NLP), gli algoritmi possono interpretare il sentiment degli investitori e prevedere l'impatto di eventi specifici sui prezzi di mercato. Ad esempio, un improvviso aumento delle menzioni di un'azienda su Twitter può segnalare un interesse crescente, spingendo gli algoritmi ad adattare le strategie di trading. Questa capacità si è rivelata particolarmente utile in momenti di grande incertezza, come durante la pandemia di COVID-19, quando gli algoritmi basati su NLP hanno permesso di identificare rapidamente notizie rilevanti sui settori più colpiti, consentendo alle istituzioni finanziarie di reagire con tempestività.

Nel trading ad alta frequenza (HFT), l'AI gioca un ruolo fondamentale, dove la velocità rappresenta il principale vantaggio competitivo. Gli algoritmi HFT basati su AI analizzano i dati di mercato in microsecondi, individuando opportunità di arbitraggio o discrepanze di prezzo tra diversi mercati o asset. Questa rapidità permette di generare profitti consistenti anche sfruttando minime variazioni di prezzo³². Ad esempio, un algoritmo potrebbe identificare una discrepanza temporanea nei prezzi di un'azione tra il mercato di New York e quello di Londra, acquistando l'azione al prezzo più basso e vendendola a quello più alto nel giro di frazioni di secondo. Queste operazioni richiedono tecnologie avanzate di AI e infrastrutture a bassa latenza, impossibili da replicare manualmente³³.

L'AI è utilizzata anche per la gestione del rischio, un aspetto cruciale del trading algoritmico. Gli algoritmi possono analizzare le correlazioni tra diversi asset, individuare potenziali esposizioni a rischi di mercato e suggerire modifiche al portafoglio per ridurre la volatilità complessiva. Utilizzando tecniche di apprendimento non supervisionato, è possibile rilevare pattern anomali nei dati di mercato, come improvvisi aumenti di volatilità, e avvisare i gestori di investimenti per adottare misure preventive³⁴. Allo stesso tempo, l'AI ottimizza la composizione dei portafogli, bilanciando rischio e rendimento in base agli obiettivi finanziari e alla tolleranza al rischio degli investitori. Modelli di

³² HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002.

³³ ALDRIDGE, Irene. *High-frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. John Wiley & Sons, 2013.

³⁴ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI in Financial Markets*, 2017, 20

ottimizzazione multi-obiettivo consentono di identificare combinazioni di asset che massimizzano il ritorno atteso per un livello di rischio accettabile.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'uso dell'AI nel trading algoritmico non è esente da sfide. Una delle principali limitazioni è rappresentata dalla qualità dei dati di input, che devono essere accurati e rappresentativi per garantire previsioni affidabili. Dati rumorosi o incompleti possono infatti portare a decisioni errate e, di conseguenza, a perdite finanziarie. Un'altra criticità riguarda la trasparenza degli algoritmi. Molti modelli di AI, in particolare quelli basati su reti neurali profonde, sono spesso definiti “scatole nere”, poiché il loro processo decisionale interno risulta difficile da interpretare. Questo pone problemi di accountability, specialmente in situazioni in cui errori nelle decisioni possono avere conseguenze significative³⁵. Per affrontare tali problematiche, stanno emergendo tecniche di explainable AI (XAI), che mirano a rendere più comprensibili i processi decisionali degli algoritmi, migliorando la trasparenza e la fiducia degli utenti.

In conclusione, l'intelligenza artificiale ha trasformato il trading algoritmico, fornendo strumenti avanzati per analizzare i dati, prevedere i trend di mercato e ottimizzare le strategie di investimento. Tuttavia, il suo utilizzo richiede una gestione attenta e un quadro normativo adeguato per mitigare i rischi associati. Nonostante le sfide, il potenziale dell'AI in questo settore rimane straordinario, e il continuo sviluppo di tecnologie avanzate promette di ridefinire ulteriormente il panorama finanziario globale.

1.2.2 AI nella gestione del rischio finanziario

La gestione del rischio rappresenta una componente essenziale del settore finanziario, poiché garantisce stabilità e sicurezza in un contesto caratterizzato da incertezze e fluttuazioni. Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (AI) ha rivoluzionato questo ambito, offrendo strumenti avanzati che permettono di identificare, analizzare e mitigare i rischi in modo più efficace rispetto ai metodi tradizionali. Grazie alla capacità di elaborare enormi quantità di dati in tempo reale e di individuare pattern nascosti, l'AI consente alle istituzioni finanziarie di anticipare potenziali crisi, ridurre le perdite e ottimizzare le decisioni strategiche.

³⁵ *Financial Stability Board (FSB), Explainable AI in Financial Services, 2022, 18*

L'AI si dimostra particolarmente efficace nell'identificazione dei rischi finanziari attraverso tecniche di machine learning e apprendimento non supervisionato. Questi algoritmi possono analizzare grandi volumi di dati—tra cui transazioni finanziarie, report aziendali e dati di mercato—per rilevare anomalie o segnali di rischio spesso impercettibili con le tecniche tradizionali. Ad esempio, modelli di clustering come il k-means permettono di individuare gruppi di aziende o settori con caratteristiche simili, evidenziando eventuali esposizioni a rischi comuni³⁶. Una delle applicazioni più rilevanti in questo contesto è la rilevazione di attività fraudolente: gli algoritmi possono analizzare i modelli di comportamento nelle transazioni per identificare anomalie indicative di frodi. Ad esempio, un improvviso aumento del volume di operazioni su un conto bancario può attivare un allarme automatico, suggerendo la necessità di un'indagine approfondita. Questi sistemi, grazie alla loro capacità di apprendimento continuo, migliorano costantemente l'efficacia, adattandosi a schemi di frode in evoluzione.

Nel settore del credito, l'AI offre strumenti avanzati per valutare il rischio associato a individui o aziende, migliorando i tradizionali modelli di credit scoring. Gli algoritmi di machine learning analizzano un'ampia gamma di dati, come le informazioni demografiche, la cronologia creditizia e i comportamenti di spesa, per generare punteggi di rischio più accurati. A differenza dei metodi tradizionali, che si basano su un numero limitato di variabili, l'AI è in grado di integrare dati non strutturati, come l'attività sui social media o i termini utilizzati nelle comunicazioni aziendali. Ad esempio, l'analisi dei report di una società con tecniche di natural language processing (NLP) potrebbe evidenziare segnali di difficoltà finanziaria, come la frequente menzione di termini come "ristrutturazione" o "taglio dei costi", permettendo agli istituti finanziari di adottare misure preventive.

Un altro ambito in cui l'AI si distingue è l'ottimizzazione dei portafogli, dove gli algoritmi analizzano i dati di mercato e le correlazioni tra asset per costruire portafogli che bilanciano rischio e rendimento. La teoria moderna del portafoglio (Modern Portfolio Theory, MPT) di Harry Markowitz viene spesso arricchita con modelli di machine learning per migliorare la diversificazione e minimizzare i rischi di mercato³⁷. L'AI è

³⁶ HARRIS, Larry. *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. Oxford university press, 2002, 32-139

³⁷ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI in Financial Markets*, 2017, 25

anche utilizzata per simulare scenari di crisi attraverso tecniche come la simulazione Monte Carlo, che genera migliaia di scenari ipotetici basati su dati storici. Questi strumenti consentono di testare la resilienza dei portafogli in condizioni estreme e di identificare eventuali punti deboli.

Una delle applicazioni più promettenti dell'AI nella gestione del rischio è la previsione delle crisi finanziarie. Algoritmi di deep learning, come le reti neurali convoluzionali (CNN), possono analizzare dati complessi—come flussi di capitale e tassi di interesse globali—per individuare segnali precoci di possibili discontinuità di mercato³⁸. Ad esempio, studi hanno dimostrato che l'AI avrebbe potuto identificare pattern anomali nei dati precedenti alla crisi finanziaria del 2008, segnalando il rischio di un crollo sistemico³⁹. Questa capacità predittiva rappresenta un'importante opportunità per rafforzare la stabilità del sistema finanziario.

Nonostante i vantaggi, l'applicazione dell'AI nella gestione del rischio non è priva di sfide. La qualità dei dati rappresenta un problema cruciale: algoritmi di AI richiedono dati accurati e completi per funzionare correttamente, ma i dataset finanziari possono essere affetti da errori o bias, influenzando negativamente le previsioni⁴⁰. Inoltre, l'integrazione dell'AI nelle infrastrutture digitali globali espone questi sistemi a rischi di cybersecurity. Attacchi informatici mirati, come la manipolazione dei dati di input, potrebbero indurre un algoritmo a prendere decisioni errate, con conseguenze potenzialmente gravi per l'intero sistema finanziario.

L'intelligenza artificiale sta trasformando la gestione del rischio finanziario, offrendo strumenti innovativi per identificare, valutare e mitigare i rischi con maggiore precisione ed efficienza. Tuttavia, il successo di queste tecnologie dipende dalla qualità dei dati, dalla trasparenza degli algoritmi e dalla capacità di affrontare le sfide legate alla cybersecurity. Con il continuo progresso delle tecnologie di AI e una crescente attenzione alla regolamentazione, il loro ruolo nella gestione del rischio è destinato a diventare sempre più centrale, contribuendo a rendere il sistema finanziario globale più resiliente e stabile.

³⁸ MARKOWITZ, *Portfolio Selection*, in *The Journal of Finance*, 7(1), 1952, 77-91

³⁹ HOCHREITER, S. *Long Short-term Memory*. Neural Computation MIT-Press, 1997.

⁴⁰ Financial Stability Board (FSB), *AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities*, 2022, 24

1.2.3 AI nella consulenza finanziaria

La consulenza finanziaria è uno dei settori in cui l'intelligenza artificiale (AI) ha introdotto trasformazioni significative, ridefinendo il modo in cui gli investitori interagiscono con i mercati e prendono decisioni di investimento. Attraverso tecnologie avanzate come il machine learning, l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP) e l'analisi predittiva, l'AI fornisce strumenti che migliorano la personalizzazione dei servizi, riducono i costi e aumentano l'efficienza, aprendo nuove possibilità per una gestione finanziaria più accessibile e dinamica.

Tra le applicazioni più note dell'AI in questo settore spiccano i robo-advisor, piattaforme digitali che utilizzano algoritmi per offrire consulenza finanziaria automatizzata. Questi strumenti sono progettati per creare portafogli di investimento diversificati, adattati al profilo di rischio e agli obiettivi degli utenti. Grazie alla loro semplicità d'uso, ai costi ridotti e all'accessibilità, i robo-advisor hanno democratizzato l'accesso alla consulenza finanziaria, rendendola disponibile anche a piccoli investitori con risorse limitate⁴¹. Un esempio emblematico è Betterment, uno dei primi robo-advisor lanciati negli Stati Uniti, che utilizza algoritmi avanzati per monitorare costantemente i portafogli degli utenti, suggerendo modifiche basate sulle condizioni di mercato. Funzionalità come il ribilanciamento automatico e l'ottimizzazione fiscale aiutano gli investitori a massimizzare i rendimenti netti, rendendo questi strumenti particolarmente apprezzati.

Oltre alla gestione automatizzata degli investimenti, l'AI sta rivoluzionando la personalizzazione dei servizi finanziari. Tecnologie come il NLP consentono alle piattaforme di analizzare i dati degli utenti, comprendere le loro preferenze e offrire suggerimenti personalizzati in tempo reale. Ad esempio, chatbot basati su AI, come Erica di Bank of America, sono in grado di rispondere a domande sugli investimenti, fornire aggiornamenti sui mercati e guidare gli utenti attraverso le varie opzioni disponibili.

Un altro aspetto fondamentale dell'AI nella consulenza finanziaria è la capacità di anticipare e mitigare i rischi per gli investitori. Gli algoritmi possono analizzare dati complessi per individuare segnali di rischio, come esposizioni eccessive a settori specifici o asset particolarmente volatili. In questo modo, le piattaforme sono in grado di suggerire misure per diversificare i portafogli e ridurre i rischi, offrendo un supporto

⁴¹ PHOON, Kok Fai; KOH, Cher Chiew Francis. *Robo-advisors and wealth management*. *Journal of Alternative Investments*, 2018, 20.3: 79.

particolarmente prezioso durante periodi di turbolenza economica⁴². Inoltre, attraverso modelli predittivi, l'AI permette ai consulenti di simulare l'impatto di eventi macroeconomici, come un aumento dei tassi di interesse o una recessione, e di fornire raccomandazioni personalizzate per proteggere gli investimenti dei clienti⁴³.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'applicazione dell'AI nella consulenza finanziaria non è esente da limitazioni. Uno dei principali problemi è la mancanza di empatia e intuizione, caratteristiche fondamentali per comprendere le emozioni e le preoccupazioni degli investitori, che spesso influenzano le loro decisioni finanziarie. Per questo motivo, i robo-advisor possono risultare meno adatti per clienti con esigenze complesse o che richiedono un supporto umano. Inoltre, si aprono interrogativi sotto il profilo normativo, che riguardano principalmente come garantire la responsabilità (*liability*) dell'algoritmo in caso di errori di consulenza, e in quale misura i fornitori di robo-advisor debbano conformarsi a requisiti di adeguatezza, trasparenza e supervisione, generalmente prescritti dalle autorità finanziarie⁴⁴.

Un'altra sfida riguarda la trasparenza degli algoritmi. Molti utenti non comprendono appieno come funzionano i processi decisionali delle piattaforme, il che può ridurre la fiducia nei confronti delle soluzioni automatizzate. Questa criticità ha spinto le istituzioni finanziarie a investire in tecniche di explainable AI (XAI), che mirano a rendere più comprensibili e giustificabili le decisioni prese dagli algoritmi⁴⁵.

Infine, l'uso dell'AI in questo settore presenta vulnerabilità sul fronte della sicurezza informatica. Attacchi mirati potrebbero compromettere dati sensibili degli utenti o manipolare gli algoritmi, influenzando le decisioni di investimento e causando potenziali danni sia per i clienti che per le istituzioni finanziarie.

Guardando al futuro, l'AI nella consulenza finanziaria è destinata a diventare ancora più sofisticata. Tecnologie avanzate, come l'intelligenza artificiale generativa e i modelli di apprendimento per rinforzo, potrebbero migliorare ulteriormente la personalizzazione e l'efficienza dei servizi offerti dai robo-advisor. Inoltre, con l'introduzione di normative più rigorose, come l'AI Act promosso nell'Unione Europea, è probabile che il settore

⁴² Financial Stability Board (FSB), *AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities*, 2022, 22

⁴³ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI in Financial Markets*, 2017, 28

⁴⁴ FEIN, Melanie L. *Robo-Advisors: A Closer Look*. Social Science Electronic Publishing, 2015.

⁴⁵ PHOON, Kok Fai; KOH, Cher Chiew Francis. *Robo-advisors and wealth management*. *Journal of Alternative Investments*, 2018, 20.3: 85.

diventi più trasparente e sicuro, rafforzando la fiducia degli utenti e rendendo queste tecnologie sempre più integrate nelle pratiche finanziarie quotidiane⁴⁶.

Dal punto di vista giuridico, l'adozione massiccia di AI nella consulenza finanziaria evidenzia il problema della competenza dell'autorità di vigilanza: in alcuni ordinamenti, le piattaforme di robo-advisory devono ottenere licenze specifiche, sottostare a regole di condotta e fornire disclosure chiare sulla natura automatizzata dei consigli⁴⁷. Inoltre, l'interazione tra AI Act e normative finanziarie richiede un coordinamento che eviti sovrapposizioni e garantisca la tutela degli investitori, soprattutto in tema di responsabilità per eventuali malfunzionamenti o bias algoritmici. Resta fondamentale, pertanto, definire standard che concilino la spinta all'innovazione con la protezione degli utenti e la stabilità dei mercati.

In sintesi, l'intelligenza artificiale sta trasformando il panorama della consulenza finanziaria, rendendo i servizi più accessibili, personalizzati ed efficienti. Sebbene permangano alcune sfide, i progressi tecnologici e l'attenzione crescente alla regolamentazione lasciano intravedere un futuro in cui l'AI giocherà un ruolo sempre più centrale nel supportare gli investitori e nel migliorare l'efficienza del sistema finanziario globale.

1.3 Quadro normativo dell'AI nei mercati finanziari

La regolamentazione dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari rappresenta una delle sfide più complesse per le autorità globali. Con l'obiettivo di bilanciare innovazione e sicurezza, sono state introdotte normative specifiche per mitigare i rischi legati all'uso dell'AI. Analizzeremo ora le principali direttive e regolamenti, iniziando con l'impatto della MiFID II sull'uso degli algoritmi nei mercati.

Il quadro normativo europeo, rappresentato dalla MiFID II, ha introdotto misure significative per regolare il trading algoritmico e promuovere la trasparenza nei mercati finanziari. Tuttavia, le normative esistenti mostrano alcune lacune, in particolare per quanto riguarda i rischi emergenti legati all'adozione dell'AI. L'AI Act, se implementato

⁴⁶ European Commission, *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act)*, 2021, 40

⁴⁷ REINERS, Lee. *Regulation of robo-advisory services*. In: *FinTech*. Edward Elgar Publishing, 2024, 523-552.

correttamente, potrebbe colmare queste lacune, ma la sua applicazione sarà efficace solo se accompagnata da una cooperazione internazionale. La frammentazione normativa tra Europa, Stati Uniti e Asia rischia infatti di creare arbitraggi regolatori, incentivando gli operatori a trasferire le loro attività in giurisdizioni meno restrittive.

1.3.1 MiFID II: misure e requisiti per l'uso di algoritmi

La Direttiva MiFID II (Markets in Financial Instruments Directive II) è stata introdotta per rafforzare la trasparenza e la sicurezza dei mercati finanziari nell'Unione Europea, rispondendo all'uso crescente di algoritmi e tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale (AI). Questa normativa mira a ridurre i rischi sistemici e a migliorare la stabilità dei mercati, regolando in modo specifico il trading algoritmico e il trading ad alta frequenza (HFT)⁴⁸.

Uno degli elementi chiave della MiFID II è la richiesta di una completa trasparenza operativa. Le istituzioni finanziarie che utilizzano algoritmi di trading devono mantenere una documentazione dettagliata di tutte le operazioni effettuate. Questo include informazioni sulle decisioni prese dagli algoritmi, i parametri utilizzati per configurare le strategie di trading e i dati di input utilizzati, come prezzi di mercato, volumi di scambio e altre variabili⁴⁹. Inoltre, le istituzioni devono fornire i risultati dei test di stress condotti regolarmente per valutare la resilienza degli algoritmi⁵⁰. Le autorità di regolamentazione, come l'European Securities and Markets Authority (ESMA), possono accedere a queste informazioni per monitorare e valutare l'impatto delle attività algoritmiche sui mercati. Per garantire la sicurezza e la resilienza degli algoritmi, la MiFID II stabilisce misure specifiche che obbligano le società finanziarie a condurre test di stress regolari. Questi test simulano scenari di mercato estremi per verificare come gli algoritmi reagiscono in condizioni di elevata volatilità o scarsa liquidità⁵¹. L'obiettivo è identificare vulnerabilità e assicurarsi che gli algoritmi non amplifichino i rischi sistemici. Viene inoltre richiesto

⁴⁸ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Key Changes in Financial Market Regulation, 2017, 5*

⁴⁹ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Key Changes in Financial Market Regulation, 2017, 8*

⁵⁰ *HARRIS, Larry. Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners. Oxford university press, 2002, 32-139*

⁵¹ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Algorithmic Trading Guidelines, 2017, 15*

l'uso di strumenti di controllo interno, come i kill switch, che consentono di disattivare immediatamente gli algoritmi in caso di comportamento anomalo. Nel contesto dell'HFT, tali strumenti sono fondamentali per prevenire pratiche manipolative come il quote stuffing, in cui gli algoritmi generano un numero elevato di ordini non eseguibili per influenzare i prezzi di mercato. Oltre a ciò, le prestazioni degli algoritmi devono essere monitorate in tempo reale per individuare eventuali malfunzionamenti o deviazioni dai parametri previsti.

La MiFID II, in particolare l'art. 17 (Direttiva 2014/65/UE), introduce anche restrizioni mirate per il trading ad alta frequenza, una modalità di trading che si distingue per l'elevata velocità con cui vengono eseguite le operazioni. Tra le principali misure, vi è l'obbligo per le società HFT di registrarsi presso le autorità di regolamentazione, fornendo dettagli completi sui loro algoritmi, strategie e infrastrutture tecnologiche. Inoltre, le società devono garantire che i loro algoritmi contribuiscano alla liquidità di mercato anche in condizioni di stress, evitando di ritirarsi improvvisamente in periodi di alta volatilità⁵². I circuit breakers, previsti invece dall'art. 48 (MiFIR) come meccanismi che interrompono temporaneamente il trading in caso di movimenti di prezzo estremi, sono stati introdotti per prevenire reazioni a catena e consentire agli operatori di valutare meglio la situazione⁵³. Durante eventi di alta volatilità, come quelli legati alla pandemia di COVID-19, questi strumenti si sono dimostrati particolarmente utili nel contenere i danni nei mercati europei.

La direttiva pone inoltre un'enfasi particolare sulla responsabilità dei dirigenti e sulla formazione del personale coinvolto nelle attività algoritmiche. I dirigenti sono tenuti a garantire che gli algoritmi siano progettati e utilizzati nel rispetto dei requisiti normativi, nominando un responsabile specifico per supervisionare queste attività e segnalare eventuali anomalie alle autorità di regolamentazione. Parallelamente, il personale operativo deve essere adeguatamente formato per comprendere il funzionamento degli algoritmi e intervenire rapidamente in caso di problemi.

Un altro aspetto cruciale della MiFID II è il sistema di reporting obbligatorio, che richiede alle società di fornire alle autorità informazioni dettagliate su ogni operazione effettuata con algoritmi. Tra queste informazioni figurano il tipo di algoritmo utilizzato, l'ora esatta

⁵² European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI*, 2017, 20

⁵³ European Commission, *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act)*, 2021, 22

di esecuzione degli ordini e gli obiettivi delle strategie di trading⁵⁴. Questi dati permettono di monitorare l'impatto del trading algoritmico sui mercati e di individuare eventuali pratiche manipolative.

L'introduzione di queste misure ha avuto un impatto significativo sui mercati finanziari. Da un lato, la direttiva ha migliorato la trasparenza e contribuito a ridurre i rischi sistemici associati al trading algoritmico. In questo contesto, si è assistito a un crescente interesse per tecnologie come l'explainable AI (XAI), che mira a rendere più comprensibili i processi decisionali degli algoritmi. Dall'altro lato, la MiFID II ha aumentato i costi di conformità per le società finanziarie, spingendo alcune di esse a rivedere o ridurre l'uso dell'AI nelle loro operazioni.

In conclusione, la MiFID II rappresenta un passo fondamentale verso una regolamentazione più rigorosa e sicura del trading algoritmico e dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari. Questo quadro normativo bilancia l'innovazione tecnologica con la necessità di proteggere gli investitori e garantire la stabilità dei mercati, promuovendo un ambiente più trasparente, resiliente e sicuro.

1.3.2 AI Act: armonizzazione delle regole europee

L'Artificial Intelligence Act (AI Act), rappresenta il primo tentativo a livello globale di regolamentare in modo sistematico l'intelligenza artificiale (AI). Questo regolamento mira a creare un quadro normativo uniforme all'interno dell'Unione Europea, favorendo l'innovazione tecnologica e garantendo che i rischi associati all'uso dell'AI siano gestiti in modo efficace⁵⁵. Nei mercati finanziari, l'AI Act assume un ruolo cruciale, definendo regole specifiche per l'uso degli algoritmi nel trading e nella gestione del rischio.

L'AI Act si propone di armonizzare le normative europee sull'uso dell'AI, eliminando le discrepanze tra gli Stati membri, di promuovere lo sviluppo etico e sicuro dell'AI, stabilendo requisiti minimi di qualità, trasparenza e sicurezza per tutti i sistemi di AI, e di proteggere i diritti fondamentali e la privacy, assicurando che l'uso dell'AI non causi discriminazioni, violazioni della privacy o altri rischi per individui e istituzioni.⁵⁶

⁵⁴ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines*, 2017, 25

⁵⁵ European Commission, *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act)*, 2021, 5

⁵⁶ Financial Stability Board (FSB), *AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities*, 2022, 18

Questi obiettivi sono particolarmente rilevanti nei mercati finanziari, dove le decisioni basate sull'AI possono influenzare direttamente la stabilità economica e la fiducia degli investitori.

Uno degli aspetti innovativi dell'AI Act (artt. 5-9 del Regolamento) riguarda la classificazione dei sistemi di intelligenza artificiale in base a quattro livelli di rischio, caratterizzati da requisiti normativi via via più stringenti. Al gradino più severo si collocano i cosiddetti sistemi a “rischio inaccettabile”, assolutamente vietati perché utilizzano, ad esempio, tecniche subliminali volte a manipolare i comportamenti degli utenti. Seguono i sistemi a “rischio alto”, che rientrano in un regime di vigilanza particolarmente rigoroso e comprendono, tra gli altri, le applicazioni di AI per il credit scoring e il trading algoritmico. Quando il rischio è definito “limitato”, invece, viene richiesto il rispetto di specifici obblighi di trasparenza, come nel caso di chatbot e sistemi di raccomandazione. Infine, l'AI Act contempla un livello “minimo” di rischio, riferito ad applicazioni meno invasive — come i filtri antispam — per le quali il regolamento non stabilisce vincoli particolarmente restrittivi⁵⁷.

Nei mercati finanziari, la maggior parte dei sistemi di AI — come gli algoritmi di trading ad alta frequenza (HFT) e i modelli di machine learning per la gestione del rischio — rientra nella categoria dei sistemi ad alto rischio e, di conseguenza, è soggetta a obblighi assai rigorosi in termini di trasparenza, monitoraggio e conformità (art. 6, AI Act).

I sistemi classificati come ad alto rischio, in particolare quelli utilizzati nel trading algoritmico, devono rispettare diversi requisiti fondamentali. È anzitutto necessaria una valutazione e gestione continua del rischio, poiché le istituzioni finanziarie sono tenute a identificare, analizzare e mitigare i rischi potenziali sia in fase di sviluppo sia in fase operativa. La trasparenza e la tracciabilità rivestono poi un ruolo cruciale: gli algoritmi devono essere progettati in modo da garantire processi decisionali comprensibili e tracciabili, permettendo di spiegare le decisioni prese dai modelli di machine learning sia agli operatori di mercato sia alle autorità di regolamentazione. È inoltre indispensabile la supervisione umana, affinché gli utenti possano intervenire e correggere eventuali decisioni errate prese dai sistemi di AI, assicurando che l'autonomia degli algoritmi non comprometta la sicurezza o l'integrità del mercato⁵⁸.

⁵⁷ *European Commission, AI Act, 2021, 22*

⁵⁸ *European Commission, AI Act, 2021, 25*

Infine, la qualità dei dati risulta altrettanto importante: i dati impiegati per addestrare i sistemi di AI devono essere accurati, completi e rappresentativi, così da prevenire bias nei modelli di trading e garantire decisioni basate su informazioni affidabili⁵⁹.

Nel contesto del trading algoritmico e dell'HFT, l'AI Act richiede misure specifiche per garantire operazioni trasparenti ed etiche, tra cui l'auditabilità, ovvero meccanismi per verificare il funzionamento degli algoritmi, i test di stress periodici, che consistono in simulazioni per valutare il comportamento degli algoritmi in scenari estremi, e le segnalazioni regolari, attraverso cui le istituzioni devono riportare alle autorità competenti le prestazioni degli algoritmi e gli eventuali incidenti legati al loro utilizzo.⁶⁰ Per garantire la conformità con l'AI Act, le istituzioni finanziarie devono implementare sistemi di governance interna che includano la nomina di un AI Compliance Officer, ovvero un responsabile incaricato di monitorare l'uso degli algoritmi e garantire il rispetto delle normative, la documentazione del ciclo di vita del sistema di AI, che prevede procedure dettagliate dalla progettazione alla disattivazione dei sistemi, e la creazione di report dettagliati, ossia documenti per le autorità di regolamentazione che illustrino i rischi identificati e le relative misure di mitigazione.⁶¹

L'AI Act avrà un impatto significativo sui mercati finanziari. Da un lato, spingerà le istituzioni a migliorare la trasparenza e l'affidabilità degli algoritmi; dall'altro, le rigorose disposizioni normative potrebbero aumentare i costi di conformità e rallentare l'adozione di nuove tecnologie. Questo potrebbe colpire in particolare le piccole e medie imprese, per le quali rispettare tali requisiti potrebbe risultare più oneroso.

Tuttavia, l'AI Act rappresenta un passo fondamentale per creare un sistema finanziario più sicuro, equo e trasparente, poiché introduce disposizioni specifiche in grado di colmare alcune lacune lasciate da normative come la MiFID II e il GDPR. Anzitutto, l'AI Act adotta un modello di classificazione basato sul rischio (artt. 5-9), che non si limita agli ambiti di trading algoritmico o high-frequency trading ma copre un ventaglio più ampio di applicazioni (dal credit scoring alla gestione patrimoniale, fino all'analisi del rischio finanziario). Questo approccio, differenziato a seconda del livello di criticità, mira a rendere la regolamentazione più mirata e proporzionata: se da un lato si introducono vincoli severi per le tecnologie AI ad "alto rischio", dall'altro non si gravano

⁵⁹ *Financial Stability Board (FSB), cit., 2022, 22*

⁶⁰ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Guidelines on AI, 2017, 20*

⁶¹ *European Commission, AI Act, 2021, 30*

eccessivamente i settori a “rischio minimo” o “limitato”. In secondo luogo, l’enfasi sulla qualità dei dati affronta il problema dei bias e delle discriminazioni insiti nei dataset di addestramento, una criticità emersa in precedenza quando si è discusso del potenziale effetto distorsivo sugli investimenti e sul mercato del credito. L’AI Act, infatti, impone controlli più stringenti sulla provenienza dei dati e sui metodi di pulizia e validazione, nell’ottica di minimizzare gli errori sistematici e garantire una maggiore equità nelle decisioni algoritmiche. Un’ulteriore novità è rappresentata dall’obbligo di supervisione umana, che va oltre gli strumenti di emergenza come i *kill switch* disciplinati dalla MiFID II, consentendo a operatori e autorità di intervenire manualmente in qualsiasi momento. Questo aspetto risponde all’esigenza di prevenire le derive dei modelli di AI, specialmente quando la “scatola nera” degli algoritmi rende complesso attribuire responsabilità in caso di malfunzionamenti.

Collegata a ciò è la richiesta di spiegabilità (Explainable AI), finalizzata a rendere più comprensibili i processi decisionali algoritmici, requisito che nella MiFID II rimaneva implicito ma non rigorosamente disciplinato. In tal modo, si tenta di risolvere la mancanza di trasparenza denunciata dalle istituzioni finanziarie e dalle autorità di vigilanza, che faticano a monitorare sistemi di machine learning sempre più complessi. Infine, l’AI Act amplia il perimetro regolatorio oltre la sola protezione degli investitori e il trading algoritmico, includendo settori come il credit scoring e l’analisi dei rischi su scala macro. In questo senso, la normativa diventa un riferimento globale, poiché la capacità di un operatore di rispettarne i principi viene percepita anche come indice di affidabilità sui mercati internazionali. Di conseguenza, pur non essendo privo di limiti, l’AI Act offre un quadro più sistematico e articolato per affrontare le molteplici sfide poste dall’intelligenza artificiale nei mercati finanziari (e non solo), rispondendo alle carenze di trasparenza, responsabilità e tracciabilità emerse con la sola MiFID II.

Nonostante la MiFID II imponga requisiti di trasparenza e controllo sul trading algoritmico, rimangono lacune nel garantire un monitoraggio continuo dei modelli AI; inoltre, l’AI Act classifica l’uso dell’AI in finanza come ad alto rischio senza definire procedure di verifica ex-ante adeguate alla rapidità decisionale tipica del trading.

1.3.3 Normative extraeuropee: USA e Asia

L'Unione Europea si distingue per il suo approccio centralizzato e dettagliato alla regolamentazione dell'intelligenza artificiale (AI), come dimostrato dall'AI Act. Tuttavia, gli Stati Uniti e i paesi asiatici, in particolare la Cina e il Giappone, hanno adottato strategie normative differenti per gestire l'impatto dell'AI nei mercati finanziari. Queste differenze riflettono le priorità economiche, politiche e culturali di ciascuna regione, offrendo spunti interessanti per un confronto globale.

Negli Stati Uniti, la regolamentazione dell'AI nei mercati finanziari è frammentata e distribuita tra diverse autorità di settore, tra cui la Securities and Exchange Commission (SEC), la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) e la Financial Industry Regulatory Authority (FINRA)⁶². Questo approccio meno centralizzato rispetto a quello europeo favorisce un'innovazione tecnologica più rapida, ma lascia alcune lacune in termini di coerenza normativa e protezione dei consumatori. Per il trading algoritmico e il trading ad alta frequenza (HFT), la SEC e la CFTC hanno stabilito linee guida mirate, soprattutto in risposta a eventi destabilizzanti come il Flash Crash del 2010. Tali misure includono regolamentazioni sull'accesso diretto ai mercati, che richiedono alle società di trading algoritmico di dimostrare l'esistenza di sistemi di controllo adeguati per prevenire operazioni non autorizzate, e obblighi di trasparenza e auditabilità per consentire la revisione delle operazioni da parte delle autorità⁶³.

Negli ultimi anni, gli Stati Uniti hanno promosso lo sviluppo dell'AI attraverso iniziative come la National Artificial Intelligence Initiative Act del 2020, che incoraggia la collaborazione tra enti pubblici e privati per la creazione di standard etici e tecnici. Tuttavia, questo approccio non include normative specifiche per i mercati finanziari, evidenziando una lacuna rispetto al più strutturato AI Act europeo, in particolare sui requisiti di trasparenza e spiegabilità degli algoritmi. La CFTC ha implementato misure per aumentare la resilienza dei mercati, come l'introduzione di kill switch e circuit breakers per mitigare i rischi associati agli algoritmi HFT⁶⁴. Nonostante ciò,

⁶² *Securities and Exchange Commission (SEC), Guidelines for Algorithmic Trading, 2021, disponibile su sec.gov*

⁶³ *Commodity Futures Trading Commission (CFTC), Regulatory Approaches to High-Frequency Trading, 2020, 8*

⁶⁴ *National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020, Public Law 116-283*

l'applicazione di tali misure varia a seconda delle giurisdizioni e delle diverse borse valori, riflettendo l'eterogeneità del sistema normativo statunitense.

Le economie asiatiche, invece, adottano approcci distinti, con la Cina e il Giappone che rappresentano due modelli contrapposti. La Cina utilizza l'AI come motore di crescita economica, mantenendo però un forte controllo governativo. Le autorità cinesi, come la China Securities Regulatory Commission (CSRC), impongono requisiti rigorosi per il trading algoritmico, inclusi l'obbligo di registrare gli algoritmi e la segnalazione regolare delle loro prestazioni. La prevenzione dei rischi sistemici è una priorità per il governo cinese, che vieta pratiche come il quote stuffing e l'arbitraggio non autorizzato⁶⁵. Inoltre, il Piano Strategico per l'AI 2030 mira a rendere la Cina leader globale nel settore dell'intelligenza artificiale, promuovendo lo sviluppo tecnologico sotto stretto controllo governativo.

Il Giappone, al contrario, adotta un approccio più equilibrato, combinando la promozione dell'innovazione tecnologica con misure normative specifiche. La Financial Services Agency (FSA) collabora con le istituzioni finanziarie per sviluppare standard di trasparenza e sicurezza, senza ostacolare lo sviluppo tecnologico⁶⁶. Particolare attenzione viene posta alla protezione dei consumatori, con requisiti di spiegabilità per gli algoritmi utilizzati nelle decisioni di investimento, che devono essere comprensibili anche per i clienti finali⁶⁷. Questo approccio bilanciato posiziona il Giappone come un modello vicino a quello europeo, con un'attenzione paragonabile alla tutela dei diritti degli utenti. Rispetto all'Unione Europea, le normative statunitensi e asiatiche evidenziano differenze significative. Negli Stati Uniti, l'approccio frammentato favorisce l'innovazione, ma manca la trasparenza garantita dall'AI Act europeo, sebbene le misure per il controllo del rischio algoritmico siano simili a quelle previste dalla MiFID II. La Cina si distingue per una regolamentazione centralizzata, focalizzata sulla prevenzione dei rischi sistemici e sull'utilizzo strategico dell'AI per la crescita economica, ma con un'enfasi minore sulla trasparenza e sull'autonomia dei mercati rispetto all'Europa. Il Giappone, infine, si avvicina di più all'approccio europeo, bilanciando lo sviluppo tecnologico con una forte protezione dei consumatori e requisiti di spiegabilità per gli algoritmi.

⁶⁵ China Securities Regulatory Commission (CSRC), *Regulations on Algorithmic Trading in Financial Markets*, 2021, 20

⁶⁶ Financial Services Agency (FSA), *AI Standards for Financial Institutions*, 2021

⁶⁷ Financial Services Agency (FSA), *AI Standards for Financial Institutions*, 2021, 22

In conclusione, mentre le normative extraeuropee si differenziano per approccio e priorità, condividono l'obiettivo comune di mitigare i rischi associati all'uso dell'AI nei mercati finanziari. Tuttavia, l'assenza di un quadro regolamentare globale coordinato genera disparità che possono influire sulla competitività e sulla stabilità dei mercati internazionali. Un'armonizzazione delle normative, come quella promossa dall'AI Act europeo, potrebbe rappresentare un modello da seguire per altre giurisdizioni, contribuendo a una maggiore coerenza e sicurezza nel panorama finanziario globale.

1.4: Sfide e opportunità legate all'adozione dell'AI nei mercati finanziari

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari non ha solo portato innovazione, ma ha anche sollevato importanti interrogativi sulle sue implicazioni in termini di trasparenza, stabilità e sicurezza. I paragrafi seguenti approfondiranno le principali sfide legate all'AI, partendo dal tema cruciale della trasparenza algoritmica.

1.4.1 Trasparenza algoritmica e regolamentazione

L'introduzione dell'intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari ha segnato una trasformazione radicale nel modo in cui vengono prese le decisioni di investimento e gestiti i rischi. Tuttavia, questa rivoluzione tecnologica ha portato con sé una sfida cruciale: la comprensibilità e la verificabilità dei processi decisionali degli algoritmi. La trasparenza algoritmica, infatti, rappresenta una delle questioni più complesse per le istituzioni finanziarie e i regolatori, poiché molti degli algoritmi avanzati, in particolare quelli basati su tecniche di machine learning, operano come vere e proprie “scatole nere”. Questi algoritmi, pur offrendo risultati estremamente accurati, rendono difficile spiegare come arrivano a determinate decisioni. Ad esempio, un modello di machine learning può analizzare migliaia di variabili in pochi istanti, individuando pattern che sfuggirebbero all'occhio umano, ma comprendere il “perché” di una decisione specifica rimane complesso, anche per gli sviluppatori stessi⁶⁸. Questa opacità solleva preoccupazioni

⁶⁸ ÖZER, Mahmut; PERC, Matjaz; SUNA, H. Eren. *Artificial intelligence bias and the amplification of inequalities in the labor market. Journal of Economy Culture and Society*, 2024, 69: 159-168.

significative, come la possibilità che un algoritmo generi risultati discriminatori o distorti, penalizzando alcuni gruppi di investitori. Inoltre, nei mercati finanziari, dove velocità e precisione sono essenziali, decisioni prese in frazioni di secondo possono avere effetti destabilizzanti su larga scala. Episodi come il *quote stuffing*—in cui algoritmi inondano i mercati con ordini non eseguibili per rallentare i concorrenti—dimostrano come la mancanza di trasparenza possa essere sfruttata per fini non etici.

Per affrontare queste problematiche, i regolatori stanno introducendo misure volte a migliorare la trasparenza degli algoritmi. Nell’Unione Europea, la direttiva MiFID II ha introdotto obblighi stringenti per le istituzioni finanziarie, richiedendo una documentazione dettagliata sul funzionamento degli algoritmi. Queste istituzioni devono essere in grado di spiegare retrospettivamente come un algoritmo abbia preso una determinata decisione e quali dati di input siano stati utilizzati. Questa documentazione è cruciale per consentire ai regolatori di monitorare le operazioni e prevenire eventuali abusi⁶⁹. Un ulteriore passo avanti è stato compiuto con l’AI Act, che ha introdotto il concetto di *explainable AI* (XAI). Questo approccio si propone di progettare algoritmi che non solo forniscano risultati accurati, ma che siano anche comprensibili per sviluppatori, utenti finali e regolatori.

Negli Stati Uniti, pur non esistendo una normativa centrale come l’AI Act, la Securities and Exchange Commission (SEC) richiede che le istituzioni finanziarie conservino registri dettagliati delle operazioni algoritmiche per garantire la possibilità di ricostruire a posteriori i processi decisionali. Questo approccio, basato sull’auditabilità, consente ai regolatori di valutare eventuali responsabilità, pur mancando l’obbligo di spiegabilità preventiva richiesto in Europa⁷⁰.

Parallelamente agli interventi normativi, si stanno sviluppando tecnologie avanzate per rendere gli algoritmi più trasparenti. Tecniche come i *SHAP values* (Shapley Additive Explanations) aiutano a visualizzare quali variabili abbiano influenzato maggiormente una decisione, facilitando l’identificazione di eventuali bias nei modelli⁷¹. Alcune grandi istituzioni finanziarie stanno inoltre creando *AI Ethics Boards*, comitati incaricati di

⁶⁹ Financial Stability Board (FSB), *AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities*, 2022, 18

⁷⁰ European Commission, *Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act)*, 2021, 30

⁷¹ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI*, 2017, 18

monitorare l'uso degli algoritmi, garantire il rispetto di standard etici e proporre modifiche per migliorare la trasparenza.

Nonostante questi progressi, rimangono ostacoli significativi. Creare algoritmi completamente spiegabili è una sfida, soprattutto per i modelli più sofisticati, come le reti neurali profonde. Inoltre, l'obbligo di trasparenza si scontra spesso con la necessità di proteggere la proprietà intellettuale: molte istituzioni sono riluttanti a condividere dettagli sui loro algoritmi per timore di perdere il proprio vantaggio competitivo. Anche i costi rappresentano una barriera rilevante, soprattutto per le piccole e medie imprese, che potrebbero non avere le risorse per adeguarsi alle normative o implementare tecnologie di *explainable AI*.

La trasparenza algoritmica è dunque una questione centrale per il futuro dei mercati finanziari. Senza una chiara comprensione del funzionamento degli algoritmi, è difficile garantire fiducia, equità e stabilità. Le normative europee, come la MiFID II e l'AI Act, rappresentano passi significativi in questa direzione, ma ulteriori sforzi saranno necessari per trovare un equilibrio tra innovazione tecnologica e sicurezza. Con il progredire delle tecnologie e una collaborazione sempre più stretta tra regolatori e istituzioni finanziarie, il futuro dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari appare promettente, pur richiedendo un impegno costante verso la trasparenza.

1.4.2 Rischio sistemico legato al trading algoritmico: il caso del Flash Crash

Il trading algoritmico, e in particolare il trading ad alta frequenza (HFT), ha rivoluzionato i mercati finanziari, rendendoli più liquidi e reattivi. Tuttavia, questa trasformazione ha introdotto nuovi rischi, tra cui il rischio sistemico, ovvero la possibilità che malfunzionamenti o comportamenti imprevedibili degli algoritmi possano innescare catene di eventi capaci di destabilizzare l'intero sistema finanziario. Un esempio emblematico di tale rischio è il Flash Crash del 6 maggio 2010, un evento che ha segnato un momento cruciale nella comprensione delle vulnerabilità legate al trading algoritmico.

Il rischio sistemico legato al trading algoritmico si manifesta principalmente quando gli algoritmi, in risposta a determinati segnali di mercato, agiscono collettivamente amplificando le normali fluttuazioni e generando una volatilità imprevedibile. Gli algoritmi HFT, progettati per eseguire operazioni a velocità straordinarie, possono reagire

simultaneamente agli stessi input, creando spirali ascensive o discendenti nei prezzi. L'assenza di supervisione umana diretta durante il funzionamento di questi algoritmi amplifica ulteriormente il rischio: decisioni sbagliate possono propagarsi attraverso i mercati prima che gli operatori umani abbiano il tempo di intervenire⁷².

Il Flash Crash del 2010 rappresenta un caso paradigmatico di queste dinamiche. In pochi minuti, l'indice Dow Jones Industrial Average perse quasi il 9% del suo valore, per poi recuperare gran parte delle perdite entro la fine della giornata. Questo evento generò confusione tra gli investitori e sollevò gravi interrogativi sulla stabilità del sistema finanziario. Alla base del Flash Crash vi furono tre fattori principali: un grande ordine di vendita algoritmico, le reazioni a catena degli algoritmi HFT e il ritiro improvviso della liquidità.

Un grande trader istituzionale attivò un algoritmo per vendere un ampio volume di contratti futures sull'indice S&P 500. L'algoritmo, programmato per eseguire le vendite in base ai volumi di mercato senza considerare i livelli di prezzo, causò una forte pressione ribassista. In risposta, gli algoritmi HFT, progettati per minimizzare le perdite, interpretarono il calo dei prezzi come un segnale negativo e iniziarono a vendere massivamente, aggravando la discesa. Parallelamente, molti market maker algoritmici disattivarono i loro algoritmi per evitare perdite, causando un'improvvisa scomparsa della liquidità e amplificando ulteriormente il crollo.

Le conseguenze furono significative: migliaia di ordini furono eseguiti a prezzi anomali, con azioni vendute a pochi centesimi o migliaia di dollari; gli investitori persero fiducia nella stabilità del sistema; e le autorità di regolamentazione avviarono un'indagine approfondita per capire come prevenire eventi simili in futuro⁷³.

In risposta al Flash Crash, le autorità di regolamentazione hanno introdotto diverse misure per mitigare il rischio sistemico associato al trading algoritmico. Tra queste, i circuit breakers, meccanismi che interrompono temporaneamente il trading quando i prezzi subiscono variazioni eccessive in un breve periodo, sono stati implementati per prevenire reazioni a catena come quelle osservate nel 2010. I kill switch, sistemi di emergenza che consentono di disattivare gli algoritmi in caso di comportamenti anomali, sono diventati

⁷² BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop*. *Sydney Law Review*, The, 2021, 43.1: 43-81

⁷³ Financial Stability Board (FSB), *AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities*, 2022, 22

obbligatori in molte giurisdizioni, tra cui l'Unione Europea con la direttiva MiFID II⁷⁴. Inoltre, le autorità come la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) e la Securities and Exchange Commission (SEC) richiedono alle società di trading algoritmico di conservare registri dettagliati delle operazioni e di sottoporre i loro algoritmi a test periodici di resilienza per verificarne il comportamento in condizioni di elevata volatilità o bassa liquidità⁷⁵.

Il Flash Crash ha evidenziato l'importanza di bilanciare l'innovazione tecnologica con la sicurezza dei mercati finanziari. Sebbene le normative introdotte abbiano migliorato la resilienza dei sistemi, rimangono alcune sfide aperte. La crescente dipendenza dagli algoritmi rende il sistema più vulnerabile a errori collettivi, mentre la complessità dei modelli avanzati, come le reti neurali profonde, rende difficile individuare e correggere eventuali punti deboli. Inoltre, l'interconnessione sempre più stretta tra i mercati globali aumenta il rischio che un problema in una borsa valori si propaghi rapidamente ad altre aree del sistema.

Il Flash Crash del 2010 è dunque un monito sulle potenziali conseguenze del trading algoritmico non adeguatamente regolamentato. Sebbene misure come i circuit breakers e i test di resilienza rappresentino passi importanti nella mitigazione del rischio sistemico, il continuo progresso tecnologico e la crescente complessità degli algoritmi richiedono un costante aggiornamento delle normative e una stretta collaborazione tra regolatori e operatori di mercato. Solo attraverso un impegno continuo sarà possibile garantire la stabilità, la trasparenza e la fiducia nei mercati finanziari globali.

1.4.3 AI e stabilità finanziaria: possibili rischi futuri

L'adozione dell'intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari ha introdotto rischi sistemici significativi che si estendono oltre i confini dei singoli operatori, influenzando l'intero ecosistema finanziario. Questi rischi derivano dalla crescente interconnessione tra mercati, istituzioni e tecnologie, generando vulnerabilità che possono amplificarsi esponenzialmente. Tra i principali rischi sistemici associati all'AI figurano la volatilità amplificata, il concentramento tecnologico, la dipendenza dalle infrastrutture digitali, le

⁷⁴ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Guidelines on AI in Financial Markets*, 2017, 15

⁷⁵ Commodity Futures Trading Commission (CFTC), *Regulatory Approaches to High-Frequency Trading*, 2020, 8

potenziali crisi di fiducia nel sistema finanziario e gli effetti macroeconomici di propagazione.

La volatilità dei mercati è uno degli aspetti più critici. Il trading algoritmico, in particolare quello ad alta frequenza (HFT), ha trasformato la velocità e il volume delle transazioni, ma al contempo ha amplificato la volatilità. Gli algoritmi, progettati per rispondere rapidamente ai segnali di mercato, possono innescare vendite a catena durante periodi di instabilità, creando effetti domino su larga scala. Un esempio emblematico è il Flash Crash del 2010, in cui l'indice Dow Jones Industrial Average crollò del 9% in pochi minuti, per poi recuperare gran parte delle perdite nella stessa giornata⁷⁶. Le indagini successive attribuirono l'evento a una reazione a catena causata da algoritmi HFT incapaci di distinguere segnali di mercato autentici da anomalie temporanee. Eventi come questi evidenziano il fenomeno del rischio da omogeneità algoritmica: quando più intermediari adottano algoritmi simili, un errore condiviso o una risposta automatizzata può innescare una crisi. Questo rischio è aggravato dalla mancanza di trasparenza dei modelli AI, spesso descritti come “scatole nere”, che impediscono a operatori e regolatori di anticipare o controllare comportamenti indesiderati⁷⁷.

Un ulteriore rischio sistemico riguarda il concentramento tecnologico. Le principali istituzioni finanziarie globali fanno sempre più affidamento su tecnologie avanzate sviluppate da un numero limitato di fornitori come Google Cloud, Amazon Web Services (AWS) e Microsoft Azure⁷⁸. Questa dipendenza rende il sistema finanziario vulnerabile a shock tecnologici, come attacchi informatici o interruzioni di servizio, che potrebbero paralizzare simultaneamente numerosi operatori. Inoltre, il controllo di dati e infrastrutture da parte di pochi attori tecnologici crea asimmetrie di mercato, rendendo difficile per i piccoli operatori accedere a tecnologie AI avanzate e concentrando il potere finanziario nelle mani di poche istituzioni.

Questi rischi hanno implicazioni macroeconomiche di vasta portata. Una crisi legata all'AI potrebbe limitare il credito disponibile, ridurre gli investimenti e i consumi privati, con effetti negativi sul PIL. Gli algoritmi di trading, reagendo in modo amplificato alle fluttuazioni dei prezzi, possono compromettere la stabilità dei mercati e la corretta

⁷⁶ KIRILENKO, Andrei, et al. *The flash crash: High-frequency trading in an electronic market. The Journal of Finance*, 2017, 72.3: 967-998.

⁷⁷ NAHAR, Janifer, et al. *Market Efficiency And Stability In The Era Of High-Frequency Trading: A Comprehensive Review. International Journal of Business and Economics*, 2024, 1.3: 1-13.

⁷⁸ COHEN, Samuel N.; SNOW, Derek; SZPRUCH, Lukasz. *Black-box model risk in finance*. 2023.

determinazione dei prezzi degli asset⁷⁹. Inoltre, data l'interconnessione tra mercati finanziari ed economia reale, una crisi finanziaria potrebbe propagarsi a settori come il commercio, le esportazioni e l'occupazione⁸⁰. La teoria della fragilità finanziaria di Hyman Minsky sottolinea come periodi prolungati di stabilità possano portare a una sottovalutazione del rischio, rendendo il sistema più vulnerabile a shock imprevisti⁸¹. L'AI, automatizzando decisioni complesse, potrebbe accelerare questo processo, creando un "falso senso di sicurezza" che amplifica il potenziale impatto di eventi destabilizzanti. Dal punto di vista normativo, strumenti come la MiFID II hanno introdotto misure per affrontare i rischi legati all'AI, come i circuit breakers per limitare la volatilità e i requisiti di trasparenza per il trading algoritmico. Tuttavia, queste misure sono spesso reattive, anziché preventive, e non tengono pienamente conto della rapidità dell'evoluzione tecnologica. L'AI Act, ancora in fase di definizione, propone audit algoritmici e meccanismi di gestione del rischio più sofisticati, ma la sua efficacia dipenderà dalla capacità di implementazione su scala globale.

Da un punto di vista economico, emerge la necessità di un approccio dinamico alla regolamentazione, che non solo mitighi i rischi sistemici, ma promuova anche un contesto competitivo equo. L'assenza di regolamenti coordinati a livello internazionale potrebbe creare arbitraggi normativi, incentivando gli operatori a trasferirsi in giurisdizioni meno restrittive. Per prevenire queste problematiche, sarà fondamentale una cooperazione tra regolatori, istituzioni finanziarie e fornitori tecnologici, basata su standard condivisi e meccanismi di supervisione trasparenti.⁸²

Pertanto, se da un lato l'AI offre vantaggi in termini di analisi predittiva e riduzione dei costi, dall'altro comporta rischi di volatilità estrema e opacità algoritmica; ciò solleva il problema se le attuali disposizioni normative, come la MiFID II e l'AI Act, siano sufficienti o se sia necessario un approccio più dinamico e adattivo per prevenire fenomeni come i flash crash.

⁷⁹ Financial Stability Board, *Risks of Cloud Computing in Financial Markets*, 2021

⁸⁰ European Central Bank, *Financial Intermediation and the Propagation of Systemic Risk*, 2021

⁸¹ MINSKY, Hyman P. *The financial instability hypothesis*. In: *The Financial Instability Hypothesis: Minsky, Hyman P. [SI]: SSRN*, 1999.

⁸² European Commission, *AI Act and Its Implications for Financial Markets*, 2023

Capitolo 2: Analisi Empirica delle Performance Finanziarie e dell’Impatto della MiFID II

Il Capitolo 2 si propone di indagare empiricamente i rischi e le sfide posti dall’intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari, combinando analisi dati e modelli quantitativi per quantificarne l’impatto operativo e sistemico. L’obiettivo è costruire un *framework evidence-based* che chiarisca, attraverso metriche statistiche, come l’AI stia ridefinendo parametri chiave quali volatilità, stabilità di mercato e performance degli intermediari.

L’indagine si articolerà attraverso l’esame di dataset multivariati, comprendenti: volumi di trading, indicatori di volatilità settoriale e indicatori di performance aziendale (ROI, redditività operativa) di intermediari finanziari con diversi livelli di adozione tecnologica. L’applicazione di modelli econometrici – tra cui regressioni lineari multiple e analisi di cluster – permetterà di isolare le relazioni causali tra variabili tecnologiche (es. utilizzo di algoritmi predittivi) e finanziarie, identificando pattern critici spesso oscurati dalle analisi qualitative.

2.1 Metodologia e Fonti dei Dati

L’analisi empirica condotta in questo studio si fonda su un dataset appositamente sviluppato, che integra dati relativi agli intermediari finanziari attivi nei mercati regolamentati europei e globali. La presente sezione ha un duplice obiettivo: garantire trasparenza nella ricostruzione del database – attraverso la descrizione dettagliata delle fonti, delle variabili selezionate e del quadro metodologico – e giustificare le scelte analitiche alla base delle elaborazioni statistiche ed econometriche successive. Questo approccio consente non solo di validare la robustezza dei risultati, ma anche di fornire un riferimento replicabile per future ricerche nel settore.

2.1.1 Fonti dei dati utilizzati

L'analisi empirica condotta in questa tesi si basa su dati raccolti da fonti affidabili e riconosciute a livello internazionale. Le informazioni utilizzate sono state estratte principalmente da Bloomberg Terminal, uno degli strumenti più completi per l'accesso a dati finanziari, di mercato e regolatori⁸³. Questo database ha permesso di ottenere informazioni dettagliate sulle performance degli intermediari finanziari, sulla volatilità dei mercati e sull'adozione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale (AI). Oltre a Bloomberg, sono stati consultati report regolatori e documenti ufficiali di enti di supervisione finanziaria, come la *European Securities and Markets Authority* (ESMA) e la *Securities and Exchange Commission* (SEC), per identificare i principali regolamenti rilevanti per l'analisi, tra cui la direttiva MiFID II e le proposte normative dell'AI Act⁸⁴. Questi report sono stati utilizzati per definire il contesto normativo e per valutare la conformità degli intermediari finanziari. Il periodo considerato nell'analisi è compreso tra il 2014 e il 2024, al fine di coprire sia gli anni precedenti sia quelli successivi all'introduzione di normative chiave come la MiFID II (2018). Questo orizzonte temporale consente di esaminare l'effetto delle normative sulle performance di mercato e sulla stabilità finanziaria, l'adozione e l'evoluzione dell'AI nel settore finanziario⁸⁵ e le tendenze generali nei mercati finanziari globali. Le variabili incluse nel dataset sono state selezionate per rappresentare in modo efficace le performance finanziarie, la volatilità di mercato e i rischi associati all'uso dell'AI. Tra le principali variabili raccolte figurano ROI (*Return on Investment*), indicatore del rendimento degli investimenti effettuati dagli intermediari, rendimento azionario, che rappresenta la crescita annua del prezzo delle azioni⁸⁶, e redditività operativa, calcolata come il rapporto tra utile operativo e ricavi. Per misurare la volatilità e il rischio di mercato, sono stati inclusi la volatilità storica, che rappresenta la deviazione standard dei prezzi degli asset principali, e il volume di trading, ossia il totale annuale degli scambi effettuati dagli intermediari. Tra le variabili normative sono state considerate il periodo normativo MiFID II, rappresentato da una variabile binaria per distinguere gli anni pre e post normativa, e un indicatore della conformità

⁸³ Bloomberg Terminal, informazioni disponibili su [bloomberg.com](https://www.bloomberg.com)

⁸⁴ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Markets in Financial Instruments Directive II*, pubblicazione ufficiale, 2018

⁸⁵ Securities and Exchange Commission (SEC), *Regulatory Framework for Financial Intermediaries*, report, 2021

⁸⁶ Bloomberg Terminal, report personalizzato su ROI e volumi di trading

normativa alle regolamentazioni chiave. Inoltre, è stata inclusa una variabile binaria per rappresentare l'adozione di AI, dove 1 indica l'adozione e 0 la mancata adozione. La raccolta dei dati si è avvalsa di strumenti avanzati e metodologie mirate: il Bloomberg Terminal è stato utilizzato per ottenere dati finanziari come ROI, volatilità e volumi di trading, oltre a informazioni sulle performance degli intermediari⁸⁷; i report normativi e le pubblicazioni ufficiali sono stati consultati per estrapolare informazioni sulla conformità normativa e sulle normative chiave applicabili; infine, tutti i dati raccolti sono stati integrati in un dataset personalizzato, costruito appositamente per questa analisi. Nonostante l'affidabilità delle fonti utilizzate, sono emerse alcune limitazioni nella raccolta dei dati. La mancanza di informazioni finanziarie dettagliate per alcuni intermediari privati ha limitato la loro inclusione nel dataset. Per alcune istituzioni, l'adozione di tecnologie AI è stata stimata sulla base di dichiarazioni pubbliche e report secondari, poiché i dati dettagliati non sono sempre disponibili. Infine, alcuni dati relativi al 2024 potrebbero essere parziali o stimati, a causa della loro disponibilità limitata al momento dell'analisi.

2.1.2 Descrizione del dataset: istituzioni finanziarie e mercati esaminati

Il dataset rappresenta una base essenziale per analizzare l'impatto delle normative (es. MiFID II) e dell'adozione dell'intelligenza artificiale (AI) sulle performance degli intermediari finanziari. Attraverso variabili selezionate, si vuole esplorare il collegamento tra le regolamentazioni, le innovazioni tecnologiche e i principali indicatori di performance.

Il dataset utilizzato per questa analisi include dati di 24 intermediari finanziari operanti su scala globale, con una distribuzione geografica che riflette la rappresentatività dei principali mercati: 10 intermediari sono europei, 8 provengono dagli Stati Uniti e 6 dall'Asia. Questa distribuzione, rappresentata nel Grafico 1 della distribuzione degli intermediari per regione

⁸⁷ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Directive, pubblicazione ufficiale, 2018*

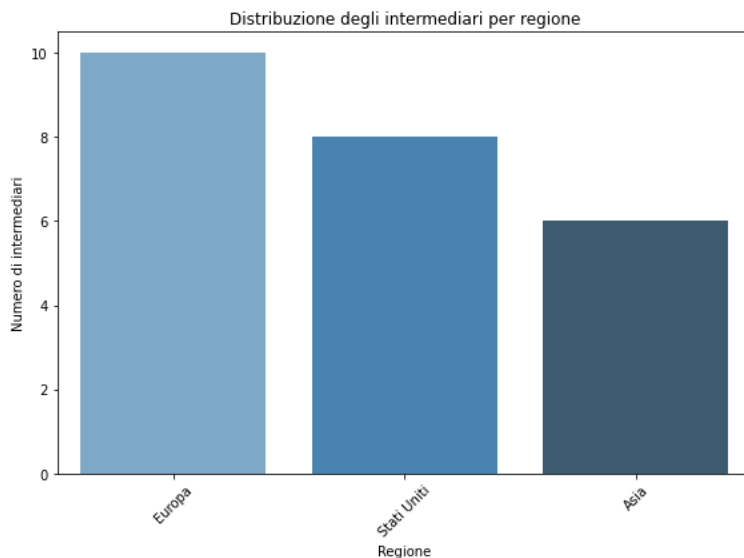


Grafico 1 - Distribuzione degli intermediari per regione

evidenzia una maggiore presenza di istituzioni europee, in linea con l'obiettivo di valutare l'impatto della normativa MiFID II, e un forte equilibrio tra Stati Uniti e Asia per considerare le peculiarità dei mercati regolatori e tecnologici locali.

Gli intermediari selezionati appartengono a tre principali categorie operative: 15 banche universali, che rappresentano un'ampia gamma di servizi finanziari; 7 banche d'investimento, specializzate in trading e attività ad alta frequenza; e 2 asset manager, rilevanti per le loro competenze in gestione patrimoniale. Questa suddivisione offre una panoramica equilibrata delle diverse tipologie di istituzioni finanziarie globali.

Il dataset copre un periodo di 10 anni, dal 2014 al 2024, consentendo di analizzare sia le tendenze a lungo termine sia i cambiamenti intervenuti in seguito all'introduzione di normative chiave come la MiFID II (2018) e le proposte di regolamentazione AI più recenti. Sono state raccolte variabili che riflettono tre principali dimensioni di analisi: performance finanziaria, volatilità di mercato e conformità normativa.

Queste variabili saranno utilizzate per esplorare le relazioni tra adozione di AI, conformità normativa e performance finanziaria, con un focus sulle differenze regionali e temporali. Inoltre, le analisi considereranno l'interazione tra le normative, come la MiFID II, e l'uso di AI.

Tra le variabili di performance, il ROI (Return on Investment), il rendimento azionario e la redditività operativa occupano un ruolo centrale nell'analisi.

Il ROI presenta una media globale del 3,28%, con notevoli variazioni regionali evidenziate nel Grafico 2 del ROI per regione.

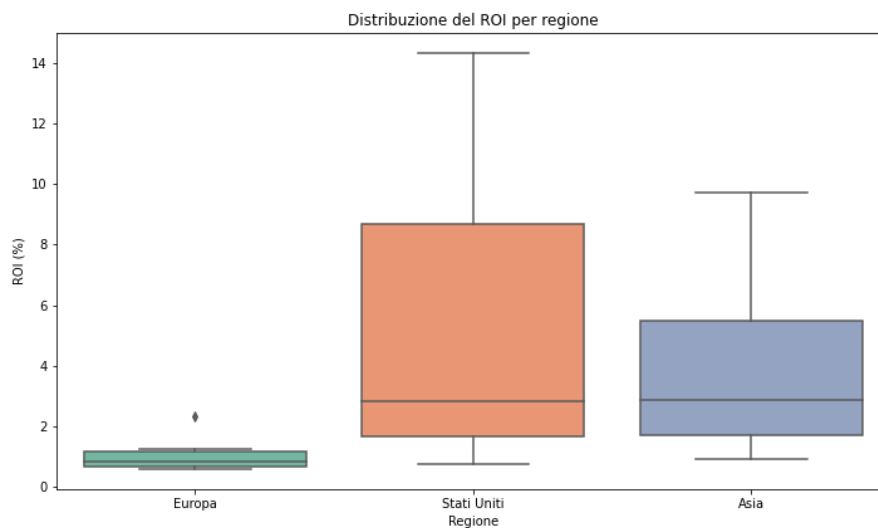


Grafico 2 - Distribuzione del ROI per regione

Gli Stati Uniti si distinguono per una mediana più elevata e per una maggiore dispersione dei valori, segno di rendimenti più elevati ma anche più incerti. L'Asia mostra un ROI più stabile, con valori generalmente contenuti entro un intervallo ristretto, mentre l'Europa presenta una distribuzione molto concentrata e tendenzialmente più bassa rispetto alle altre due regioni. Il Grafico 2 evidenzia come i mercati statunitensi offrano opportunità di rendimento superiori, a fronte di una maggiore incertezza. Al contrario, i mercati europei, regolati dalla MiFID II, mostrano una distribuzione più stabile ma con performance mediamente più basse. Questo riflette un potenziale trade-off tra regolamentazione stringente e performance.

Un'altra variabile di interesse è il rendimento azionario, che mostra una forte eterogeneità. Come illustrato nel Grafico 3 del rendimento azionario per regione.

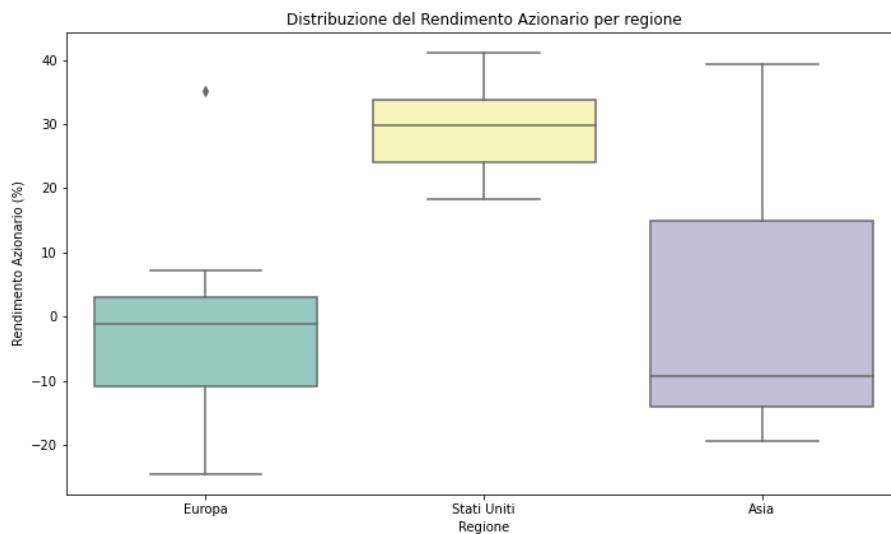


Grafico 3 - Distribuzione del Rendimento Azionario per regione

Il rendimento azionario illustra una forte divergenza regionale, con gli Stati Uniti che dominano per valore medio e stabilità. Le basse performance europee possono suggerire una diversa risposta degli intermediari finanziari alle normative e al cambiamento tecnologico.

I mercati statunitensi continuano a distinguersi per rendimenti azionari nettamente superiori, con una mediana vicina al 30% e una distribuzione relativamente stabile. In contrasto, i mercati asiatici mostrano una maggiore variabilità, con rendimenti medi inferiori ma occasionalmente positivi. L'Europa, invece, registra in media valori negativi, segnalando una performance meno favorevole per gli investitori azionari. Questa dinamica potrebbe riflettere la diversa velocità di adattamento alle nuove tecnologie, come l'AI, e le differenze nelle condizioni macroeconomiche tra le regioni.

Un ulteriore indicatore chiave analizzato è la redditività operativa, rappresentata nel Grafico 4 della redditività operativa per regione.

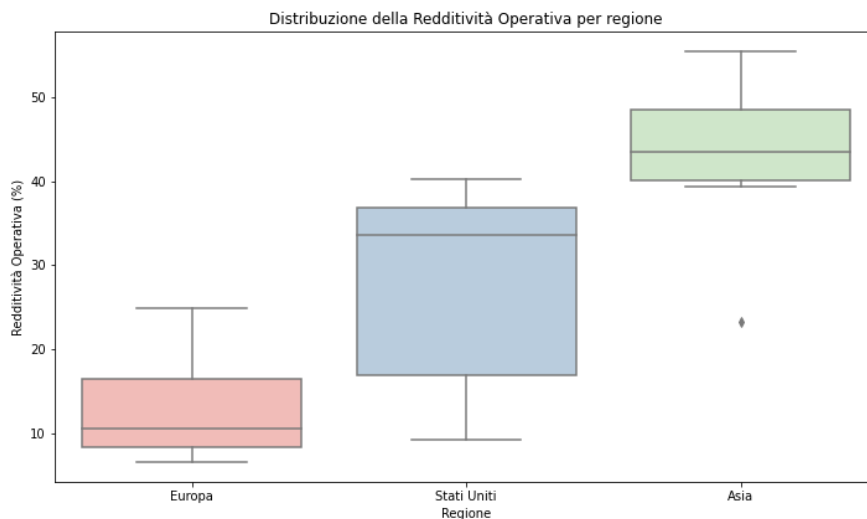


Grafico 4 - Distribuzione della Redditività Operativa per regione

Gli intermediari statunitensi e asiatici mostrano valori più elevati, con mediane rispettivamente vicine al 30% e al 40%, a indicare una maggiore efficienza operativa rispetto ai loro concorrenti europei, la cui mediana si attesta intorno al 10%. Questo divario potrebbe essere attribuito a diversi fattori, tra cui il grado di automazione dei processi, la scala operativa e il contesto normativo, che varia significativamente tra le regioni. Nonostante queste differenze, i mercati europei mantengono una variabilità contenuta, indicando una gestione più uniforme delle operazioni tra gli intermediari.

Oltre alle performance finanziarie, il dataset include variabili che misurano la volatilità dei mercati e il volume di trading annuale. Il volume medio di trading, pari a circa 12.777 miliardi di dollari, sottolinea l'elevata intensità operativa degli intermediari inclusi. È stata inoltre considerata la conformità normativa, utilizzando una variabile binaria che indica l'adesione alle principali regolamentazioni (es. MiFID II) e una variabile temporale che distingue tra periodi pre e post normativa. Infine, un'attenzione particolare è stata riservata all'adozione dell'intelligenza artificiale, identificando con una variabile binaria gli intermediari che utilizzano tecnologie AI.

L'analisi temporale del ROI medio globale, riportata nel Grafico 5,

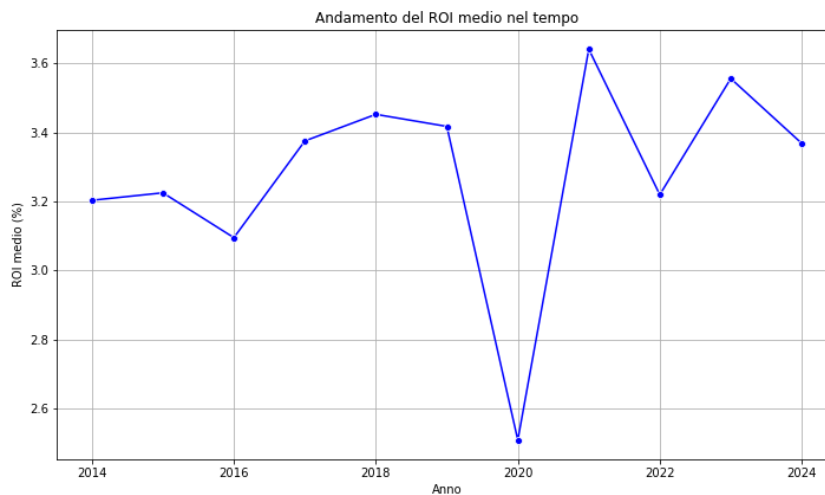


Grafico 5 - Andamento del ROI medio nel tempo

evidenzia una stabilità generale, con un calo significativo nel 2020 dovuto alla crisi legata al COVID-19, seguito da una rapida ripresa nel 2021. Questo andamento è utile per comprendere l'evoluzione delle performance nel tempo e per collegare i cambiamenti alle normative e all'adozione delle tecnologie.

Il dataset offre, quindi, una base solida per analizzare l'impatto delle normative e dell'adozione dell'AI sulle performance finanziarie e sulla stabilità dei mercati, evidenziando differenze significative tra le regioni e le tipologie di intermediari.

Nonostante la ricchezza del dataset, va evidenziato che i dati sono limitati al periodo 2014-2024 e non coprono eventi storici precedenti, come il Flash Crash del 2010, che potrebbero offrire ulteriori spunti di riflessione. Inoltre, le differenze regionali nei regolamenti e nella disponibilità di dati possono influenzare i risultati delle analisi.

2.1.3 Modelli statistici ed econometrici adottati

L'analisi empirica adotta un approccio quantitativo basato su modelli statistici ed econometrici per valutare le relazioni tra l'adozione dell'intelligenza artificiale (AI), le performance degli intermediari finanziari e l'impatto delle normative. I modelli selezionati permettono di isolare gli effetti diretti e combinati delle variabili di interesse, sfruttando la struttura longitudinale del dataset per analizzare le variazioni delle performance nel tempo.

La regressione lineare, sia semplice che multipla, viene utilizzata per stimare la relazione tra una variabile dipendente e una o più variabili indipendenti. Per esempio, le regressioni lineari consentono di valutare come l'adozione di AI e l'introduzione di normative influenzino variabili finanziarie come il ROI, la redditività operativa e la volatilità di mercato⁸⁸.

Ad esempio, un modello di regressione multipla potrebbe essere specificato come:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \beta_2 Normativa_t + \beta_3 (AI_{it} \cdot Normativa_t) + \epsilon_{it}$$

Dove:

- Y_{it} : Variabile dipendente (es. ROI o rendimento azionario) dell'intermediario i nell'anno t .
- AI_{it} : Variabile binaria che indica l'adozione di AI da parte dell'intermediario i nell'anno t ($1 =$ adotta AI, $0 =$ non adotta).
- $Normativa_t$: Variabile binaria che rappresenta l'introduzione di una normativa rilevante (es. $1 =$ post-MiFID II, $0 =$ pre-MiFID II).
- $AI_{it} \cdot Normativa_t$: Interazione tra AI e normativa, che misura l'effetto combinato delle due variabili.
- ϵ_{it} : Termine di errore, che cattura le variabili non osservabili⁸⁹.

Questo modello permette di valutare non solo l'effetto diretto dell'adozione di AI (β_1) e delle normative (β_2), ma anche il loro effetto combinato (β_3). È particolarmente utile per analizzare se le normative rafforzano o limitano l'impatto positivo dell'AI sulle performance finanziarie⁹⁰.

Poiché il dataset copre dieci anni di osservazioni su più intermediari finanziari, i modelli panel sono particolarmente adatti, in quanto consentono di cogliere sia le variazioni temporali che le caratteristiche specifiche di ciascun intermediario⁹¹.

1. Struttura di base dei modelli panel

⁸⁸ GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Basic Econometrics*, McGraw-Hill. New York, 2003.

⁸⁹ BALTAGI, Badi Hani; BALTAGI, Badi H. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: Wiley, 2008.

⁹⁰ WEEKS, Melvyn. *Introductory econometrics: a modern approach*. 2002.

⁹¹ Financial Stability Board, *Artificial Intelligence and Financial Stability*, 2022

I modelli panel combinano due dimensioni: da un lato, la dimensione trasversale, che evidenzia le differenze tra gli intermediari (per esempio la tipologia o l'area geografica), e dall'altro la dimensione temporale, che osserva l'evoluzione delle variabili nel tempo (per esempio le performance prima e dopo l'introduzione di nuove normative)⁹².

La specificazione generale di un modello panel è:

$$Y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \epsilon_{it}$$

- X_{it} : Variabile indipendente (es. adozione di AI, volume di trading, ecc.).

2. Effetti fissi (FE)

I modelli a effetti fissi assumono che ogni intermediario abbia caratteristiche uniche (es. dimensioni aziendali) costanti nel tempo. Questo approccio è utile quando si vuole eliminare il bias dovuto a differenze non osservabili tra gli intermediari.

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \epsilon_{it}$$

- α_i : Effetto specifico dell'intermediario i .

3. Effetti random (RE)

I modelli a effetti random assumono che le differenze tra gli intermediari siano casuali e non correlate con le variabili indipendenti⁹³.

$$Y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + u_i + \epsilon_{it}$$

- u_i : Effetto casuale specifico per ciascun intermediario.

La scelta tra effetti fissi e random si basa sull'utilizzo del test di Hausman, che confronta i coefficienti stimati nei due approcci. Se i coefficienti risultano significativamente diversi, il modello a effetti fissi (FE) è preferibile. Se, invece, non vi sono differenze significative, il modello a effetti random (RE) risulta più efficiente⁹⁴.

⁹² European Central Bank, *MiFID II and Its Impact on Financial Markets*, 2021

⁹³ GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Basic Econometrics*, McGraw-Hill. New York, 2003.

⁹⁴ BALTAGI, Badi Hani; BALTAGI, Badi H. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: Wiley, 2008.

Per validare i risultati dei modelli, vengono utilizzati test statistici come il test t, per valutare la significatività dei coefficienti stimati, il test F, per la significatività complessiva del modello, e l'analisi di robustezza, che serve a garantire risultati consistenti.

Prima dell'applicazione dei modelli econometrici, viene condotta un'analisi esplorativa per comprendere la distribuzione delle variabili e individuare eventuali anomalie o pattern. Strumenti grafici come *boxplot*, grafici a dispersione, heatmap e analisi di serie temporali sono utilizzati per visualizzare le relazioni tra le variabili e per analizzare l'andamento delle performance medie nel tempo, con particolare attenzione agli anni di introduzione delle normative (es. 2018 per la MiFID II)⁹⁵. Questi strumenti consentono di individuare le relazioni chiave da approfondire con i modelli econometrici.

2.2 Analisi Descrittiva delle Variabili Finanziarie

Prima di avviare le analisi econometriche, è cruciale condurre una disamina critica delle caratteristiche intrinseche delle variabili finanziarie coinvolte. Questa sezione offre un'approfondita esplorazione descrittiva del dataset, articolata su tre assi principali: l'evoluzione temporale delle variabili, le divergenze tra intermediari conformi e non conformi alla MiFID II, e l'impatto differenziale dell'adozione dell'AI. La mappatura preliminare include visualizzazioni grafiche (*boxplot*, serie temporali) e statistiche riassuntive (medie, deviazioni standard, intervalli di confidenza), strumenti essenziali per identificare trend strutturali, correlazioni latenti o anomalie nei dati. L'obiettivo è duplice: da un lato, contestualizzare le variabili nel panorama finanziario analizzato; dall'altro, fornire una base empirica solida per interpretare i successivi modelli causali, riducendo il rischio di *overfitting* o distorsioni metodologiche.

2.2.1 Analisi descrittiva del ROI

Il *Return on Investment* (ROI) è stato identificato come una delle principali metriche per valutare la redditività degli intermediari finanziari nel periodo analizzato, compreso tra il 2014 e il 2024. L'analisi è stata condotta lungo tre dimensioni principali: confronto per

⁹⁵ *Financial Stability Board, cit.*

regione, confronto per adozione di intelligenza artificiale (AI) e confronto pre/post introduzione della normativa MiFID II, con l'obiettivo di individuare tendenze significative e differenze chiave.

Il confronto per regione evidenzia notevoli disparità nei livelli medi di ROI tra le aree geografiche. Gli intermediari statunitensi si distinguono per un ROI medio significativamente più elevato, pari al 5,32%, accompagnato da una deviazione standard di 5,11%, che indica rendimenti più alti ma anche un rischio maggiore. Al secondo posto si collocano gli intermediari asiatici, con un ROI medio del 4,02%, caratterizzato da una distribuzione relativamente stabile e meno volatile. Gli intermediari europei, invece, presentano il ROI medio più basso, pari all'1,02%, con una distribuzione più concentrata e valori tendenzialmente contenuti.

Queste differenze regionali possono essere attribuite a fattori normativi, economici e operativi specifici di ciascun contesto. Negli Stati Uniti, un ambiente normativo relativamente permissivo, unito a un ecosistema favorevole all'innovazione e all'assunzione di rischi, consente agli intermediari di sfruttare opportunità di rendimento più elevate. In Europa, normative stringenti come la MiFID II sembrano aver incentivato una gestione più conservativa delle operazioni finanziarie, riducendo il potenziale di rendimento in cambio di una maggiore stabilità⁹⁶. I mercati asiatici, invece, si collocano in una posizione intermedia, combinando un contesto tecnologico avanzato con regolamentazioni meno uniformi, che offrono un equilibrio tra rischio e rendimento.

Queste osservazioni sottolineano come le peculiarità locali influenzino direttamente le performance finanziarie, suggerendo la necessità di ulteriori analisi sulle interazioni tra normative, contesto tecnologico e strategie di gestione del rischio adottate nelle diverse regioni.

L'adozione dell'intelligenza artificiale (AI) si sta affermando come un elemento chiave per migliorare la redditività degli intermediari finanziari, offrendo nuove opportunità ma introducendo anche rischi significativi. I risultati dell'analisi descrittiva evidenziano una chiara differenza nel ROI tra intermediari che adottano l'AI e quelli che non lo fanno (come mostrato nel Grafico 6), suggerendo che l'integrazione di tecnologie avanzate può influenzare in modo rilevante le performance finanziarie.

⁹⁶ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Markets in Financial Instruments Directive II*

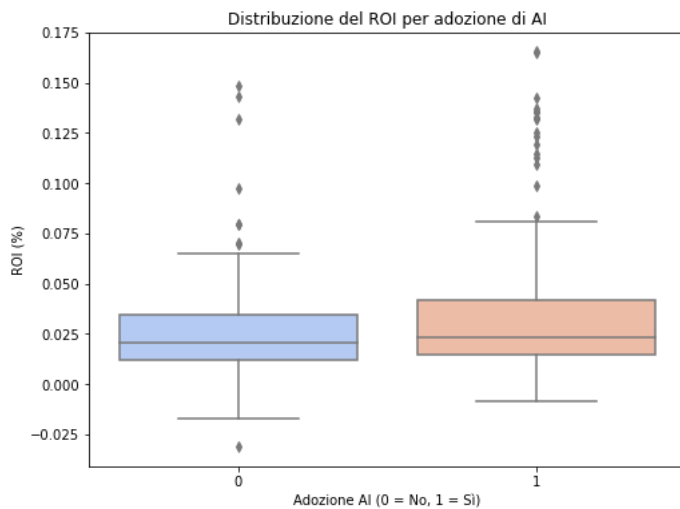


Grafico 6 - Distribuzione del ROI per adozione di AI

Gli intermediari che utilizzano l'AI registrano un ROI medio pari al 3,78%, superiore di circa 1,08 punti percentuali rispetto ai non adottanti, il cui ROI medio si attesta al 2,70%. Questo miglioramento delle performance può essere attribuito ai vantaggi operativi che l'AI offre, come l'ottimizzazione dei processi decisionali, l'identificazione di pattern complessi nei mercati e una maggiore precisione nel trading⁹⁷. Tecnologie come il trading algoritmico basato su AI permettono infatti di reagire rapidamente alle dinamiche di mercato, cogliendo opportunità che potrebbero sfuggire ai metodi tradizionali.

Tuttavia, gli intermediari che adottano l'AI mostrano anche una maggiore variabilità nei rendimenti, come evidenziato dalla deviazione standard più alta (3,79% contro 2,62%). Questa maggiore dispersione riflette il potenziale rischio associato all'adozione di tecnologie avanzate. Algoritmi mal progettati o gestiti in modo inefficace possono aumentare l'esposizione degli intermediari a instabilità di mercato, come dimostrato da episodi noti come il Flash Crash del 2010. Questi rischi indicano che, sebbene l'AI possa incrementare le performance, l'utilizzo inadeguato può amplificare i rischi operativi e sistemici.

A livello regionale, gli intermediari statunitensi appaiono i maggiori beneficiari dell'adozione dell'AI, con un ROI medio significativamente superiore rispetto agli intermediari europei e asiatici. Questo risultato può essere attribuito a una maggiore

⁹⁷ BRYNJOLFSSON, Erik; MCAFEE, Andrew. *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & company, 2014.

maturità tecnologica negli Stati Uniti, unita a un ambiente normativo che favorisce l'innovazione e l'assunzione di rischi. Al contrario, in Europa, dove normative come la MiFID II impongono regole più stringenti, il miglioramento del ROI associato all'adozione dell'AI è più modesto. In Asia, gli intermediari mostrano un equilibrio tra rischio e rendimento, supportato da un contesto tecnologico avanzato ma meno uniforme dal punto di vista normativo ⁹⁸.

Nonostante i vantaggi dell'AI, l'adozione di queste tecnologie presenta alcune criticità significative. I costi iniziali di implementazione, unitamente alla necessità di competenze altamente specializzate, rappresentano barriere rilevanti, in particolare per gli intermediari più piccoli. Inoltre, l'affidamento a modelli "black box" alimentati dall'AI pone problemi di trasparenza, complicando il controllo dei rischi e la conformità normativa ⁹⁹. Questi fattori sottolineano l'importanza di un approccio bilanciato all'integrazione dell'AI nei mercati finanziari. È essenziale sviluppare normative che non solo incentivino l'innovazione tecnologica, ma che al contempo mitighino i rischi sistemici, garantendo così la sostenibilità a lungo termine delle operazioni finanziarie.

L'introduzione della MiFID II nel 2018 ha rappresentato un momento cruciale per i mercati finanziari europei, con un impatto che si è esteso anche al di fuori della regione. L'analisi del ROI medio pre e post MiFID II offre indicazioni interessanti sull'efficacia di questa normativa.

⁹⁸ BAKER, Malcolm; RUBACK, Richard S.; WURGLER, Jeffrey. *Behavioral corporate finance*. In: *Handbook of empirical corporate finance*. Elsevier; 2007, 145-186.

⁹⁹ AUTOR, David H. *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation*. *Journal of economic perspectives*, 2015, 29.3: 3-30.

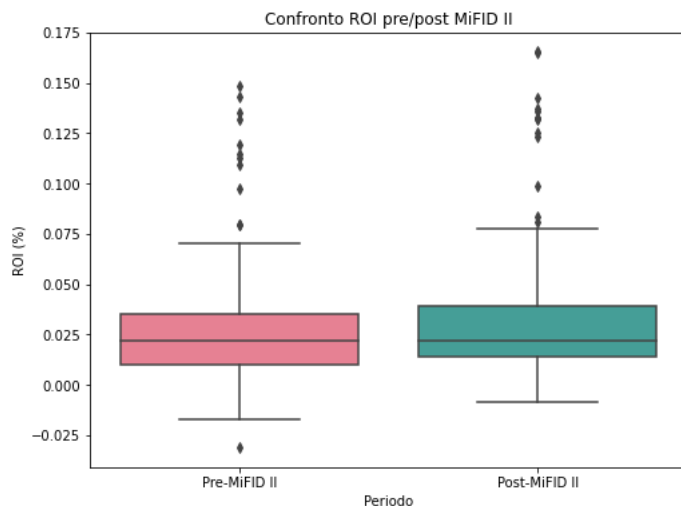


Grafico 7 - Confronto ROI pre/post MiFID II

Nel periodo post-MiFID II, il ROI medio ha registrato un leggero incremento, passando dal 3,22% al 3,31%. Sebbene questa crescita sia modesta, è accompagnata da una riduzione della deviazione standard, segnalando una maggiore stabilità delle performance finanziarie. Questo risultato suggerisce che l'introduzione di requisiti di trasparenza più stringenti e la regolamentazione delle pratiche di trading algoritmico abbia contribuito a limitare comportamenti speculativi ad alto rischio, favorendo una gestione più prudente degli investimenti.

L'impatto della MiFID II, tuttavia, non è uniforme tra le regioni. Gli intermediari europei, direttamente soggetti alla normativa, hanno mostrato un miglioramento nel ROI medio, pur rimanendo al di sotto dei livelli osservati negli Stati Uniti e in Asia. Questo può indicare che, mentre la normativa ha promosso la stabilità, ha anche limitato in parte la competitività degli intermediari europei, restringendo l'accesso ad alcune opportunità di investimento ad alto rendimento. Negli Stati Uniti e in Asia, l'effetto della MiFID II è stato meno diretto, ma gli intermediari che operano nei mercati europei hanno dovuto adattarsi ai nuovi requisiti normativi, mostrando un impatto indiretto ¹⁰⁰.

La MiFID II non ha avuto lo stesso impatto in tutte le aree geografiche. Da un lato, gli intermediari europei, soggetti in prima linea a questa normativa, hanno effettivamente visto un miglioramento del loro ROI medio, ma restano ancora indietro rispetto agli standard degli Stati Uniti e dell'Asia. Questo potrebbe suggerire che, se da un lato la

¹⁰⁰ GOMBER, Peter; KOCH, Jascha-Alexander; SIERING, Michael. *Digital Finance and FinTech: current research and future research directions*. *Journal of Business Economics*, 2017, 87: 537-580.

regolamentazione favorisce la stabilità, dall'altro rischia di frenare la competitività degli operatori europei, impedendo loro di accedere a determinate opportunità di investimento ad alto rendimento¹⁰¹.

Al di fuori dell'Europa, l'impatto della MiFID II si è sentito soprattutto indirettamente: negli Stati Uniti e in Asia, le società che operano anche sui mercati europei hanno dovuto adeguarsi a requisiti più stringenti. Tra questi, la clausola extra-territoriale (Direttiva 2014/65/UE (MiFID II), Articoli 39-43), che costringe anche le imprese non europee con clienti UE a rispettare obblighi specifici, come la trasparenza sulle commissioni e l'adozione di politiche di best execution. Di conseguenza, molte istituzioni finanziarie americane e asiatiche hanno rivisto le proprie procedure, per evitare di perdere l'accesso alla clientela europea.

Questa frammentazione normativa ha alimentato un fenomeno di arbitraggio regolatorio: alcuni operatori hanno preferito evitare il mercato europeo piuttosto che farsi carico dei relativi costi di compliance, mentre altri si sono conformati alle regole per non rinunciare alle opportunità di business. Un esempio concreto sono le piattaforme di trading non europee: alcune si sono dotate solo parzialmente dei requisiti di conformità pur di rimanere presenti nell'UE, mentre altre hanno scelto di spostarsi in regioni con vincoli meno gravosi (come l'Asia) per schivare gli oneri introdotti dalla MiFID II¹⁰².

Per quanto riguarda la concorrenza, questa rigidità normativa imposta in Europa ha creato un possibile svantaggio competitivo per gli operatori europei nei confronti di quelli statunitensi o asiatici. In Europa, gli intermediari devono rispettare obblighi stringenti in termini di disclosure e subire limitazioni su incentivi e remunerazioni; negli Stati Uniti, invece, la SEC adotta un approccio più elastico, lasciando maggiore libertà di gestione delle attività di trading¹⁰³.

In sintesi, la MiFID II ha avuto un forte effetto di spillover, spingendo anche gli operatori non europei a uniformarsi agli standard previsti per continuare a collaborare con le controparti UE. Tuttavia, questo riallineamento ha messo in luce delle asimmetrie, perché le imprese finanziarie europee restano vincolate da una normativa più severa rispetto ai

¹⁰¹ RAZZANTE, Ranieri; PEZZUTO, Eliana. *MiFID II: le novità per il mercato finanziario*. G Giappichelli Editore, 2018.

¹⁰² ALEXANDER, Kern; MADDERS, Vivienne. *Financial Market Regulation in the Internal Market. The EU Law of Economic and Monetary Union*, 2020, 1089-1100

¹⁰³ WILLIAMS, Victoria. *Fintech Regulations in the United States Compared to Regulations in Europe and Asia*. 2020.

concorrenti internazionali. Ciò si traduce in possibili ripercussioni sulla competitività globale dell'intero settore finanziario europeo.

A livello globale, la MiFID II ha influenzato il comportamento degli operatori al di fuori dell'Europa, ma l'efficacia della normativa nel prevenire episodi di instabilità di mercato rimane un tema dibattuto. Sebbene i rendimenti medi siano migliorati e la stabilità sia aumentata, non è stato possibile eliminare del tutto eventi di volatilità anomala o situazioni di instabilità sistemica. Questo evidenzia che, nonostante i progressi, i mercati finanziari restano vulnerabili a fattori esterni o dinamiche impreviste.

In prospettiva futura, normative come la MiFID II dovranno adattarsi a un panorama finanziario in rapida evoluzione, caratterizzato dalla diffusione sempre più ampia dell'intelligenza artificiale e dalla crescente complessità dei mercati. La sfida principale sarà integrare regolamentazioni tradizionali con nuovi strumenti tecnologici, bilanciando innovazione e stabilità per garantire che i mercati finanziari restino efficienti e sicuri in un contesto globale sempre più interconnesso.

L'analisi descrittiva del ROI evidenzia come la regolamentazione e l'adozione di tecnologie innovative, come l'intelligenza artificiale (AI), influenzino in modo significativo le performance finanziarie. I mercati statunitensi si confermano i più redditizi, grazie a un contesto normativo che incentiva l'innovazione e a un'adozione capillare dell'AI, che permette agli intermediari di sfruttare le opportunità offerte da tecnologie avanzate. Tuttavia, l'adozione dell'AI non è sinonimo di successo garantito, come dimostrano le marcate variazioni nei risultati tra gli intermediari adottanti. Queste differenze suggeriscono che il successo dipende non solo dalla tecnologia stessa, ma anche dalla sua implementazione, dalla qualità degli algoritmi e dalla capacità degli operatori di gestire i rischi associati.

Parallelamente, l'introduzione della MiFID II sembra aver contribuito a una maggiore stabilità nei mercati europei, promuovendo una gestione più prudente e trasparente degli investimenti. Tuttavia, questo risultato è stato ottenuto a fronte di rendimenti potenzialmente più bassi, indicando che la normativa potrebbe aver limitato alcune opportunità di investimento più rischiose ma potenzialmente più redditizie. Questa dinamica solleva interrogativi sull'equilibrio tra innovazione tecnologica e stabilità normativa, evidenziando la necessità di politiche che bilancino l'efficienza e il rischio.

In prospettiva, i risultati suggeriscono che un approccio integrato tra regolatori e operatori di mercato potrebbe rappresentare una strategia sostenibile per il futuro. Una collaborazione più stretta tra le parti potrebbe consentire di sviluppare normative che favoriscano l'innovazione tecnologica senza compromettere la stabilità dei mercati finanziari, offrendo così un quadro operativo che incentivi la crescita economica e la sicurezza a lungo termine ¹⁰⁴.

2.2.2 Analisi descrittiva del rendimento azionario

Il rendimento azionario rappresenta una delle metriche principali per valutare l'efficienza e la redditività degli intermediari finanziari, oltre a fornire indicazioni sulle dinamiche di mercato e sulle implicazioni di eventi normativi e tecnologici. L'analisi dei dati raccolti evidenzia tendenze significative, suddivise per area geografica, adozione di tecnologie di intelligenza artificiale (AI) e periodi normativi pre/post MiFID II. La distribuzione del rendimento azionario varia considerevolmente tra le regioni analizzate.

Gli Stati Uniti emergono come il mercato più performante, con un rendimento azionario medio del 29.44% e una deviazione standard relativamente contenuta (7.69%). Questa combinazione di alti rendimenti medi e moderata dispersione suggerisce una maggiore efficienza dei mercati statunitensi, attribuibile a un elevato grado di innovazione tecnologica e a una struttura di mercato favorevole agli investitori istituzionali¹⁰⁵.

In Europa, il rendimento azionario medio è negativo (-1.28%) e accompagnato da una varianza inferiore rispetto alle altre regioni. Questo dato riflette una performance meno favorevole degli intermediari europei, attribuibile a diversi fattori: un contesto normativo più stringente (ad esempio, l'introduzione della MiFID II), che ha aumentato i costi operativi, una minore adozione di AI e dinamiche di mercato più conservative¹⁰⁶. L'Asia, invece, si colloca in una posizione intermedia con un rendimento medio positivo ma modesto (1.49%) e una deviazione standard relativamente alta, che indica una maggiore volatilità di mercato. Ciò riflette la coesistenza di mercati emergenti e intermediari consolidati, con significative differenze nei livelli di maturità tecnologica e

¹⁰⁴ *European Securities and Markets Authority (ESMA), Annual Report*

¹⁰⁵ *GOMBER, Peter; et al. The MiFIR trading obligation: Impact on trading volume and liquidity, 2018.*

¹⁰⁶ *DUNIS, Christian L. Artificial Intelligence in Financial Markets. Palgrave Macmillan, 2016.*

regolamentazione¹⁰⁷.

L'introduzione della normativa MiFID II nel 2018 ha rappresentato un punto di svolta per i mercati finanziari, in particolare in Europa, ma con ripercussioni globali. Come evidenziato nel Grafico 8,

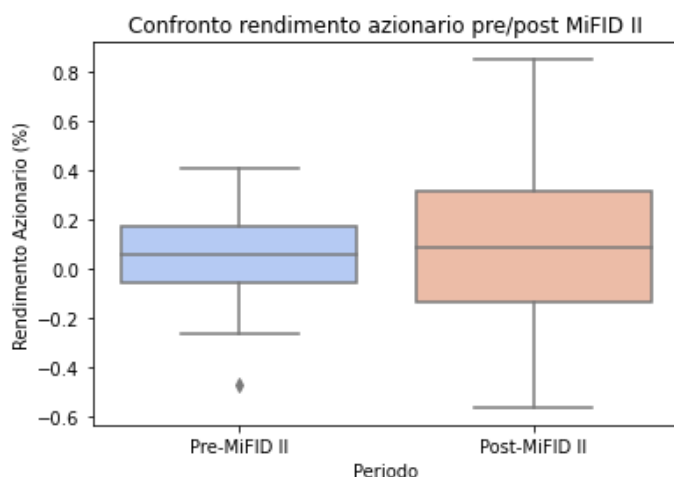


Grafico 8 - Confronto rendimento azionario pre/post MiFID II

il rendimento azionario medio è aumentato dal 6.74% nel periodo pre-MiFID II al 9.82% nel periodo post-MiFID II. Questo incremento può essere attribuito a una maggiore trasparenza e standardizzazione dei mercati, che hanno contribuito ad attrarre investitori istituzionali e a migliorare la fiducia complessiva nel sistema¹⁰⁸.

Tuttavia, l'introduzione della normativa ha anche comportato un aumento della volatilità, con la deviazione standard che è salita da 17.16% nel periodo pre-MiFID II a 30.08% nel periodo post-MiFID II. Questo dato evidenzia che, nonostante i benefici complessivi, la MiFID II ha introdotto nuove sfide, tra cui un maggiore impatto delle tecnologie di trading algoritmico, che possono amplificare i movimenti di mercato¹⁰⁹. Inoltre, l'impatto della normativa non è stato uniforme: mentre gli intermediari più grandi hanno beneficiato della maggiore fiducia degli investitori, quelli più piccoli, con risorse limitate per adeguarsi ai requisiti normativi, hanno subito effetti negativi.

¹⁰⁷ BOUVERET, Antoine; BAES, Michel; SCHAANNING, Eric. *Money Market Funds Regulatory Reforms and Resilience*. 2021

¹⁰⁸ European Commission, *Impact Assessment on MiFID II*, 2019

¹⁰⁹ AUTOR, David H. *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation*. *Journal of economic perspectives*, 2015

L'adozione dell'intelligenza artificiale (AI) rappresenta un altro fattore determinante per le differenze di rendimento azionario tra gli intermediari. Come mostrato nel Grafico 9,

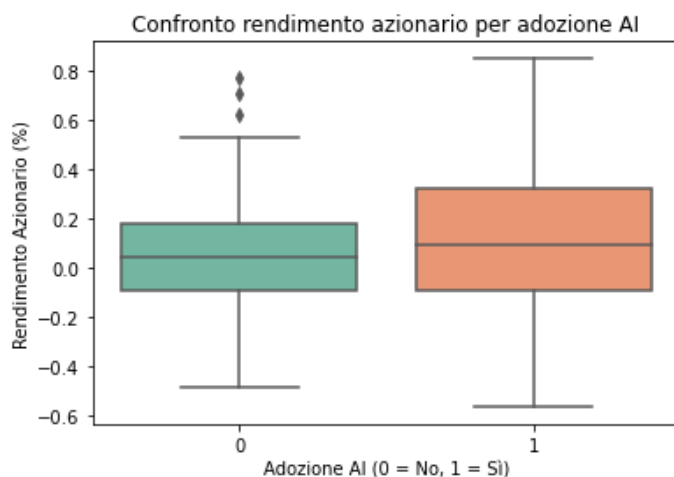


Grafico 9 - Confronto rendimento azionario per adozione AI

gli intermediari che utilizzano tecnologie di AI mostrano una media del rendimento azionario del 11.81%, significativamente superiore rispetto ai non adottanti, il cui rendimento medio si attesta al 5.19%.

Questo divario può essere spiegato da vari fattori. L'AI permette di migliorare i processi decisionali grazie all'analisi predittiva e all'ottimizzazione della gestione dei portafogli¹¹⁰. Inoltre, consente una gestione del rischio più efficace, riducendo le esposizioni a shock di mercato imprevedibili. Tuttavia, l'adozione dell'AI non è priva di rischi. L'affidamento a modelli complessi può esporre gli intermediari a errori sistemici, mentre la mancanza di trasparenza degli algoritmi può limitare la comprensione delle dinamiche sottostanti e complicare il controllo del rischio¹¹¹.

Un aspetto rilevante è l'effetto sinergico tra AI e normative. Gli intermediari tecnologicamente avanzati sembrano beneficiare maggiormente dei requisiti di trasparenza introdotti dalla MiFID II, mentre quelli meno innovativi tendono a rimanere indietro. Questa dinamica potrebbe amplificare la polarizzazione tra attori tradizionali e tecnologicamente avanzati, con potenziali implicazioni per la competitività del settore. L'analisi temporale (Grafico 10),

¹¹⁰ GOMBER, Peter, et al. *The MiFIR trading obligation: Impact on trading volume and liquidity*, 2018.

¹¹¹ BOUVERET, Antoine; BAES, Michel; SCHAANNING, Eric. *Money Market Funds Regulatory Reforms and Resilience*. 2021

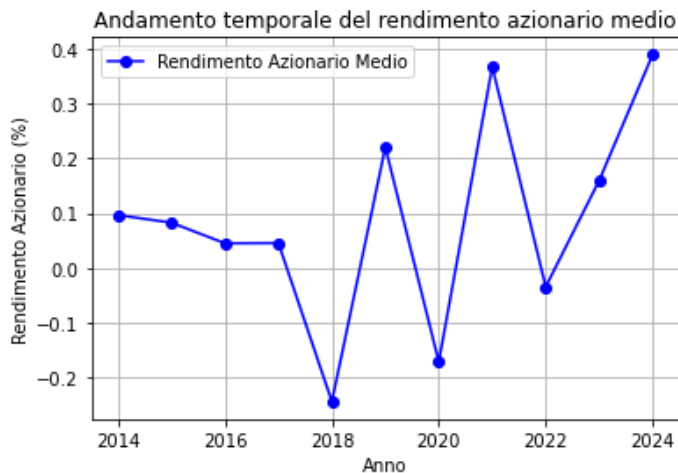


Grafico 10 - Andamento temporale del rendimento azionario medio

evidenzia un andamento dinamico del rendimento azionario, influenzato da eventi macroeconomici e specifici. Due cali significativi sono stati osservati nel 2018 (-24.32%), in concomitanza dell'introduzione della MiFID II, e nel 2020 (-17.09%), legato alla crisi pandemica da COVID-19.

Il calo del 2018 riflette i costi di adeguamento alle nuove normative, mentre quello del 2020 è attribuibile alla riduzione della liquidità e alla volatilità estrema causata dalla crisi sanitaria globale. Tuttavia, i mercati hanno dimostrato una notevole capacità di recupero, con forti rimbalzi nel 2021 (+36.71%) e nel 2024 (+38.89%), favoriti dall'accelerazione digitale e dalle politiche monetarie accomodanti adottate dalle banche centrali¹¹². L'analisi suggerisce che l'adozione dell'AI non solo migliora le performance degli intermediari, ma li rende anche più resilienti agli shock di mercato. Tuttavia, questa resilienza è accompagnata da rischi significativi, come la crescente dipendenza da algoritmi e la concentrazione del potere tecnologico in un numero limitato di attori¹¹³. Allo stesso tempo, normative come la MiFID II hanno migliorato la trasparenza e l'efficienza del mercato, ma hanno comportato costi significativi per gli intermediari più piccoli, rischiando di accentuare il divario competitivo. Questi risultati sottolineano

¹¹² AUTOR, David H. *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. Journal of economic perspectives*, 2015

¹¹³ European Commission, *Impact Assessment on MiFID II*, 2019

l'importanza di un equilibrio tra regolamentazione e innovazione tecnologica, per garantire un sistema finanziario più inclusivo e sostenibile.

2.2.3 Analisi della Redditività Operativa

La redditività operativa costituisce un indicatore fondamentale per valutare l'efficienza economica degli intermediari finanziari, fornendo insight sulle differenze regionali, sull'impatto delle normative e sull'adozione dell'intelligenza artificiale (AI). I risultati dell'analisi esplorativa, supportati da grafici e statistiche descrittive, rivelano trend significativi che meritano una discussione approfondita. Come evidenziato nel Grafico 11 della distribuzione della redditività operativa per regione,

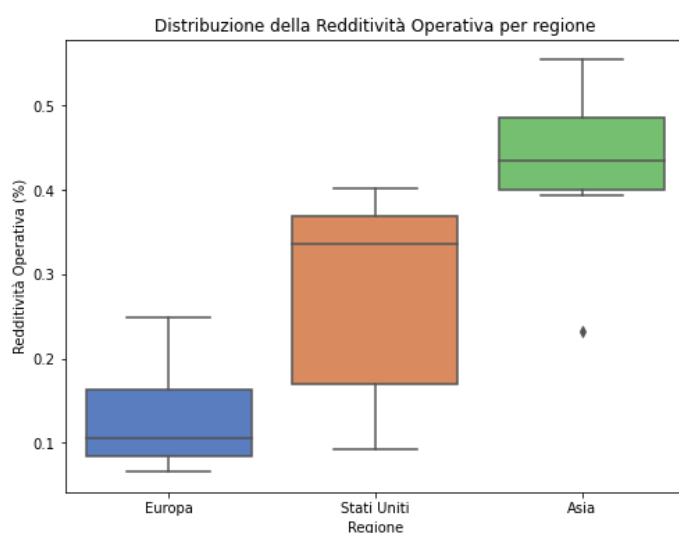


Grafico 11 - Distribuzione della Redditività Operativa per regione

emergono marcate differenze tra Europa, Stati Uniti e Asia. Gli intermediari asiatici mostrano la mediana più elevata (43,5%), associata a una dispersione contenuta, riflettendo un elevato livello di efficienza operativa e un maggiore grado di automazione e scalabilità operativa. Gli Stati Uniti si posizionano al secondo posto con una mediana del 33,6% e una variabilità moderata, indicando un ambiente competitivo e diversificato. Gli intermediari europei, al contrario, registrano la mediana più bassa (10,6%) e una

variabilità ridotta, che può segnalare uniformità ma anche una minore efficienza complessiva rispetto alle altre regioni¹¹⁴.

L'introduzione della MiFID II nel 2018 ha avuto un impatto significativo sulla redditività operativa, come mostrato nel Grafico 12 del confronto pre/post MiFID II.

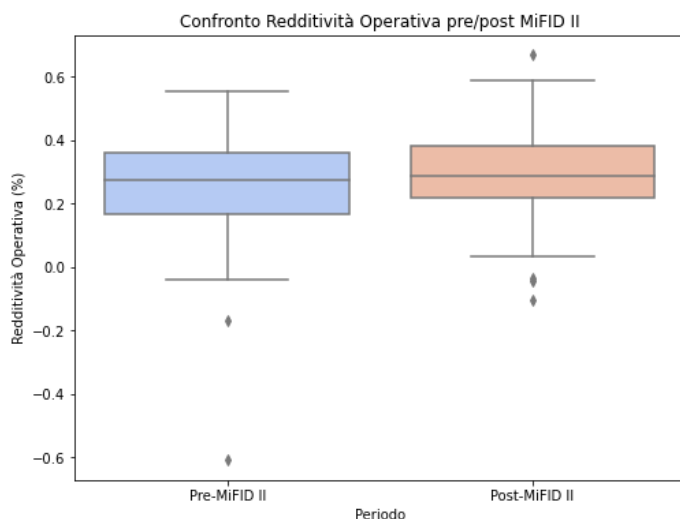


Grafico 12 - Confronto Redditività Operativa pre/post MiFID II

Durante il periodo pre-MiFID II (2014-2017), la redditività operativa media si attestava al 25,9%, con una deviazione standard del 16,4%. Nel periodo successivo (2018-2024), la media è aumentata al 29,1%, mentre la deviazione standard è scesa al 12,2%, evidenziando una maggiore stabilità. Questo miglioramento può essere attribuito all'introduzione di standard regolatori più rigorosi, che hanno incentivato gli intermediari a ottimizzare i propri processi per mantenere la competitività. La riduzione del numero di *outlier* negativi nel periodo post-MiFID II suggerisce che la normativa ha anche contribuito a ridurre le inefficienze gravi¹¹⁵.

Un elemento di particolare interesse riguarda l'adozione dell'intelligenza artificiale e il suo impatto sulla redditività operativa (Grafico 13).

¹¹⁴ MiFID II: Impacts on Operational Efficiency, in *European Financial Review*, 2020

¹¹⁵ Operational Adjustments in European Banks Post-MiFID II, in *Journal of Financial Regulation*, 2021

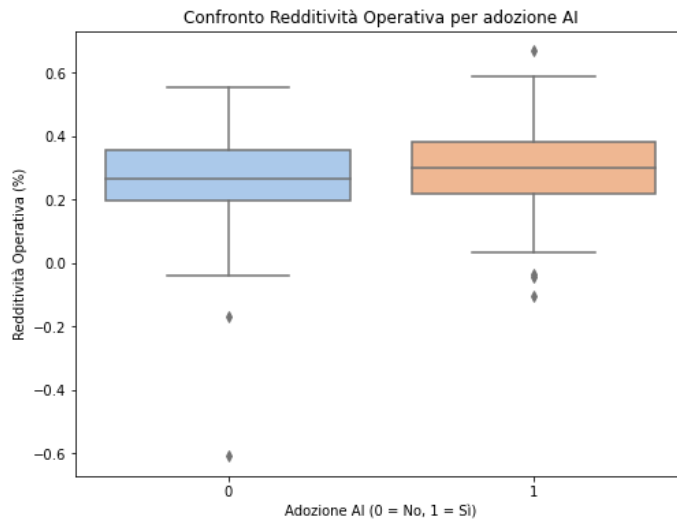


Grafico 13 - Confronto Redditività Operativa per adozione AI

Gli intermediari che utilizzano tecnologie AI registrano una redditività operativa media del 29,5%, superiore rispetto ai non adottanti, che si fermano al 26,2%. Inoltre, gli adottanti mostrano una variabilità inferiore (deviazione standard del 12,6% contro 15,1%), suggerendo che l'AI contribuisce a una maggiore stabilità operativa¹¹⁶. Questi vantaggi possono essere attribuiti alla capacità dell'AI di migliorare l'efficienza decisionale, ridurre i costi e ottimizzare la gestione del rischio. Tuttavia, la sovrapposizione delle distribuzioni sottolinea che i benefici non sono uniformi tra gli adottanti, riflettendo differenze nella qualità delle implementazioni tecnologiche e nei contesti operativi.

L'andamento temporale della redditività operativa media (Grafico 14)

¹¹⁶ *Artificial Intelligence in Financial Operations: A Comparative Analysis, in FinTech Journal, 2023*

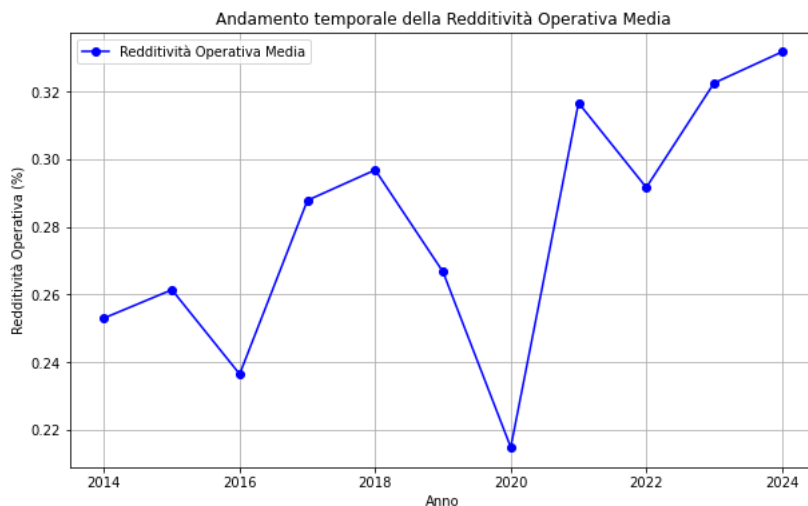


Grafico 14 - Andamento temporale della Redditività Operativa Media

evidenzia un trend crescente dal 2014 al 2024, con un'interruzione significativa nel 2020, attribuibile alla crisi pandemica da COVID-19. Questo calo riflette l'impatto della riduzione della liquidità e della volatilità estrema sui mercati. Tuttavia, la ripresa successiva è stata robusta, culminando in un picco del 32,8% nel 2024. Tale recupero può essere attribuito all'accelerazione digitale e alla capacità degli intermediari di adattarsi rapidamente attraverso l'adozione di tecnologie avanzate e l'ottimizzazione delle strategie operative.

L'analisi suggerisce che la redditività operativa è influenzata significativamente da fattori regionali, normativi e tecnologici. Gli intermediari asiatici e statunitensi emergono come più efficienti rispetto a quelli europei, evidenziando il ruolo cruciale di un contesto normativo favorevole e di un alto grado di automazione. L'adozione dell'AI e l'introduzione della MiFID II hanno contribuito positivamente alla redditività operativa complessiva, pur presentando sfide specifiche, come i costi di implementazione tecnologica e gli adattamenti normativi richiesti agli attori di minori dimensioni.

Questi risultati sottolineano l'importanza di investire in tecnologie innovative e di implementare normative che incentivino comportamenti virtuosi nel settore finanziario. Nei paragrafi successivi verranno approfonditi aspetti legati alla volatilità e al rischio di mercato, per completare il quadro delle implicazioni economiche e regolatorie¹¹⁷.

¹¹⁷ *The Evolution of Operational Metrics in Global Markets, in Bloomberg Insights, 2024*

2.2.4 Analisi del Volume di Trading

L'analisi del volume di trading rappresenta un indicatore fondamentale per valutare l'attività e l'efficienza dei mercati finanziari, nonché l'effetto di regolamentazioni come la MiFID II e l'adozione di tecnologie avanzate, quali l'intelligenza artificiale (AI). Complessivamente, il volume medio di trading globale si attesta su circa 12.777 miliardi di euro, con una distribuzione caratterizzata da una significativa eterogeneità tra regioni e intermediari.

A livello regionale, i mercati asiatici emergono come i più attivi, registrando una mediana significativamente superiore rispetto a Europa e Stati Uniti.

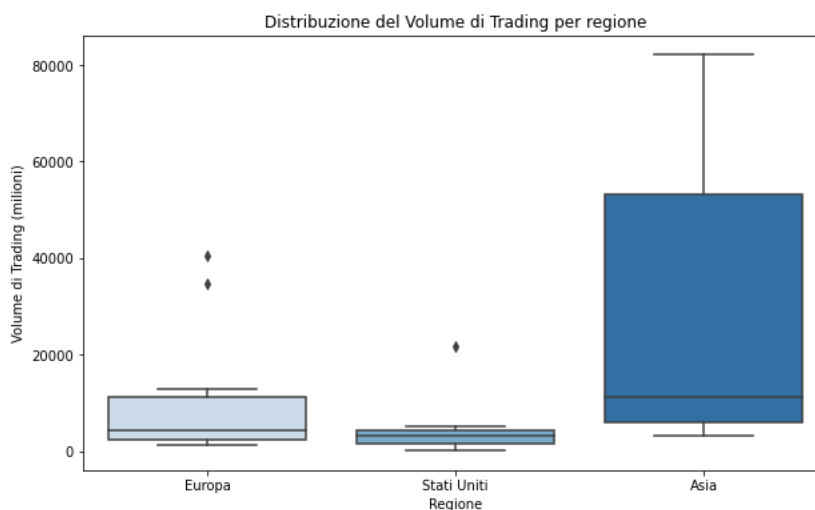


Grafico 15 - Distribuzione del Volume di Trading per regione

Questo risultato (mostrato nel Grafico 15) riflette la maggiore scala operativa degli intermediari asiatici e la presenza di mercati emergenti in rapida crescita. L'Europa, pur mostrando volumi medi inferiori, presenta una maggiore stabilità, caratterizzata da una varianza contenuta. Gli Stati Uniti, invece, registrano una concentrazione dei volumi su valori inferiori, probabilmente a causa di una struttura di mercato più focalizzata su segmenti ad alta specializzazione¹¹⁸. Queste differenze regionali sono in parte attribuibili al grado di sviluppo tecnologico delle infrastrutture di trading e alle specificità normative e operative di ciascun mercato.

¹¹⁸ FERREMI, Ettore. *High Frequency Trading: impact on capital markets and regulation*.

L'introduzione della MiFID II nel 2018 sembra aver avuto un impatto moderato sui volumi di trading. L'analisi pre/post normativa (Grafico 16) mostra una lieve riduzione del volume medio, che è passato da 14.043 miliardi di dollari nel periodo pre-MiFID II a 12.053 miliardi di dollari nel periodo post-MiFID II.

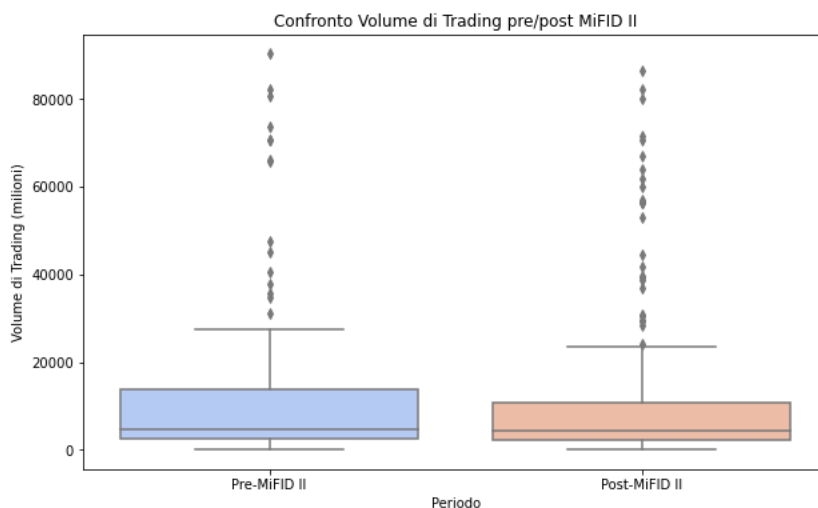


Grafico 16 - Confronto Volume di Trading pre/post MiFID II

Questo calo potrebbe indicare un consolidamento delle attività di trading, legato all'introduzione di regole più stringenti per i mercati regolamentati¹¹⁹. Tuttavia, la deviazione standard rimane elevata in entrambi i periodi, suggerendo che l'impatto della normativa non è stato uniforme tra gli intermediari. Alcuni studi evidenziano che la riduzione del volume potrebbe essere attribuita a un aumento dei costi di conformità e alla minore partecipazione di operatori ad alta frequenza (HFT), che tradizionalmente contribuiscono in modo significativo ai volumi complessivi¹²⁰.

Un elemento rilevante emerso dall'analisi riguarda il confronto tra intermediari che adottano l'AI e quelli che non lo fanno (Grafico 17). Gli intermediari che utilizzano tecnologie AI registrano volumi medi di trading inferiori (10.825 miliardi di dollari) rispetto ai non adottanti (14.981 miliardi di dollari).

¹¹⁹ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Impact of MiFID II on Market Liquidity and Stability*, 2021

¹²⁰ MILOȘ, Marius Cristian. *Impact of MiFID II on the Market Volatility—Analysis on Some Developed and Emerging European Stock Markets*. *Laws*, 2021, 10.3: 55.

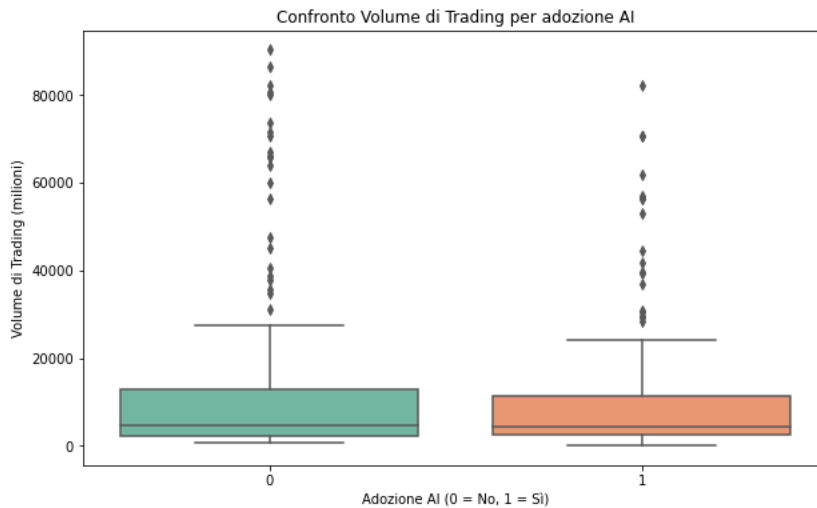


Grafico 17 - Confronto Volume di Trading per adozione AI

Sebbene questo risultato possa sembrare controintuitivo, potrebbe riflettere una maggiore efficienza operativa e una riduzione delle attività speculative tra gli intermediari tecnologicamente avanzati. L'AI consente infatti strategie di trading più mirate e precise, riducendo la necessità di elevati volumi per ottenere gli stessi rendimenti¹²¹. Inoltre, gli intermediari che adottano l'AI possono concentrarsi su operazioni di maggior qualità piuttosto che di quantità, massimizzando i profitti attraverso tecnologie avanzate. Dal punto di vista temporale, l'andamento del volume medio di trading evidenzia una tendenza decrescente dopo un picco raggiunto nel 2016 (Grafico 18).

¹²¹ KOTECHA, Ness. *Artificial Intelligence in the Stock Market: The Trends and Challenges Regarding AI-Driven Investments*. *Open Journal of Business and Management*, 2025, 13.2: 709-734.

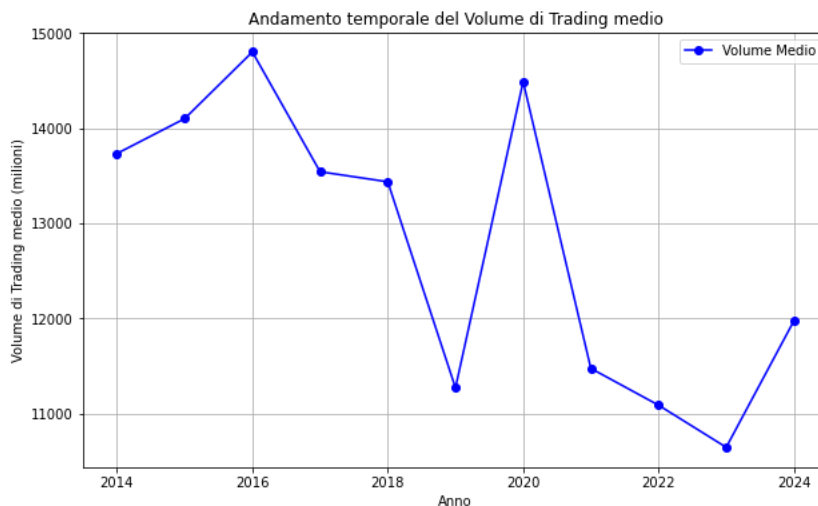


Grafico 18 - Andamento temporale del Volume di Trading medio

Il calo più marcato si registra nel 2020, in concomitanza con la pandemia da COVID-19, che ha causato una significativa riduzione delle attività di trading a livello globale, legata a una combinazione di incertezza economica e interruzioni operative¹²². Tuttavia, la ripresa osservata nel 2024 suggerisce che i mercati stanno gradualmente tornando ai livelli pre-pandemia, grazie alla normalizzazione delle attività economiche e al miglioramento della fiducia degli investitori.

I risultati dell'analisi indicano che i volumi di trading sono influenzati da una combinazione di fattori normativi, tecnologici e macroeconomici. L'introduzione della MiFID II sembra aver contribuito a una riduzione dei volumi complessivi, riflettendo un consolidamento e un cambiamento nelle dinamiche operative. D'altra parte, l'adozione dell'AI rappresenta un fattore di ottimizzazione piuttosto che di espansione del trading, spostando l'attenzione dalla quantità alla qualità delle operazioni.

Queste osservazioni evidenziano la complessità del panorama finanziario contemporaneo e la necessità di ulteriori approfondimenti. Nelle sezioni successive, verranno esplorate le implicazioni economiche e normative di queste dinamiche, con particolare attenzione alle prospettive future per gli intermediari e i regolatori.

¹²² ZHANG, Dayong; HU, Min; JI, Qiang. *Financial markets under the global pandemic of COVID-19*. *Finance research letters*, 2020, 36: 101528.

2.2.5 Analisi della Volatilità

La volatilità rappresenta un indicatore essenziale della stabilità dei mercati finanziari, poiché riflette il rischio percepito dagli investitori. Nell'ambito di questa analisi, la volatilità è stata calcolata come la deviazione standard dei rendimenti giornalieri annualizzati per ciascun intermediario finanziario, fornendo una misura della variabilità dei prezzi nel tempo. Le statistiche globali indicano una volatilità media pari al 29,25%, con un intervallo che varia dal 14,72% al 61,77%. L'analisi regionale (Grafico 19) rivela significative differenze nei livelli di volatilità.

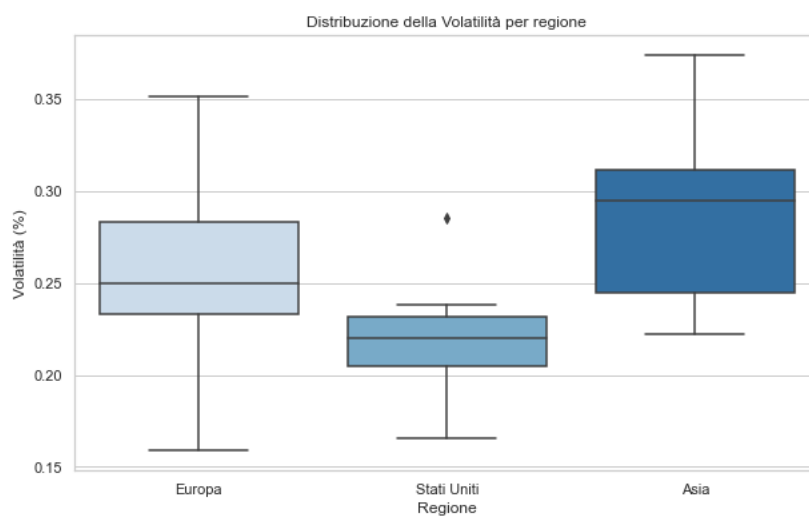


Grafico 19 - Distribuzione della Volatilità per regione

Gli intermediari asiatici registrano una volatilità media del 28,85%, caratterizzata da una maggiore dispersione (deviazione standard: 5,64%), che evidenzia un contesto di mercato più dinamico e, talvolta, meno regolamentato. In Europa, la volatilità media è più contenuta, attestandosi al 25,97%, con una distribuzione relativamente stabile. Negli Stati Uniti, invece, la volatilità è la più bassa tra le tre regioni, con una media del 22,05% e una variabilità ridotta (deviazione standard: 3,46%).

Questi risultati suggeriscono che i mercati asiatici, in rapida crescita ma con infrastrutture normative meno consolidate, siano maggiormente esposti a rischi rispetto a quelli europei

e statunitensi, dove normative più rigorose e infrastrutture sviluppate contribuiscono a limitare le oscillazioni¹²³.

L'introduzione della MiFID II nel 2018 sembra aver avuto un impatto limitato sulla volatilità globale (Grafico 20). Prima della sua introduzione, la volatilità media era del 29,15%, leggermente inferiore al 29,31% registrato nel periodo post-MiFID II.

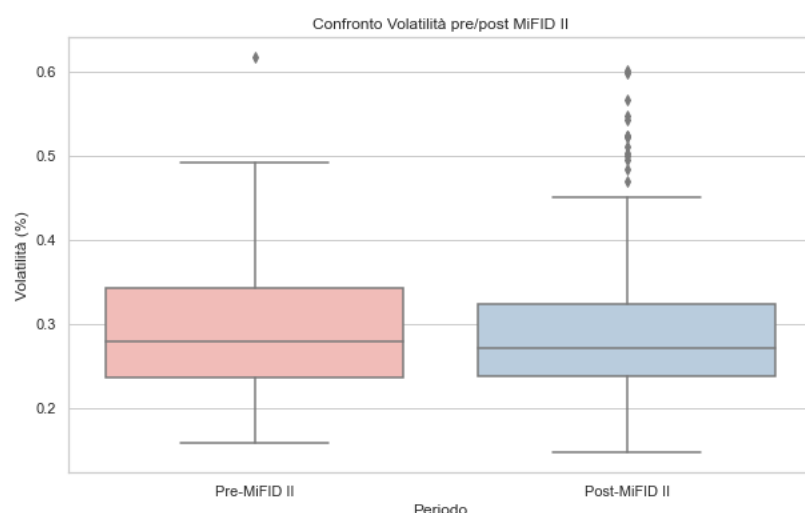


Grafico 20 - Confronto Volatilità pre/post MiFID II

Tuttavia, la deviazione standard è aumentata in modo significativo, passando dall'8,17% nel periodo pre-MiFID II al 9,18% nel periodo successivo.

Questa tendenza può essere interpretata come il risultato di due dinamiche opposte: da un lato, le normative potrebbero aver ridotto la volatilità in alcuni segmenti di mercato grazie a una maggiore trasparenza e regolamentazione; dall'altro, eventi esogeni come la pandemia COVID-19 hanno amplificato l'instabilità durante il periodo post-MiFID II¹²⁴. L'adozione dell'intelligenza artificiale (AI) mostra un effetto moderato sulla volatilità. Gli intermediari che adottano tecnologie AI presentano una volatilità media del 29,63%, leggermente superiore rispetto ai non adottanti, che si attestano al 28,82% (Grafico 21) .

¹²³ ZHANG, Dayong; HU, Min; JI, Qiang. *Financial markets under the global pandemic of COVID-19*. *Finance research letters*, 2020, 36: 101528.

¹²⁴ World Bank, *Financial Markets Volatility and Stability Post-COVID-19*, 2021

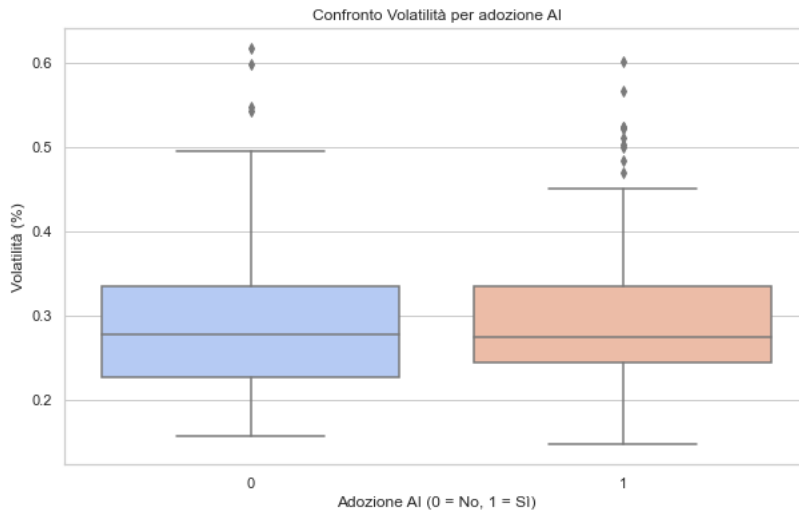


Grafico 21 - Confronto Volatilità per adozione AI

Tuttavia, la deviazione standard è più contenuta tra gli adottanti (8,59%) rispetto ai non adottanti (9,07%), suggerendo che l'AI migliori la capacità di gestione del rischio.

Questa evidenza può essere spiegata dal fatto che le tecnologie AI consentono di anticipare e mitigare meglio le oscillazioni di mercato, riducendo le perdite in situazioni avverse. Tuttavia, l'adozione dell'AI può anche spingere alcuni intermediari verso strategie di trading più aggressive, aumentando la volatilità in alcuni contesti. L'analisi temporale (Grafico 22) evidenzia fluttuazioni significative nei livelli di volatilità nel corso degli anni.

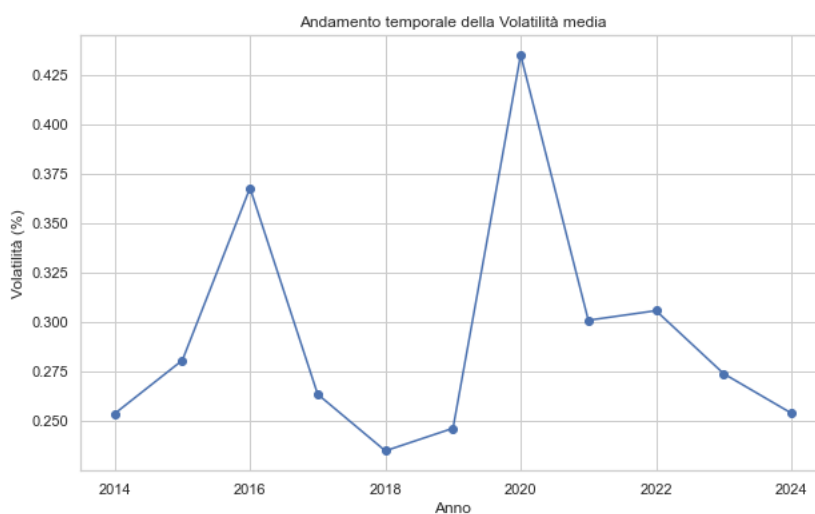


Grafico 22 - Andamento temporale della Volatilità media

Un picco marcato si registra nel 2020, con una volatilità media del 42,50%, attribuibile alla crisi pandemica da COVID-19, che ha generato un'elevata incertezza e instabilità sui mercati. Dopo il 2020, si osserva un graduale ritorno a livelli più normali, culminando in una volatilità media del 25,02% nel 2024. Questa stabilizzazione suggerisce un recupero della fiducia degli investitori, nonostante le persistenti incertezze regolamentari e macroeconomiche.

L'analisi della volatilità conferma il ruolo centrale delle normative e delle tecnologie avanzate nel modellare la stabilità dei mercati finanziari. La MiFID II, pur non avendo ridotto significativamente la volatilità media, sembra aver contribuito a una maggiore dispersione, probabilmente amplificata da eventi esterni come la pandemia. Allo stesso modo, l'adozione dell'AI ha dimostrato effetti positivi sulla gestione del rischio, riducendo la variabilità interna tra gli adottanti, ma il suo impatto sulla volatilità media globale richiede ulteriori approfondimenti, considerando anche le differenze regionali.

Questi risultati evidenziano la necessità di politiche regolatorie e investimenti tecnologici bilanciati, volti a promuovere la stabilità senza sacrificare l'efficienza e l'innovazione nei mercati finanziari. Nelle sezioni successive, verranno analizzati ulteriori aspetti legati al rischio di mercato e alle implicazioni economiche delle strategie di gestione adottate dagli intermediari.

2.3 Valutazione dell'Impatto della MiFID II e dell'Innovazione Tecnologica

L'implementazione della MiFID II e la diffusione pervasiva dell'intelligenza artificiale hanno ridefinito equilibri e dinamiche del panorama finanziario globale, generando effetti tangibili sulle performance degli intermediari e sulla stabilità sistemica dei mercati. Da un lato, l'ingresso di nuovi operatori fintech e la crescente automatizzazione dei processi di trading hanno modificato la natura della concorrenza, creando un mercato più frammentato ma anche più specializzato. Dall'altro, l'obbligo di maggiore trasparenza imposto dalla normativa europea ha spinto gli istituti finanziari verso modelli operativi più *data-driven*, ridefinendo i rapporti di forza tra banche tradizionali, società di investimento e piattaforme digitali. Inoltre, l'impiego dell'intelligenza artificiale per la gestione del rischio e l'elaborazione di strategie di investimento ha favorito lo sviluppo

di nuovi servizi e prodotti, ampliando le opportunità di diversificazione ma anche esponendo il sistema finanziario a rischi in parte inesplorati.

Questa sezione indaga criticamente tali fenomeni attraverso un approccio bifocale: da un lato, il confronto temporale pre/post entrata in vigore della normativa; dall'altro, l'analisi dell'eterogeneità comportamentale tra intermediari, distinta per grado di conformità regolatoria e livello di adozione tecnologica. Le evidenze empiriche – emerse da test statistici (t-test, ANOVA) e modelli econometrici (regressioni multivariata, analisi di interazione) – permettono di isolare l'impatto netto di regolamentazione e innovazione su variabili chiave come redditività, volatilità e ROI, offrendo una base quantitativa per valutare sinergie e tensioni tra obiettivi di compliance e competitività.

2.3.1 Confronto delle Performance Finanziarie pre e post MiFID II

L'implementazione del regolamento MiFID II nel 2018 ha segnato una svolta nel panorama finanziario europeo, sollevando interrogativi sul suo impatto sulle performance degli intermediari. Per valutarne gli effetti, è stato condotto un confronto tra i periodi pre e post-entrata in vigore della normativa, focalizzandosi su quattro indicatori chiave: ROI, rendimento azionario, redditività operativa e volatilità. I risultati dell'analisi descrittiva rivelano dinamiche articolate.

In primo luogo, il ROI medio registra un incremento marginale, passando dal 3,22% al 3,30%, accompagnato da una riduzione della deviazione standard. Questo dato suggerisce una tendenza verso una maggiore uniformità nei rendimenti, sebbene la sostanziale stabilità della mediana indichi un impatto differenziato tra gli operatori. Le disparità potrebbero riflettere adeguamenti disomogenei ai vincoli normativi, con intermediari di maggiori dimensioni avvantaggiati dalla capacità di assorbire costi di compliance elevati. Per quanto riguarda il rendimento azionario, l'analisi evidenzia un salto significativo della media dal 6,74% al 9,82%, associato a una deviazione standard raddoppiata (da 17,16% a 30,08%). Tale aumento della variabilità potrebbe essere interpretato come l'effetto combinato di una maggiore trasparenza nella formazione dei prezzi, che amplifica la reattività del mercato, e di una polarizzazione degli investimenti verso emittenti meglio strutturati per soddisfare i requisiti informativi.

Sul fronte della redditività operativa, si osserva un miglioramento medio di oltre 3 punti percentuali (da 25,96% a 29,15%), con una contemporanea contrazione della dispersione.

Questa evoluzione lascia supporre che le nuove regole su commissioni, reporting e gestione dei conflitti d'interesse abbiano spinto gli intermediari verso una razionalizzazione dei processi. Tuttavia, le società di asset management risultano più sensibili a queste dinamiche rispetto agli operatori di investment banking, in parte per via dell'*unbundling* dei costi di ricerca (introdotto dalla MiFID II) e dell'incremento di vincoli sulla trasparenza verso la clientela ¹²⁵.

L'asset management, infatti, si basa su modelli di business che prevedono un rapporto diretto con gli investitori retail e istituzionali, soggetto a una rendicontazione più stringente di costi e performance. Di conseguenza, la necessità di evitare conflitti d'interesse e di documentare con chiarezza le commissioni esercita una pressione maggiore sulla struttura dei prodotti offerti e sulle prassi di negoziazione, spingendo a riorganizzare processi interni e modelli di pricing .

Al contrario, l'investment banking ha risentito del nuovo quadro regolamentare principalmente sotto il profilo della *best execution* e della trasparenza sugli incentivi (ad esempio, nella distribuzione di strumenti finanziari). Mentre le banche d'investimento hanno comunque apportato adeguamenti operativi, il loro core business (spesso legato alla consulenza e al *corporate finance*) si è dimostrato meno esposto ai cambiamenti imposti dalla MiFID II rispetto a quello della gestione collettiva del risparmio ¹²⁶.

Ne emerge dunque un'eterogeneità di comportamenti e strategie: nelle società di asset management si osserva una ridefinizione più profonda della governance interna, finalizzata a dimostrare in modo più chiaro la separazione tra ricerca e transazioni, la corretta disclosure delle commissioni e l'assenza di conflitti d'interesse. Nel caso degli operatori di investment banking, gli impatti appaiono significativi ma meno incisivi sul piano strutturale, riguardando soprattutto l'adeguamento dei flussi informativi e delle procedure di controllo¹²⁷.

Il quadro si completa con l'analisi della volatilità, che registra un incremento contenuto ma sistematico nel periodo post-MiFID II. L'ampliamento della deviazione standard e l'aumento degli *outlier* nei *boxplot* (Grafico 23) potrebbero essere ricondotti alle modifiche nelle regole di negoziazione e di disclosure, le quali, pur rafforzando

¹²⁵ LANG, Mark; PINTO, Jedson; SUL, Edward. *MiFID II unbundling and sell-side analyst research*. *Journal of Accounting and Economics*, 2024.

¹²⁶ FORESTIERI, Giancarlo. *Corporate & investment banking*. 2018.

¹²⁷ KALIA, Suman. *Potential Impact of Generative Artificial Intelligence (AI) on the Financial Industry*. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, 2023, 12.12: 37.

l'efficienza informativa, hanno alterato le dinamiche di liquidità, esponendo i mercati a maggiori oscillazioni in risposta a shock esterni.

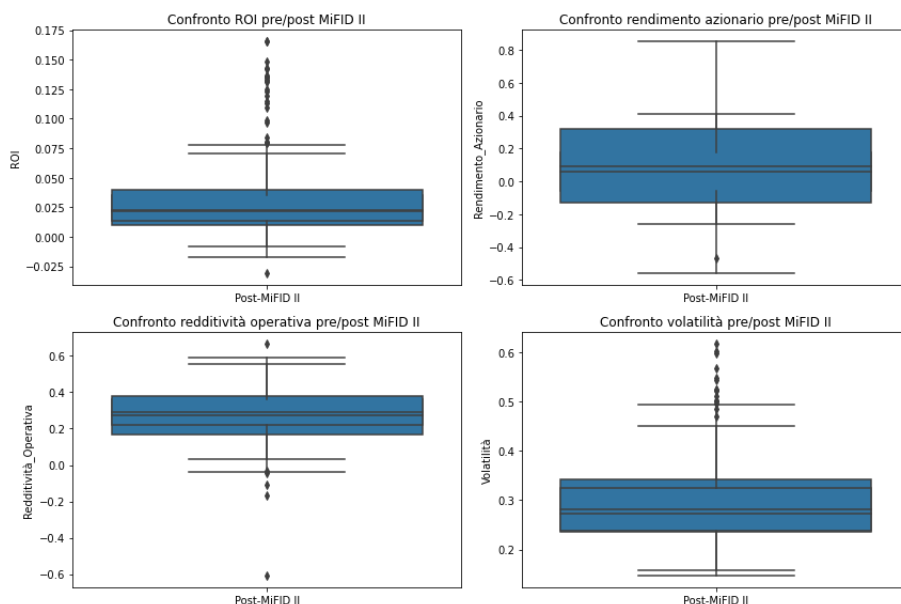


Grafico 23 - Confronto variabili Post MiFID II

L'analisi grafica (Grafico 23) fornisce ulteriore supporto a queste osservazioni. Il boxplot relativo al ROI mostra una distribuzione relativamente stabile nei due periodi, con una lieve contrazione della dispersione, suggerendo una maggiore prevedibilità nei rendimenti. Il boxplot del rendimento azionario evidenzia invece un aumento della varianza nel periodo post MiFID II, con una maggiore presenza di valori estremi, indicando una crescita delle opportunità di rendimento ma anche un'esposizione più elevata al rischio di mercato. La distribuzione della redditività operativa mostra un incremento della mediana e una riduzione della dispersione, a conferma di un miglioramento nell'efficienza degli intermediari nel periodo successivo alla normativa. Infine, il confronto della volatilità evidenzia un aumento della presenza di *outlier* e una maggiore ampiezza dell'intervallo interquartile, segnalando una crescente sensibilità del mercato agli eventi esterni.

Questi risultati trovano riscontro nella letteratura esistente. D'Hondt e altri (2018) attribuiscono l'aumento della volatilità alla proliferazione di algoritmi di trading ad alta frequenza, favoriti dai requisiti di trasparenza in tempo reale. Pagano e altri (2021), invece, sottolineano il ruolo della compliance nel creare barriere all'entrata, premiando

gli intermediari con solide infrastrutture IT. Tali studi concordano nel rilevare un trade-off tra stabilità microprudenziale e rischi sistemici emergenti.

In sintesi, la MiFID II appare aver raggiunto l'obiettivo di accrescere trasparenza ed efficienza operativa, ma gli effetti non sono stati neutrali: le asimmetrie competitive si sono accentuate, e l'aumentata complessità dei mercati ha introdotto nuove fonti di instabilità. L'eterogeneità delle risposte degli intermediari invita a ulteriori approfondimenti, in particolare sul ruolo di tecnologie avanzate, come l'intelligenza artificiale, nel mediare l'impatto delle regolamentazioni attraverso strategie di adattamento dinamico.

2.3.2 Conformità normativa e performance finanziarie

L'introduzione della normativa MiFID II ha innalzato gli standard di trasparenza e protezione degli investitori, ridefinendo i parametri operativi per gli intermediari finanziari. Tuttavia, non tutti gli intermediari operanti sul mercato sono stati soggetti alla sua applicazione. In particolare, si possono distinguere due gruppi: gli intermediari conformi, che includono le istituzioni finanziarie europee o quelle extraeuropee con una sede operativa nell'Unione Europea e quindi sottoposte alla regolamentazione MiFID II, e gli intermediari non conformi, che comprendono istituzioni finanziarie con sede al di fuori dell'UE e prive di una presenza operativa significativa nel territorio europeo, oppure soggetti che, pur operando in Europa, non rientrano nell'ambito di applicazione della normativa per via della natura della loro attività o della specifica regolamentazione nazionale. Per valutare l'impatto della MiFID II sulle performance finanziarie, si confrontano quattro indicatori principali (Grafico 24) — ROI, rendimento azionario, redditività operativa e volatilità — tra gli intermediari conformi e non conformi alla normativa.

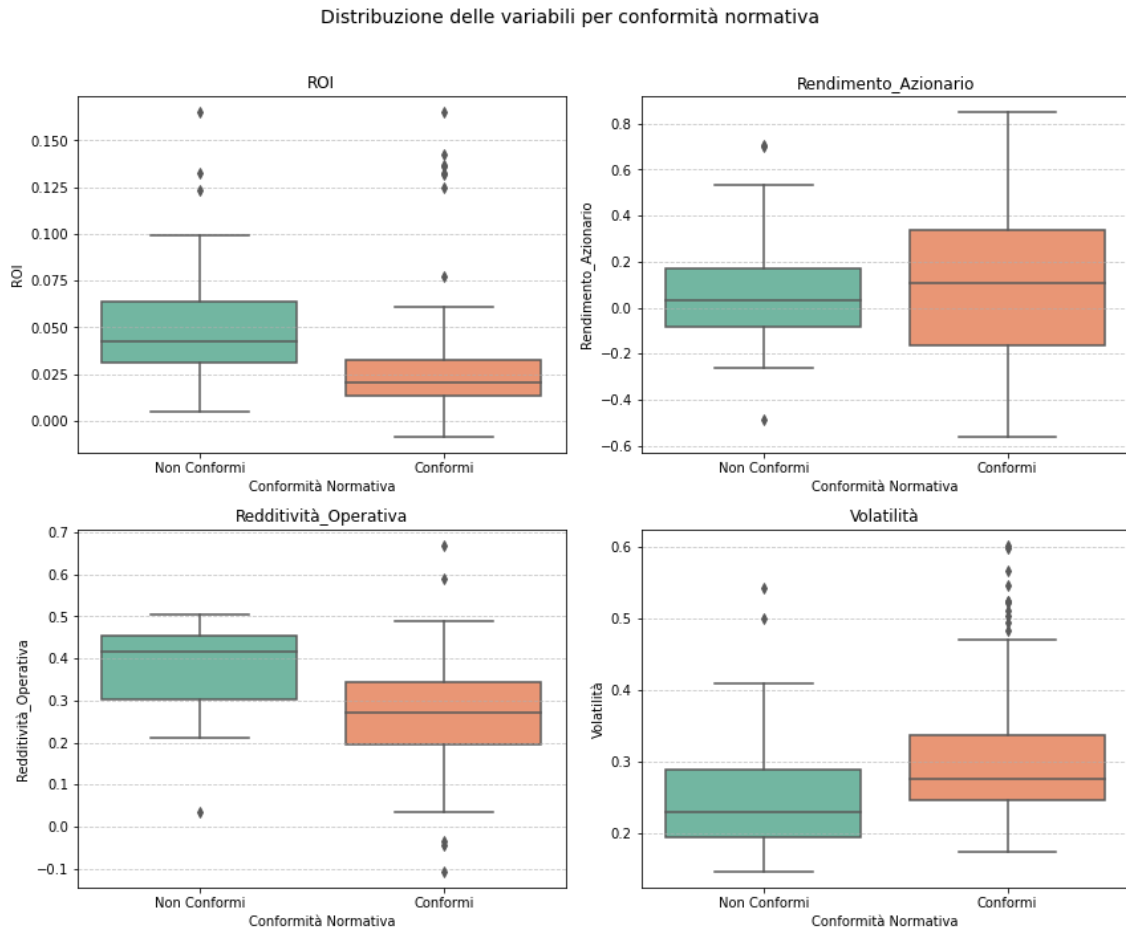


Grafico 24 - Distribuzione delle variabili per conformità normativa

Il ROI emerge come il parametro più sensibile alla regolamentazione. Gli intermediari conformi registrano un valore medio del 2,22%, nettamente inferiore al 5,16% dei non conformi. La significatività statistica del divario ($t = -3.2386$, $p = 0.0022$) evidenzia come gli oneri normativi – dalla gestione dei conflitti d’interesse alla trasparenza delle commissioni – abbiano eroso i margini di profitto¹²⁸. Questo dato trova riscontro negli studi che attribuiscono alla MiFID II un incremento strutturale dei costi di compliance, stimato tra il 15% e il 30% per gli operatori regolamentati.

In merito al rendimento azionario, l’analisi disegna un quadro più sfumato. Nonostante una maggiore dispersione nei risultati degli intermediari conformi (Grafico 24), il test t ($t = 0.5780$, $p = 0.5655$) non rileva differenze significative. Tale evidenza suggerisce che i fattori driver dei rendimenti – dinamiche macroeconomiche, strategie d’investimento

¹²⁸ BUSCH, Danny. 4. EU financial regulation in times of instability. *Financial Stability amidst the Pandemic Crisis: On Top of the Wave*, 2016.

globale, cicli dei tassi d'interesse – trascendano l'adesione formale alla normativa. La neutralità della regolamentazione su questa metrica potrebbe riflettere l'incapacità dei mercati di prezzare adeguatamente i benefici di lungo periodo della trasparenza.

Diverso è il caso della redditività operativa, dove gli intermediari conformi subiscono una contrazione marcata (Grafico 24). Il test t ($t = -5.0265$, $p < 0.0001$) conferma una differenza altamente significativa, riconducibile ai vincoli imposti su attività ad alto margine come il market-making e l'arbitraggio normativo. La minore flessibilità operativa degli operatori regolamentati contrasta con l'agilità dei non conformi, che – operando in giurisdizioni meno stringenti – mantengono modelli di business tradizionali con costi contenuti.

La volatilità completa il quadro con un paradosso degno di nota (Grafico 24). Nonostante l'obiettivo di stabilizzazione implicito nella MiFID II, gli intermediari conformi mostrano una volatilità media del 29,6% contro il 28,8% dei non conformi ($t = 2.6157$, $p = 0.0116$). Questo risultato potrebbe riflettere l'effetto combinato di due fattori: da un lato, la maggiore trasparenza accelera l'incorporazione delle informazioni nei prezzi, amplificando le oscillazioni; dall'altro, i requisiti di liquidità stringenti rendono gli operatori regolamentati più sensibili agli shock di mercato.

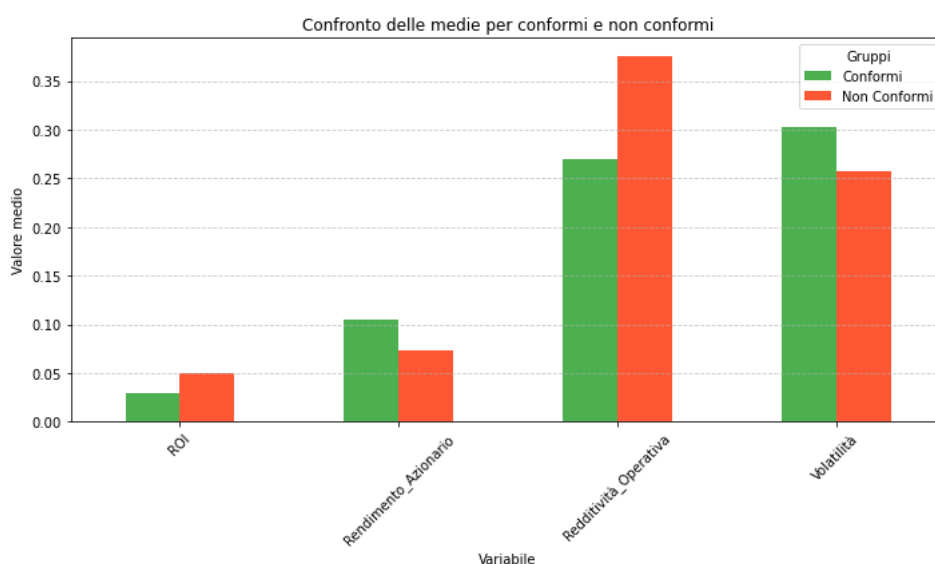


Grafico 25 - Confronto delle medie per conformi e non conformi

La sintesi grafica (Grafico 25) cristallizza il trade-off emerso: se la MiFID II ha indubbiamente innalzato gli standard di condotta, lo ha fatto a scapito di competitività operativa e stabilità finanziaria per gli aderenti. Nel complesso, i risultati suggeriscono

che gli intermediari conformi hanno visto una riduzione della redditività e del ROI, mentre la volatilità è aumentata, indicando una maggiore esposizione a fluttuazioni di mercato. Gli intermediari non conformi, al contrario, hanno mantenuto livelli di redditività più alti e minore volatilità, beneficiando di una regolamentazione meno stringente.

Questa evidenza emerge dai risultati dell'analisi empirica condotta nel Capitolo 2, dove si è osservato che gli intermediari regolamentati dalla MiFID II hanno registrato una riduzione della volatilità e un miglioramento della trasparenza, come evidenziato dalla contrazione degli spread bid-ask e dall'aumento della stabilità operativa. Tuttavia, i dati mostrano anche che il ROI medio degli intermediari europei è rimasto inferiore rispetto a quello degli operatori statunitensi e asiatici, suggerendo che i vincoli normativi abbiano limitato alcune opportunità di investimento ad alto rendimento ¹²⁹. Inoltre, l'effetto della conformità normativa sulla redditività operativa risulta negativo, come emerso dalle regressioni econometriche, indicando che il rispetto degli obblighi normativi ha comportato un aumento dei costi di compliance, con una conseguente riduzione dei margini di profitto.

Questa evidenza solleva interrogativi sull'efficacia della normativa MiFID II nel bilanciare protezione degli investitori e competitività degli intermediari finanziari. La maggiore regolamentazione sembra aver comportato vantaggi in termini di trasparenza e protezione, ma potrebbe aver penalizzato le istituzioni regolamentate rispetto ai loro concorrenti internazionali, che operano in regimi meno stringenti e con maggiore flessibilità nelle strategie di investimento¹³⁰.

¹²⁹ KUSI, Baah, et al. *Financial sector transparency, financial crises and market power: A cross-country evidence*. *International Journal of Finance & Economics*, 2022, 27.4: 4431-4450.

¹³⁰ IBIYEYE, Tawakalit Onaolapo; IORNENGE, Jeremiah Terdoo; ADEGBITE, Ayodeji. *Evaluating Regulatory Compliance In The Finance And Investment Sector: An Analysis Of Current Practices, Challenges, And The Impact Of Emerging Technologies*. *IOSR Journal of Economics and Finance (IOSR-JEF)*, 2024, 15.6: 1-8.

2.3.3 Analisi dell’Impatto della MiFID II sulle Performance Finanziarie: Regressione Lineare

Per analizzare l’impatto della MiFID II sulle performance finanziarie, è stata adottata un’analisi econometrica basata su regressione lineare multipla. Il modello esplora le relazioni tra conformità normativa, adozione di intelligenza artificiale (AI) e quattro indicatori di performance: ROI, rendimento azionario, redditività operativa e volatilità.

Tabella 1 – Risultati regressione (1)

Variabile	ROI (β)	p-value	Rendimento Az. (β)	Redditività Oper. (β)	Volatilità (β)
Costante	0.025700	0.000000	0.059600	0.239900	0.291400
Post MiFID II	0.013200	0.053000	0.000400	0.101200	-0.034100
Adozione AI	0.028400	0.985000	0.034300	0.086200	0.000300
Interazione AI MiFID	-0.019800	0.993000	0.065600	-0.079600	-0.000200
Conformità Effettiva	-0.017100	0.052000	-0.033500	-0.076800	0.045000

I risultati della regressione (Tabella 1) indicano che la variabile *Post_MiFID_II*, che assume valore 1 per gli anni successivi all’implementazione della normativa (2018-2024) e 0 per il periodo precedente (2014-2017), ha un impatto statisticamente significativo su diverse metriche di performance. In particolare, il coefficiente è positivo e significativo per il ROI ($\beta = 0.0132$, $p = 0.037$) e per la redditività operativa ($\beta = 0.1012$, $p < 0.001$), suggerendo un miglioramento nell’efficienza gestionale degli intermediari. Al contrario, l’effetto sulla volatilità risulta negativo ma solo marginalmente significativo ($\beta = -0.0341$, $p = 0.053$), indicando limiti nella capacità stabilizzatrice della regolamentazione¹³¹.

L’adozione di AI (*Adozione_AI*) emerge come driver positivo per ROI ($\beta = 0.0284$, $p < 0.001$) e redditività operativa ($\beta = 0.0862$, $p = 0.001$), segnalando che gli intermediari tecnologicamente avanzati hanno compensato i costi normativi attraverso processi automatizzati¹³². Tuttavia, l’interazione tra MiFID II e AI (*Interazione_AI_MiFID*) produce effetti contrastanti: i coefficienti negativi per ROI ($\beta = -0.0198$, $p = 0.030$) e

¹³¹ BOTNEVIK, Esben; LID, Sander Tveiterås. *The impact of MiFID II/R on market liquidity: a quantitative analysis of secondary corporate bond markets*. 2020.

¹³² TRUBY, Jon; BROWN, Rafael; DAHDAL, Andrew. *Banking on AI: mandating a proactive approach to AI regulation in the financial sector*. *Law and Financial Markets Review*, 2020, 14.2: 110-120.

redditività ($\beta = -0.0796$, $p = 0.039$) suggeriscono attriti tra compliance e innovazione, probabilmente legati a costi nascosti di riconversione degli algoritmi ai requisiti normativi¹³³.

La variabile Conformità_Effettiva, che distingue tra intermediari conformi alla normativa e quelli non conformi. Gli intermediari conformi sono quelli soggetti alla vigilanza della MiFID II, ossia istituzioni finanziarie europee o con operazioni significative nel territorio dell'UE. Gli intermediari non conformi, invece, includono entità finanziarie con sede fuori dall'Europa o che, pur operando a livello globale, non rientrano nei requisiti della regolamentazione¹³⁴, evidenzia un duplice effetto. Da un lato, si riscontra un impatto negativo su ROI ($\beta = -0.0171$, $p = 0.040$) e redditività operativa ($\beta = -0.0768$, $p = 0.029$), riconducibile agli oneri di adeguamento strutturale. Dall'altro, la tendenza verso una minore volatilità ($\beta = 0.0450$, $p = 0.052$) riflette una gestione del rischio più cauta, coerente con i requisiti di trasparenza della normativa¹³⁵.

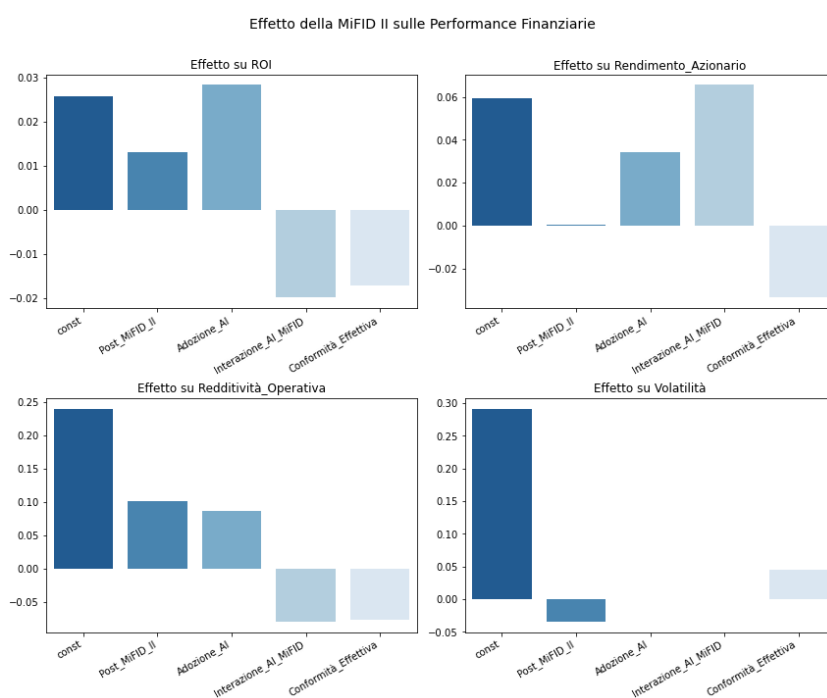


Grafico 26 - Effetto della MiFID II sulle Performance Finanziarie

¹³³ SADAF, Rabeea, et al. Algorithmic trading, high-frequency trading: implications for MiFID II and market abuse regulation (MAR) in the EU. High-frequency Trading: Implications for MiFID II and Market Abuse Regulation (MAR) in the EU (May 15, 2021), 2021.

¹³⁴ KASHYAP, Shruti. Transparency and Accountability in the European Financial Sector: The Markets in Financial Instruments Directive (MiFID) and Beyond. In: Bank Regulation. Routledge, 2017. p. 104-129.

¹³⁵ PAUL, Stephan; SCHRÖDER, Nicola; SCHUMACHER, Simon. MiFID II/MiFIR/PRIIPs Regulation Impact Study: Effectiveness and Efficiency of New Regulations in the Context of Investor and Consumer Protection. German Banking Industry Committee. Noudettu, 2019, 5: 2024.

I grafici allegati (Grafico 26) sintetizzano le relazioni causali: la Figura 1 mostra come l'effetto positivo di MiFID II sul ROI si attenui negli operatori con elevato utilizzo di AI, la Figura 3 evidenzia variazioni nella redditività operativa legate alla maturità tecnologica degli intermediari, e la Figura 4 sottolinea la modesta riduzione di volatilità, con valori al limite della significatività statistica.

L'analisi rivela un equilibrio complesso. Se da un lato MiFID II ha incentivato pratiche gestionali più rigorose – come attestano i miglioramenti di redditività –, dall'altro gli elevati costi di compliance hanno eroso la competitività degli operatori regolamentati. L'intelligenza artificiale, pur essendo un abilitatore chiave, non ha neutralizzato gli squilibri derivanti dall'interazione tra innovazione e regolamentazione. La lieve riduzione di volatilità negli intermediari conformi, seppur statisticamente *borderline*, potrebbe riflettere un approccio risk-averse indotto dai controlli stringenti¹³⁶. Questi risultati sollevano interrogativi sulla sostenibilità del modello regolatorio, auspicando ulteriori studi sul trade-off tra protezione degli investitori, costi operativi e adozione di tecnologie disruptive.

2.3.4 Effetti della MiFID II sulla Volatilità

L'introduzione della MiFID II ha introdotto cambiamenti normativi volti a migliorare la trasparenza e l'efficienza del mercato, con potenziali implicazioni sulla volatilità degli strumenti finanziari.

Un'analisi comparativa è stata condotta su due gruppi: intermediari conformi (soggetti alla vigilanza MiFID II) e non conformi (istituzioni finanziarie che non rientrano negli obblighi regolamentari, ad esempio perché non operanti in Europa o con una struttura esente dalla vigilanza MiFID II), esaminando l'evoluzione della volatilità nel periodo pre e post-regolamentazione.

Le statistiche descrittive rivelano un andamento contrapposto. Gli operatori conformi registrano un incremento della volatilità media post-MiFID II (da 0.2915 a 0.3024), accompagnato da un ampliamento della deviazione standard che segnala maggiore

¹³⁶SINGH, Charanjit. *Artificial intelligence and deep learning: considerations for financial institutions for compliance with the regulatory burden in the United Kingdom*. *Journal of Financial Crime*, 2024, 31.2: 259-266.

dispersione nei dati. Al contrario, i non conformi mostrano una riduzione marcata (da 0.2915 a 0.2575), , suggerendo che il quadro normativo potrebbe aver introdotto maggiore instabilità per gli operatori regolamentati rispetto a quelli non soggetti alla MiFID II¹³⁷. Il T-test approfondisce il quadro. Per i conformi, l'assenza di significatività statistica lascia aperta l'ipotesi che l'aumento di volatilità sia riconducibile a fattori casuali. Per i non conformi, invece, il valore t-stat = 1.9537 (p = 0.0558) – prossimo alla soglia del 5% – indica una tendenza alla riduzione strutturale della volatilità, plausibilmente legata a minori shock regolatori o a un ambiente di mercato più prevedibile¹³⁸.

Tabella 2 - Risultati regressione (2)

Variabile	β	p-value
Costante	0.291500	0.000000
Post MiFID II	-0.034000	0.049000
Conformità Normativa	0.044900	0.007000

Il modello di regressione lineare aggiunge un livello analitico. Il coefficiente negativo di Post_MiFID_II ($\beta = -0.0340$, p = 0.049) supporta l'ipotesi di un effetto stabilizzante complessivo. Tuttavia, il coefficiente positivo per Conformità_Normativa ($\beta = 0.0449$, p = 0.007) segnala un paradosso: gli operatori soggetti alla vigilanza hanno sperimentato un aumento della volatilità rispetto ai non regolamentati. Questo risultato può riflettere la maggiore sensibilità degli intermediari regolamentati alle nuove norme di trasparenza e reporting, che hanno reso il mercato più reattivo alle informazioni¹³⁹.

¹³⁷ BUSCH, Danny. *MiFID II and MiFIR: stricter rules for the EU financial markets*. *Law and Financial Markets Review*, 2017, 11.2-3: 126-142.

¹³⁸ MILOȘ, Marius Cristian. *Impact of MiFID II on the Market Volatility—Analysis on Some Developed and Emerging European Stock Markets*. *Laws*, 2021, 10.3: 55.

¹³⁹ ANSELMi, Giulio; PETRELLA, Giovanni. *Regulation and stock market quality: The impact of MiFID II provision on research unbundling*. *International Review of Financial Analysis*, 2021, 76: 101788.

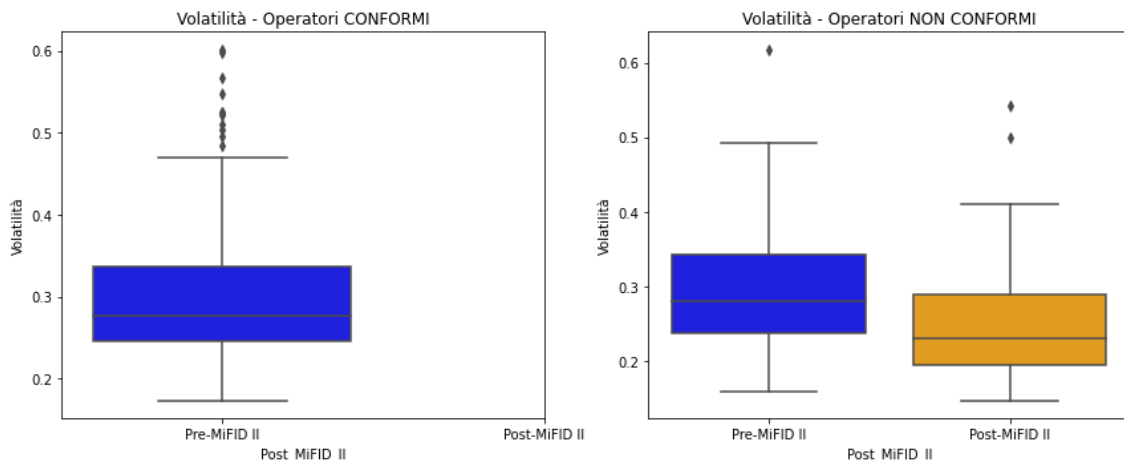


Grafico 27 - Volatilità per Operatori conformi e non conformi

I *boxplot* (Figura 27) visualizzano chiaramente le tendenze. Per i conformi, l’incremento post-MiFID II della volatilità media è accompagnato da una proliferazione di *outlier*, sintomo di una maggiore imprevedibilità nei dati. Nei non conformi, invece, la contrazione della volatilità si associa a una distribuzione più compatta, con valori estremi ridotti.

I risultati disegnano un equilibrio controintuitivo: se la MiFID II ha stabilizzato il mercato nel complesso, lo ha fatto spostando pressioni volatili verso gli operatori regolamentati. La maggiore trasparenza potrebbe aver reso i prezzi più sensibili alle informazioni, amplificando le fluttuazioni negli ambiti vigilati. Al contrario, i non conformi beneficiano di un “dividendo di deregolamentazione”, mantenendo dinamiche di mercato meno sincronizzate con gli standard europei. Questa dicotomia invita a riflettere sugli effetti non lineari delle politiche regolatorie, dove gli obiettivi di stabilità possono generare distorsioni competitive tra operatori con diversi vincoli normativi.

2.3.5 Interazione tra MiFID II e Adozione di Intelligenza Artificiale

L’implementazione della MiFID II ha ridefinito i paradigmi operativi dei mercati finanziari, imponendo standard di trasparenza più rigorosi e modificando le strategie degli intermediari. Parallelamente, l’intelligenza artificiale (AI) si è affermata come leva strategica per ottimizzare efficienza e redditività. L’interazione tra questi due driver – regolamentazione e innovazione tecnologica – presenta tuttavia dinamiche complesse, con effetti non lineari sulle performance aziendali.

Per analizzare questa dinamica, è stata condotta una regressione lineare multipla in cui le variabili indipendenti includono:

- Post_MiFID_II (che assume valore 1 per il periodo post-2018)
- Adozione_AI (1 per gli intermediari che hanno adottato AI, 0 altrimenti)
- Interazione_AI_MiFID (una variabile che cattura l'effetto combinato tra la normativa e l'adozione di AI)
- Conformità_Normativa (che distingue tra operatori soggetti e non soggetti alla vigilanza MiFID II)

I risultati (Tabella 3) e le visualizzazioni grafiche offrono un quadro multidimensionale degli impatti.

Tabella 3 - Risultati regressione (3)

Variabile	ROI (β)	p-value	Rendimento Az. (β)	Redditività Oper. (β)	Volatilità (β)
Costante	0.028300	0.000000	0.053200	0.244500	0.293400
Post MiFID II	0.014100	0.042400	-0.006200	0.115500	-0.037900
Adozione AI	0.017400	0.024700	0.062300	0.066200	-0.008300
Interazione AI x MiFID	0.002500	0.792900	0.004500	-0.027100	0.013100
Conformità Normativa	-0.029300	0.000000	0.005400	-0.121000	0.043100

L'AI emerge come fattore abilitante per la redditività, con coefficienti positivi su ROI ($\beta = 0.0174$, $p = 0.024$) e redditività operativa ($\beta = 0.0662$, $p = 0.042$). Questo suggerisce che gli intermediari tecnologicamente avanzati abbiano trasformato l'automazione in vantaggio competitivo, ottimizzando processi e riducendo inefficienze¹⁴⁰. Tuttavia, l'interazione tra MiFID II e AI mostra un coefficiente negativo per entrambe le metriche (ROI: $\beta = 0.0025$, $p = 0.792$; Redditività Operativa: $\beta = -0.0271$, $p = 0.501$), indicando che l'adozione di AI da parte di operatori regolamentati potrebbe non aver generato gli stessi benefici riscontrati negli operatori non regolamentati¹⁴¹.

Il Grafico 28 mostra un leggero incremento della redditività operativa tra gli intermediari che hanno adottato AI, mentre evidenzia un effetto limitato sul ROI.

¹⁴⁰ UULA, Mimma Maripatul. *Artificial Intelligence and Financial Regulation Issues. Islamic Finance and Technology*, 2024, 2.1.

¹⁴¹ BUCKLEY, Ross P., et al. *Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop. Sydney Law Review, The*, 2021, 43.1: 43-81.

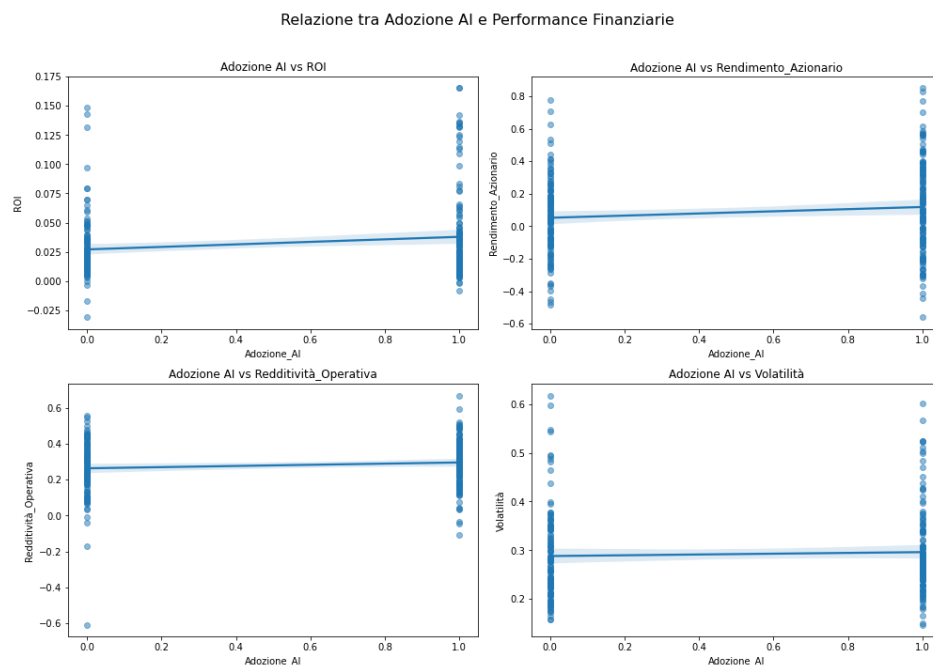


Grafico 28 - Relazione tra Adozione AI e Performance Finanziarie

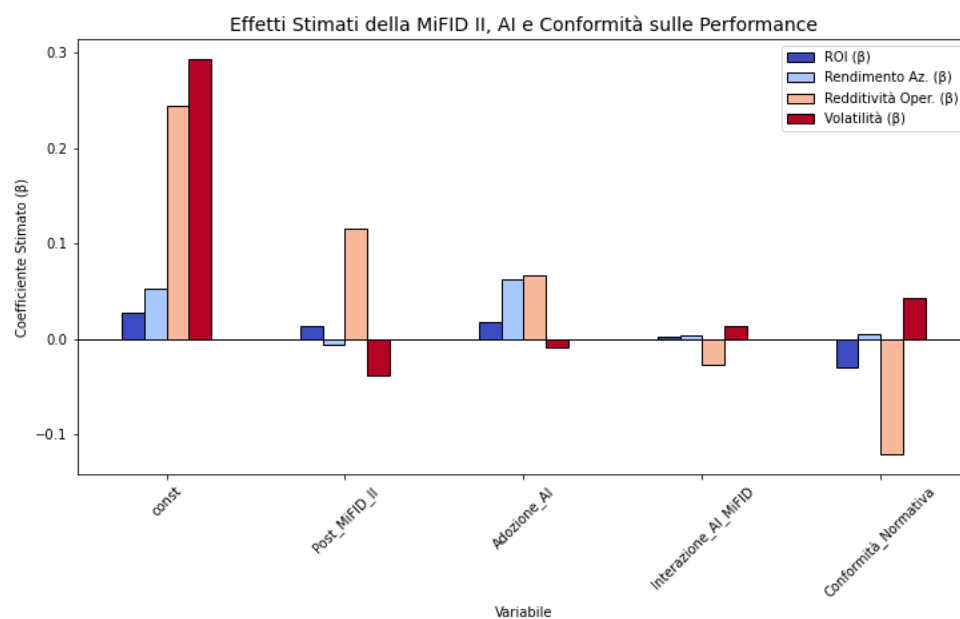


Grafico 29- Effetti Stimati della MiFID II, AI e Conformità sulle Performance

Per quanto riguarda il rendimento azionario, l'adozione di AI mostra un effetto positivo ($\beta = 0.0623$), ma non statisticamente significativo ($p = 0.326$). Inoltre, l'effetto della regolamentazione da sola sembra essere nullo. Questo suggerisce che altri fattori

macroeconomici possano avere un'influenza più rilevante sulle variazioni del prezzo azionario¹⁴².

Diverso il caso della volatilità: la MiFID II mostra un effetto stabilizzante ($\beta = -0.0378$, $p = 0.047$), suggerendo che l'incremento della trasparenza abbia portato a una maggiore stabilità di mercato. Tuttavia, l'adozione di AI da sola non ha un effetto significativo ($\beta = -0.0082$, $p = 0.697$).

L'effetto della conformità normativa è invece positivo e significativo ($\beta = 0.0430$, $p = 0.015$), indicando che gli intermediari regolamentati tendono ad avere una volatilità maggiore rispetto a quelli non regolamentati¹⁴³.

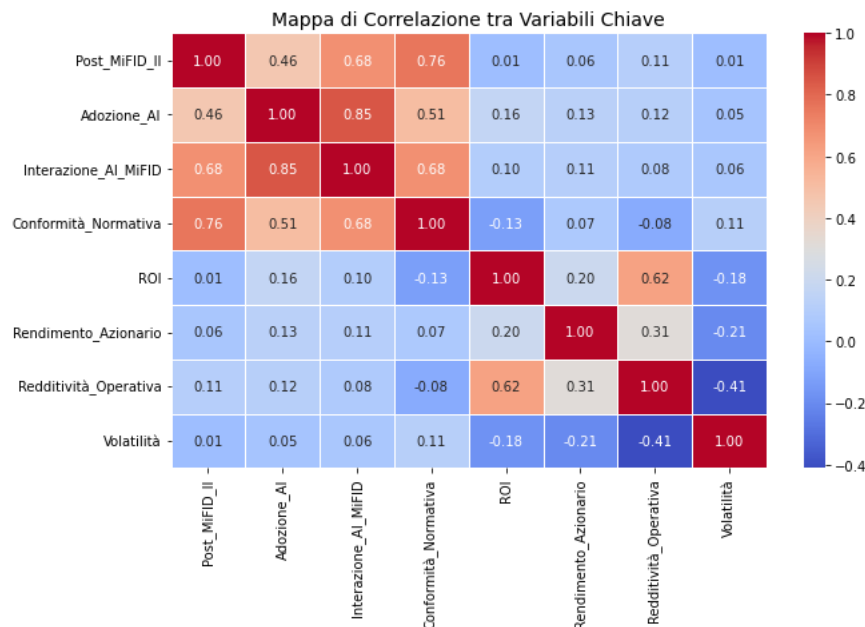


Grafico 30 - Mappa di Correlazione tra Variabili Chiave

Il Grafico 30 presenta una *heatmap* delle correlazioni tra le principali variabili incluse nell'analisi, offrendo una visione sintetica delle relazioni statistiche tra la regolamentazione MiFID II, l'adozione di intelligenza artificiale e le performance finanziarie degli intermediari.

¹⁴² ANSELMi, Giulio; PETRELLA, Giovanni. *Regulation and stock market quality: The impact of MiFID II provision on research unbundling*. *International Review of Financial Analysis*, 2021, 76: 1017883

¹⁴³ MIŁOŚ, Marius Cristian. *Impact of MiFID II on the Market Volatility—Analysis on Some Developed and Emerging European Stock Markets*. *Laws*, 2021, 10.3: 55.

Dall'analisi della matrice di correlazione emergono alcune evidenze chiave. In primo luogo, si osserva una forte correlazione positiva tra la variabile `Post_MiFID_II` e la conformità normativa (`Conformità_Normativa`, $\rho = 0.76$). Questo risultato è atteso, in quanto gli operatori soggetti alla regolamentazione MiFID II sono prevalentemente istituzioni finanziarie europee o attive nel mercato europeo, che hanno dovuto adattarsi ai requisiti imposti dalla normativa. Tuttavia, questa elevata correlazione impone cautela nell'interpretazione dei risultati della regressione, in quanto potrebbe indicare un potenziale problema di multicollinearità tra queste variabili, il che potrebbe rendere più complessa l'identificazione dell'effetto specifico della regolamentazione sulle performance.

Per quanto riguarda la relazione tra `Adozione_AI` e `Interazione_AI_MiFID`, si registra una correlazione positiva significativa ($\rho = 0.85$), indicando che le istituzioni che adottano AI tendono a essere anche quelle che operano in un contesto regolamentato dalla MiFID II. Questo risultato suggerisce che gli intermediari conformi alla normativa potrebbero aver fatto maggiore affidamento sulle tecnologie di automazione e intelligenza artificiale per compensare i costi di compliance e migliorare l'efficienza operativa.

Analizzando le performance finanziarie, si nota che la redditività operativa è correlata positivamente con il ROI ($\rho = 0.62$), il che è coerente con l'idea che un miglioramento nella gestione operativa e nella struttura dei costi si traduca in una maggiore redditività complessiva dell'intermediario. Tuttavia, si osserva una correlazione negativa tra redditività operativa e volatilità ($\rho = -0.41$), suggerendo che le istituzioni con una maggiore efficienza operativa tendono ad avere una minore esposizione alla volatilità del mercato.

Un aspetto interessante riguarda la correlazione tra volatilità e ROI ($\rho = -0.18$). Sebbene la relazione non sia particolarmente forte, questo risultato suggerisce che, per alcuni intermediari, una maggiore esposizione al rischio di mercato potrebbe essere associata a una riduzione del rendimento degli investimenti. Questo potrebbe riflettere il fatto che, nel periodo post-MiFID II, le istituzioni più conservative dal punto di vista della gestione del rischio hanno ottenuto performance più stabili.

Infine, si nota che la correlazione tra rendimento azionario e volatilità è negativa ($\rho = -0.21$). Questo risultato indica che, nel contesto regolamentato post-MiFID II, gli intermediari con performance azionarie più elevate tendono a presentare una minore

volatilità. Questo potrebbe essere legato a un miglioramento della trasparenza e della formazione dei prezzi sui mercati finanziari, che ha ridotto la variabilità delle quotazioni per gli operatori più solidi.

Nel complesso, l'analisi della *heatmap* fornisce spunti utili per interpretare i risultati della regressione. Le correlazioni evidenziano come la regolamentazione, l'adozione di AI e la conformità normativa siano strettamente interconnesse, e come queste variabili abbiano effetti differenziati sulle performance finanziarie. Tuttavia, è fondamentale considerare la possibilità di interazioni non lineari tra queste variabili, che potrebbero non emergere pienamente dall'analisi di correlazione ma richiederebbero approfondimenti tramite modelli più avanzati, come le regressioni interattive o le tecniche di machine learning.

L'analisi delinea un equilibrio fragile. Se l'AI si conferma abilitatore di efficienza, la sua interazione con la MiFID II genera attriti operativi – probabile effetto dei costi sommersi per allineare algoritmi e processi ai requisiti normativi. La riduzione di volatilità sistemica, pur positiva, nasconde un trasferimento di rischio verso gli operatori regolamentati, più esposti alle turbolenze indotte dalla trasparenza.

Questi risultati sollecitano un ripensamento delle politiche regolatorie: incentivi per l'innovazione tecnologica, meccanismi di compensazione degli oneri di compliance, e framework armonizzati a livello transnazionale potrebbero mitigare le asimmetrie competitive emerse. La sfida risiede nel conciliare protezione degli investitori, innovazione tecnologica e sostenibilità operativa in un mercato sempre più interconnesso e complesso.

2.3.6. Analisi della Normalità dei Residui e Segmentazione degli Intermediari

L'analisi dei residui e la segmentazione degli intermediari tramite *cluster analysis* offrono spunti critici per interpretare l'impatto della MiFID II e dell'AI sulle performance finanziarie. Tuttavia, è essenziale valutarne limiti e potenziali distorsioni metodologiche. Il test di Shapiro-Wilk ha evidenziato una distribuzione normale dei residui solo per il rendimento azionario (p-value = 0.422), mentre ROI, redditività operativa e volatilità presentano deviazioni significative (p-value < 0.001) (Grafico 31).

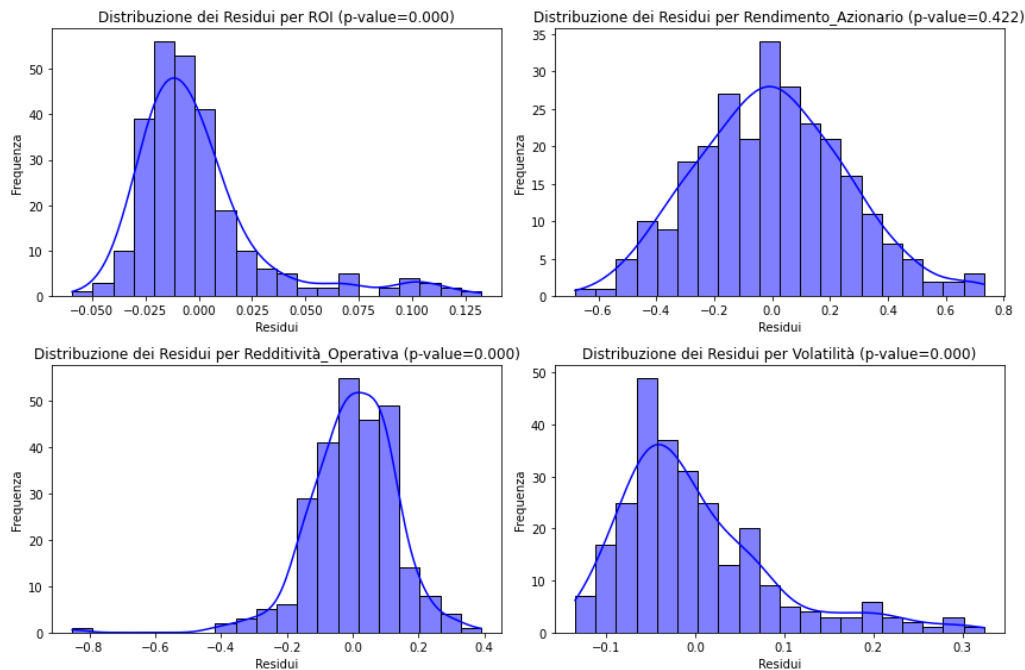


Grafico 31 - Distribuzione dei Residui per le performance

Questo risultato solleva dubbi sull'adeguatezza dei modelli lineari, suggerendo la presenza di relazioni non lineari o variabili omesse non contemplate nell'analisi¹⁴⁴.

La presenza di *outlier*, particolarmente marcata nella redditività operativa, indica inoltre dinamiche specifiche a sottogruppi di intermediari che sfuggono alla logica media del modello. Il basso R-quadrato in alcune regressioni – seppur non invalidante – segnala che fattori non osservati (es. contesto macroeconomico, strategie di mercato) contribuiscono in modo rilevante alle variazioni di performance.

Questi elementi pongono la necessità di considerare approcci econometrici più avanzati, come modelli non lineari o machine learning, per una rappresentazione più precisa delle relazioni tra variabili.

Per approfondire l'eterogeneità degli intermediari, è stata implementata una Cluster Analysis basata su ROI e redditività operativa.

L'algoritmo K-Means ha individuato tre gruppi distinti. Il primo gruppo, Cluster 0, comprende gli intermediari con un ritorno sugli investimenti (ROI) e una redditività ridotti, che operano generalmente in ambienti altamente regolamentati e con una bassa intensità tecnologica. Il secondo gruppo, Cluster 1, raccoglie gli operatori che hanno

¹⁴⁴ SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 1965, 52.3-4: 591-611.

effettuato elevati investimenti in intelligenza artificiale (AI) e che sono in grado di trasformare i vincoli normativi in vantaggi competitivi. Infine, il Cluster 2 è costituito da intermediari che presentano un ROI moderato e un'elevata esposizione al rischio, dovuta principalmente all'adozione di strategie di trading aggressive.

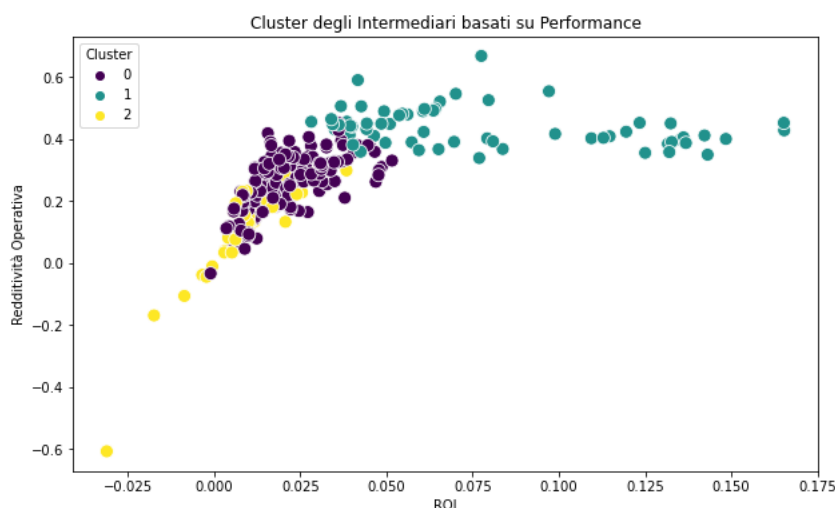


Grafico 32 - Cluster degli intermediari basati su Performance

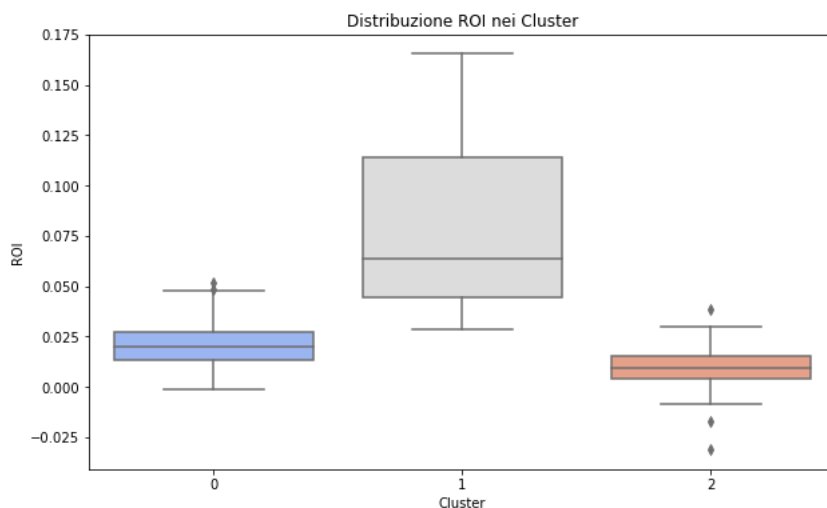


Grafico 33 - Distribuzione ROI nei Cluster

Questa segmentazione rivela che i benefici di MiFID II e AI non sono distribuiti uniformemente. In particolare, il Cluster 1 rappresenta gli operatori più resilienti, che sono in grado di trasformare i vincoli normativi in opportunità di innovazione e ottimizzazione dei costi, il Cluster 2 include soggetti che, nonostante un buon ROI, mostrano una maggiore esposizione al rischio, suggerendo che l'adozione dell'AI, se non

adeguatamente gestita, può aumentare la volatilità, e il Cluster 0 è costituito da intermediari che, pur conformi alla normativa, non hanno tratto vantaggio dalla regolamentazione e mostrano una redditività inferiore.

I risultati ottenuti devono essere interpretati alla luce di diversi fattori strutturali che caratterizzano il settore finanziario. La MiFID II ha migliorato la trasparenza dei mercati, ma i risultati mostrano che non tutti gli intermediari ne hanno tratto beneficio. La riduzione della volatilità tra gli operatori conformi suggerisce che la normativa abbia aumentato la stabilità, ma allo stesso tempo alcuni intermediari hanno subito una riduzione della redditività. Gli intermediari che hanno investito in AI mostrano una redditività operativa più elevata, il che conferma che l'automazione e il *data-driven decision making* sono leve strategiche importanti¹⁴⁵. Tuttavia, l'interazione tra AI e regolamentazione ha avuto un impatto ambiguo, con alcuni intermediari che hanno riscontrato difficoltà nell'adattarsi alla normativa. Gli intermediari con maggiore esposizione alla regolamentazione hanno ridotto la loro volatilità, mentre quelli meno regolamentati hanno mantenuto livelli di rischio più elevati. Questo indica che, se da un lato la regolamentazione ha reso il mercato più sicuro, dall'altro potrebbe aver limitato alcune opportunità di arbitraggio e innovazione¹⁴⁶.

Gli intermediari dovrebbero quindi bilanciare conformità normativa e innovazione tecnologica, sfruttando l'AI per ottimizzare le operazioni senza compromettere la compliance. La MiFID II ha imposto standard più stringenti, ma ha anche aumentato i costi di conformità. Gli operatori non soggetti alla normativa potrebbero avere un vantaggio competitivo, anche se a costo di una maggiore volatilità. La regolamentazione ha migliorato la stabilità, ma non ha eliminato completamente il rischio di mercato, rendendo necessario un monitoraggio continuo per evitare che gli operatori meno regolamentati diventino fonti di instabilità finanziaria.

Le future ricerche potrebbero espandere l'analisi su un periodo temporale più lungo per verificare la persistenza degli effetti della MiFID II, integrare nuove variabili, come la

¹⁴⁵FAST, Victoria; SCHNURR, Daniel; WOHLFARTH, Michael. Regulation of data-driven market power in the digital economy: Business value creation and competitive advantages from big data. *Journal of Information Technology*, 2023, 38.2: 202-229.

¹⁴⁶SINGH, Charanjit. Artificial intelligence and deep learning: considerations for financial institutions for compliance with the regulatory burden in the United Kingdom. *Journal of Financial Crime*, 2024, 31.2: 259-266.

liquidità di mercato o il costo del capitale, per ottenere una visione più ampia della performance degli intermediari, e valutare il ruolo di altre tecnologie emergenti, come blockchain e machine learning, nella gestione della conformità normativa.

Capitolo 3: Proposte normative per un uso più sicuro dell'AI nei mercati finanziari

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari ha portato a significativi miglioramenti in termini di efficienza operativa, velocità di esecuzione e gestione del rischio. Come evidenziato nel Capitolo 2, l'adozione dell'AI ha incrementato l'efficienza ma ha anche accresciuto la volatilità di mercato; ciò evidenzia l'esigenza di regolamentare l'AI in modo da preservare l'innovazione senza compromettere la protezione degli investitori, mediante meccanismi adattivi capaci di contenere in tempo reale i picchi di volatilità generati dagli algoritmi. Sebbene normative come la MiFID II e il più recente AI Act abbiano introdotto misure di regolamentazione dell'AI, queste potrebbero non essere sufficienti per affrontare le sfide future.

Il panorama normativo europeo, che fa perno soprattutto sulla MiFID II per i mercati finanziari e sull'AI Act per la gestione degli algoritmi intelligenti, ha indubbiamente portato più trasparenza, una maggiore tutela per gli investitori e un controllo più attento del rischio sistemico. Tuttavia, l'analisi empirica illustrata nel Capitolo 2 ha fatto emergere diverse criticità che potrebbero rallentare l'efficienza degli intermediari finanziari e generare distorsioni nella concorrenza internazionale.

Un primo aspetto problematico riguarda l'impatto della MiFID II sulla competitività degli operatori europei: se da un lato ha ridotto l'asimmetria informativa e migliorato i meccanismi di formazione dei prezzi, dall'altro ha fatto aumentare considerevolmente i costi di conformità, penalizzando la redditività rispetto ai concorrenti statunitensi e asiatici. Ciò ha colpito soprattutto gli intermediari di piccole e medie dimensioni, che hanno riscontrato un minor accesso alla ricerca finanziaria a causa della separazione obbligatoria fra costi di esecuzione e costi di analisi, finendo in svantaggio rispetto alle realtà di dimensioni maggiori.

Sul fronte del rischio algoritmico, l'AI Act stabilisce requisiti di trasparenza e responsabilità per i sistemi di intelligenza artificiale ad alto rischio, ma non prevede linee guida specifiche per il settore finanziario, dove la rapidità decisionale dei software e le loro interazioni possono amplificare la volatilità dei mercati. Inoltre, l'assenza di strumenti di monitoraggio in tempo reale a disposizione delle autorità di vigilanza, unita

all'uso di stress test basati unicamente su dati storici, rende più difficile riconoscere tempestivamente i rischi emergenti connessi alle nuove strategie di trading automatizzato. Un ulteriore elemento di complessità è la scarsa armonizzazione tra le diverse giurisdizioni. L'approccio europeo, fortemente incentrato su una regolamentazione preventiva, si contrappone a quello statunitense, più orientato alla regolamentazione ex post, e al modello asiatico, che si basa su sandbox normative per testare le innovazioni prima di inserirle sul mercato. Questa frammentazione crea asimmetrie competitive e può spingere alcuni operatori a spostare parte delle proprie attività verso mercati caratterizzati da regole meno rigide.

Tenendo presenti queste problematiche, il capitolo successivo propone un ventaglio di interventi normativi e strumenti tecnologici innovativi, concepiti per rafforzare il quadro regolatorio esistente senza danneggiare la competitività del settore finanziario. Le proposte, frutto dei risultati emersi nell'analisi del Capitolo 2, si ispirano alle esperienze più efficaci già adottate su scala internazionale.

In particolare, analizziamo i principi fondamentali per una regolamentazione efficace dell'AI, con un focus sulla trasparenza algoritmica e la gestione della volatilità, i miglioramenti specifici alla MiFID II e all'AI Act, con proposte per una maggiore auditabilità e controllo del rischio, un confronto tra i modelli normativi di Europa, Stati Uniti e Asia, volto a identificare best practice e possibili convergenze internazionali, e l'implementazione di strumenti tecnologici avanzati, come sistemi di monitoraggio in tempo reale basati su AI per la supervisione dei mercati finanziari.

L'obiettivo di questo capitolo è delineare un quadro regolatorio e tecnologico bilanciato, che consenta di sfruttare il potenziale dell'AI nei mercati finanziari senza compromettere la stabilità e la fiducia degli investitori.

3.1 Principi per una regolamentazione dell'AI orientata alla stabilità finanziaria

L'adozione crescente dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari ha sollevato interrogativi sulla necessità di un quadro normativo in grado di bilanciare innovazione e stabilità. Il Capitolo 2 ha evidenziato come l'uso dell'AI sia associato a una maggiore efficienza operativa, ma anche a rischi sistemici legati alla volatilità e alla trasparenza

delle decisioni algoritmiche. Questo paragrafo analizza i principi fondamentali che dovrebbero guidare la regolamentazione dell'AI nei mercati finanziari, con particolare attenzione alla mitigazione della volatilità, alla trasparenza algoritmica e al controllo del rischio.

3.1.1 Bilanciamento tra innovazione e protezione degli investitori

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari ha aperto prospettive inedite per l'ottimizzazione degli investimenti, ma ha anche accresciuto il rischio di instabilità sistemica. I risultati illustrati nel Capitolo 2 dimostrano che, dopo l'entrata in vigore della MiFID II, la volatilità di mercato non ha subito una riduzione significativa; in alcuni casi, anzi, si è registrato un incremento. In particolare, gli intermediari che hanno aderito alla normativa presentano una volatilità più elevata rispetto a quelli non conformi, lasciando ipotizzare che l'obbligo di trasparenza possa aver favorito l'emergere di nuove tendenze speculative¹⁴⁷.

Questo fenomeno risulta in parte legato all'espansione dell'utilizzo di algoritmi di trading ad alta frequenza (HFT), i quali, pur contribuendo all'efficienza nella determinazione dei prezzi, tendono ad amplificare le fluttuazioni nei momenti di crisi¹⁴⁸. La MiFID II ha effettivamente migliorato la trasparenza delle operazioni, ma non ha predisposto meccanismi dinamici capaci di contrastare efficacemente gli effetti destabilizzanti degli algoritmi di trading. Di conseguenza, il mercato risulta maggiormente vulnerabile a variazioni repentine, come dimostrano i ripetuti “*flash crash*” osservati negli ultimi anni. Al fine di coniugare innovazione e tutela degli investitori, si propone l'introduzione di limiti dinamici alla volatilità per i titoli maggiormente soggetti al trading algoritmico.

I dati empirici dimostrano che, sebbene l'AI aumenti la redditività, essa può anche amplificare movimenti di prezzo e comportamenti speculativi; per questo, è necessario adottare limiti dinamici alla volatilità, in grado di adeguarsi alle condizioni di mercato e di intervenire rapidamente in caso di eccessi degli algoritmi di trading.

¹⁴⁷ BUSCH, Danny. 4. EU financial regulation in times of instability. *Financial Stability amidst the Pandemic Crisis: On Top of the Wave*, 2016, 87.

¹⁴⁸ PAUL, Stephan; SCHRÖDER, Nicola; SCHUMACHER, Simon. *MiFID II/MiFIR/PRIIPs Regulation Impact Study: Effectiveness and Efficiency of New Regulations in the Context of Investor and Consumer Protection*. German Banking Industry Committee. Noudettu, 2019, 5: 2024

Attualmente, le borse valori si avvalgono di *circuit breaker* statici, che sospendono le negoziazioni qualora il prezzo di un titolo oltrepassi una determinata soglia giornaliera¹⁴⁹. Tuttavia, tali meccanismi mostrano una certa rigidità e possono risultare poco efficaci in un contesto di elevata automazione, in cui le oscillazioni dei prezzi sono determinate da strategie algoritmiche operanti in intervalli di tempo estremamente ridotti.

I limiti dinamici alla volatilità si distinguono dai *circuit breaker* tradizionali poiché si adeguano in tempo reale alle condizioni di mercato. In altri termini, anziché prevedere una soglia fissa, il sistema monitorerebbe l'andamento recente di un titolo, adeguando automaticamente i livelli di intervento in base alla sua volatilità storica e ai volumi di scambio. Ad esempio, qualora un titolo registrasse un picco improvviso di volatilità superiore alla media degli ultimi 30 giorni, la piattaforma potrebbe temporaneamente ridurre la frequenza delle contrattazioni o aumentare il *tick size* (cioè il minimo scostamento di prezzo), rendendo così meno conveniente il trading ad alta frequenza e contenendo l'impatto di strategie speculative aggressive¹⁵⁰.

Un tale approccio è già stato sperimentato in alcuni mercati asiatici, come il Korean stock markets, che ha introdotto i cosiddetti *volatility interruption mechanisms*, i quali attivano pause selettive in base alle dinamiche recenti di prezzo, anziché basarsi esclusivamente su soglie predefinite¹⁵¹. Integrare un sistema analogo nel quadro della MiFID II potrebbe diminuire la vulnerabilità del mercato agli shock causati dagli algoritmi, senza gravare eccessivamente sugli investitori istituzionali.

Un ulteriore strumento di stabilizzazione potrebbe essere rappresentato da una tassazione modulata sulle transazioni algoritmiche ad alta frequenza. Vari studi indicano che le *Financial Transaction Taxes* (FTT) sono in grado di disincentivare comportamenti fortemente speculativi senza comprimere in misura significativa la liquidità di mercato¹⁵². Una tassazione proporzionale alla velocità delle operazioni finanziarie contribuirebbe ad

¹⁴⁹ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Report on Circuit Breakers in EU Financial Markets*, 2020

¹⁵⁰ BONGAERTS, Dion; VAN ACHTER, Mark. *High-frequency trading and market stability*. SSRN Electronic Journal, 2016.

¹⁵¹ KWON, Kyung Yoon, et al. *The role of dynamic and static volatility interruption: evidence from the Korean stock markets*. Manuscript. Retrieved from <https://cdar.berkeley.edu/sites/default/files/Kwon-Eom-La-Park-VIs-March-1-2018.pdf>, 2018.

¹⁵² Leonard E. Burman, William G. Gale, Sarah Gault, et al, *FINANCIAL TRANSACTION TAXES IN THEORY AND PRACTICE*. 2015.

attenuare il potere amplificatore degli algoritmi durante le fasi di stress, pur senza inibire l'innovazione.

Infine, appare opportuno rafforzare l'attività di controllo sulle sedi di negoziazione adottando sistemi di supervisione basati su intelligenza artificiale, in grado di rilevare precocemente eventuali anomalie di mercato. Gli enti regolatori potrebbero infatti avvalersi di strumenti AI-based per l'individuazione in tempo reale di pattern anomali nelle transazioni algoritmiche, facilitando così interventi tempestivi prima del verificarsi di episodi destabilizzanti.

Sebbene l'attuale regolamentazione europea risulti tra le più avanzate in termini di tutela degli investitori, essa trarrebbe beneficio da un approccio più dinamico e tecnologicamente evoluto. L'integrazione di limiti adattivi alla volatilità, una tassazione mirata e un monitoraggio basato su intelligenza artificiale consentirebbe infatti di contenere gli effetti negativi del trading algoritmico senza ostacolare lo sviluppo di nuove soluzioni, favorendo al contempo mercati più stabili ed efficienti.

3.1.2 L'importanza della trasparenza algoritmica nelle normative future

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari ha sollevato questioni di primo piano in merito alla trasparenza e alla comprensibilità dei processi decisionali algoritmici, con ripercussioni dirette sia sulla stabilità del sistema sia sulla tutela degli investitori. L'AI Act dell'Unione Europea, che introduce l'obbligo di *explainable AI* (XAI) per gli algoritmi considerati ad alto rischio¹⁵³, è stato elaborato con un'impostazione generale, focalizzandosi su settori come la sanità e l'industria, nei quali la rapidità decisionale non riveste la medesima importanza che nei mercati finanziari. In quest'ultimo contesto, infatti, le operazioni di trading algoritmico ad alta frequenza e la gestione automatizzata del rischio si svolgono nell'ordine dei millisecondi, rendendo necessarie regole maggiormente rispondenti alla rapidità e alla complessità di tali operazioni¹⁵⁴.

Come illustrato nel Capitolo 2, l'introduzione dell'AI ha effettivamente migliorato la redditività operativa di molti intermediari, ma ha anche aumentato la variabilità dei

¹⁵³ European Commission, *Artificial Intelligence Act: Regulatory Framework for High-Risk AI Systems*, 2023.

¹⁵⁴ BUSCH, Danny. 4. *EU financial regulation in times of instability. Financial Stability amidst the Pandemic Crisis: On Top of the Wave*, 2016, 87

risultati e contribuito a un incremento della volatilità in determinati segmenti. Questa situazione evidenzia il bisogno di un modello regolatorio che contemperi l'efficienza promossa dall'innovazione tecnologica con un'adeguata gestione del rischio sistemico. Per garantire un'effettiva trasparenza e solidità della regolamentazione dell'AI, occorre che le decisioni automatizzate siano comprensibili non soltanto per gli sviluppatori degli algoritmi, ma anche per gli enti di vigilanza e gli operatori di mercato. Ciononostante, un ostacolo rilevante in tale direzione è rappresentato dalla reticenza delle istituzioni finanziarie nel divulgare il codice sorgente dei propri modelli, motivata dalla tutela della proprietà intellettuale e dalla difesa della competitività¹⁵⁵. L'AI Act richiede che gli algoritmi ad alto rischio siano spiegabili, ma non stabilisce come assicurare un'adeguata trasparenza nel settore finanziario, dove la velocità di esecuzione riveste un ruolo essenziale e la segretezza dei modelli è un fattore di concorrenza decisivo¹⁵⁶.

Per affrontare questi limiti, si propone l'introduzione del *Black Box Logging*, un meccanismo di audit in tempo reale volto a consentire alle autorità l'accesso ai dati relativi alle decisioni algoritmiche qualora si verificano anomalie di mercato. Tale sistema registrerebbe automaticamente le decisioni prese dagli algoritmi, senza tuttavia richiedere la divulgazione del codice sorgente, e permetterebbe ai regolatori di studiare il comportamento dei modelli AI senza ledere il segreto industriale¹⁵⁷.

Il *Black Box Logging* potrebbe basarsi su tre strumenti cardine. In primo luogo, la registrazione automatica delle decisioni chiave: ogni scelta effettuata da un algoritmo AI verrebbe tracciata in un database sicuro e criptato, a cui i soli enti di regolamentazione potrebbero accedere in situazioni di necessità¹⁵⁸. In questo modo, se si registrassero turbolenze di mercato o si sospettasse una manipolazione algoritmica, i regolatori avrebbero la possibilità di esaminare le logiche decisionali utilizzate. In secondo luogo, l'accesso regolamentato ai dati tramite *smart contract* potrebbe tutelare i dati aziendali da possibili abusi, poiché l'accesso ai log delle decisioni algoritmiche sarebbe gestito da

¹⁵⁵ YADAV, Yesha. *How algorithmic trading undermines efficiency in capital markets*. *Vand. L. Rev.*, 2015, 68: 1607.

¹⁵⁶ Financial Conduct Authority (FCA), *AI and Market Supervision: Monitoring High-Frequency Trading Strategies*, 2022

¹⁵⁷ RIBEIRO, Marco Tulio; SINGH, Sameer; GUESTRIN, Carlos. "Why should i trust you?" *Explaining the predictions of any classifier*. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. 2016, 1135-1144.

¹⁵⁸ Securities and Exchange Commission (SEC), *The Consolidated Audit Trail: Strengthening Market Oversight with AI Technologies*, 2021

smart contract su blockchain, operativi soltanto al superamento di soglie di volatilità insolite o in presenza di segnalazioni di frode¹⁵⁹. In tal modo, si troverebbe un punto di equilibrio tra esigenza di trasparenza e tutela delle informazioni riservate. Infine, il terzo strumento riguarda l'impiego di tecniche di *Explainable AI* (XAI) applicate ai log delle decisioni, così da offrire ai regolatori la possibilità di monitorare in modo continuo e automatizzato le strategie adottate dagli algoritmi¹⁶⁰. Qualora un sistema AI iniziasse a mostrare comportamenti altamente speculativi o a eseguire ordini con una rapidità fuori dal comune, il *layer* di spiegabilità segnalerebbe prontamente il problema, contenendo il rischio che le manipolazioni di mercato vengano individuate solo a posteriori.

Il quadro regolamentare attuale manifesta due criticità che rendono indispensabile un intervento normativo specifico per il settore finanziario. Anzitutto, l'assenza di un meccanismo di audit in tempo reale costituisce un limite rilevante, poiché le normative si concentrano sulla spiegabilità *ex post*, ossia sull'analisi delle decisioni una volta eseguite¹⁶¹. Nel trading algoritmico ad alta frequenza, invece, è fondamentale poter intervenire mentre l'algoritmo è in funzione, per evitare di rilevare problemi solo dopo che questi abbiano già prodotto effetti sul mercato¹⁶². In secondo luogo, esiste un conflitto tra trasparenza e segreto industriale: la richiesta di accesso al codice sorgente da parte delle autorità regolamentari potrebbe inficiare gli incentivi all'innovazione e indebolire la competitività europea, se si considera che nei mercati statunitensi e asiatici i requisiti di trasparenza sull'AI risultano meno vincolanti¹⁶³.

L'adozione del *Black Box Logging* e di sistemi di monitoraggio algoritmico in tempo reale consentirebbe di superare tali criticità, consentendo ai regolatori di verificare il funzionamento degli algoritmi senza pregiudicare la tutela della proprietà intellettuale delle imprese.

¹⁵⁹ US Government Accountability Office (GAO), *Regulatory Oversight of Algorithmic Trading: The Case for a Centralized Audit Trail*, 2021

¹⁶⁰ MEHDIYEV, Nijat; MAJLATOW, Maxim; FETTKE, Peter. *Interpretable and Explainable Machine Learning Methods for Predictive Process Monitoring: A Systematic Literature*, 2023.

¹⁶¹ Bank of England, *AI and Systemic Risk: Policy Implications for Financial Regulation*, 2022

¹⁶² European Securities and Markets Authority (ESMA), *AI Supervision in Financial Markets: Challenges and Solutions*, 2023

¹⁶³ KATYAL, Sonia K. *The paradox of source code secrecy*. *Cornell L. Rev.*, 2018, 104: 1183.

3.2 Proposte per migliorare la MiFID II e l'AI Act

Le normative esistenti, come la MiFID II e il più recente AI Act, forniscono un primo quadro regolatorio per l'uso dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari. Tuttavia, i risultati empirici del Capitolo 2 suggeriscono che tali normative potrebbero essere migliorate per affrontare meglio le nuove sfide poste dagli algoritmi di trading avanzati. Gli attuali stress test non sono sufficienti a simulare i comportamenti auto-rinforzanti degli algoritmi di trading; per questo motivo, si suggerisce di integrare nella MiFID II una certificazione ex-ante degli algoritmi e, nell'AI Act, l'obbligo di stress test adattivi 'AI vs AI', in cui modelli di intelligenza artificiale simulino scenari di crisi ipotetici.

3.2.1 Revisione dei requisiti di auditabilità e explainable AI

Il quadro normativo europeo vigente, pur includendo misure di trasparenza per le strategie di trading algoritmico, manca di disposizioni operative chiare che garantiscano l'auditabilità *ex-ante* degli algoritmi di intelligenza artificiale utilizzati in ambito finanziario¹⁶⁴. La MiFID II, ad esempio, pur imponendo agli intermediari di garantire la sicurezza delle infrastrutture tecnologiche, non definisce standard dettagliati per la valutazione della robustezza e dell'affidabilità degli algoritmi prima della loro implementazione operativa. Parallelamente, l'AI Act classifica gli algoritmi finanziari come sistemi ad alto rischio, stabilendo principi generali di trasparenza e auditabilità¹⁶⁵, ma senza indicare metodologie concrete per adattarli a contesti caratterizzati da rapidità esecutiva e complessità decisionale estrema.

I dati empirici discussi nel Capitolo 2 rivelano un paradosso significativo: l'adozione dell'AI ha indubbiamente aumentato la redditività degli operatori, ma parallelamente ha generato un incremento della volatilità e introdotto nuovi rischi legati alla mancanza di controllo sui processi decisionali algoritmici¹⁶⁶. Il problema di fondo risiede nell'assenza di un meccanismo di certificazione preliminare che verifichi stabilità e prevedibilità degli

¹⁶⁴ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Algorithmic Trading and the Need for Explainability: A Regulatory Perspective*, 2023

¹⁶⁵ European Commission, *Artificial Intelligence Act: Regulatory Framework for High-Risk AI Systems*, 2023

¹⁶⁶ KATYAL, Sonia K. *The paradox of source code secrecy*. *Cornell L. Rev.*, 2018, 104: 1183.

algoritmi, con il rischio che comportamenti non previsti possano amplificare situazioni di crisi o generare inefficienze di mercato.

Per questo motivo si può affermare che la trasparenza ex post non previene efficacemente i flash crash; per questo, diventa indispensabile una valutazione ex-ante della robustezza degli algoritmi: ogni nuovo modello AI dovrà superare test di stress su scenari estremi e ottenere una certificazione da parte delle autorità di vigilanza. Questo sistema richiederebbe agli sviluppatori di sottoporre i loro algoritmi a una serie di test di robustezza, stress test e verifiche sulla trasparenza decisionale prima che possano essere utilizzati nelle transazioni reali¹⁶⁷. Il processo di certificazione potrebbe articolarsi in tre fasi principali. Una prima fase consisterebbe in una valutazione di trasparenza preliminare: gli sviluppatori sarebbero obbligati a fornire alle autorità di vigilanza un modello semplificato dell'algoritmo, esplicitandone logiche decisionali chiave e limiti operativi¹⁶⁸. Questo passaggio permetterebbe di identificare *ex-ante* meccanismi opachi o potenzialmente destabilizzanti, come l'utilizzo di dati non verificati o criteri di trading eccessivamente aggressivi. Questo approccio ex-ante non sostituisce, ma integra il sistema di black box logging proposto in precedenza. Mentre la certificazione algoritmica consente un controllo preventivo sulla struttura dei modelli AI prima della loro implementazione nei mercati, il black box logging garantisce un monitoraggio continuo ex-post, permettendo ai regolatori di individuare eventuali anomalie nel comportamento degli algoritmi senza compromettere la proprietà intellettuale delle istituzioni finanziarie. L'adozione congiunta di questi due strumenti consentirebbe di bilanciare trasparenza, innovazione e stabilità finanziaria.

Segue poi una fase di stress testing algoritmico, dove gli algoritmi verrebbero sottoposti a scenari di stress simulati – dalle fluttuazioni estreme alla liquidità artificialmente compressa – per valutarne la resilienza in condizioni di mercato critiche¹⁶⁹.

¹⁶⁷ Financial Conduct Authority (FCA), *Ensuring Robustness of AI Systems in Financial Markets: The Role of Pre-Trade Certification*, 2022

¹⁶⁸ RIBEIRO, Marco Tulio; SINGH, Sameer; GUESTRIN, Carlos. "Why should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. 2016, 1135-1144.

¹⁶⁹ US Government Accountability Office (GAO), *Regulatory Oversight of Algorithmic Trading: The Case for a Centralized Audit Trail*, 2021

Questa fase permetterebbe di individuare eventuali vulnerabilità che potrebbero amplificare instabilità di mercato e di correggerle prima della messa in funzione dell'algoritmo.

Conclude il processo un audit continuo post-implementazione, in cui gli algoritmi vengono monitorati attraverso sistemi di tracciamento dei bias decisionali e di analisi dei risultati rispetto alle condizioni di mercato reali¹⁷⁰. Questo approccio consentirebbe di verificare periodicamente se gli algoritmi mantengano comportamenti coerenti con i test iniziali o se emergano effetti indesiderati nel tempo.

Le criticità dell'attuale sistema regolatorio appaiono duplici. Da un lato, la MiFID II richiede trasparenza, ma non definisce strumenti concreti per valutare gli algoritmi ex-ante, lasciando agli intermediari il compito di autocertificare la conformità dei propri sistemi¹⁷¹. Questo approccio può risultare inefficace, in quanto la verifica avviene spesso solo in seguito a episodi di instabilità di mercato. Dall'altro, l'AI Act prevede l'auditabilità per i sistemi AI ad alto rischio, ma non specifica metodologie applicabili al trading algoritmico, creando un vuoto normativo che potrebbe generare incertezza regolatoria per gli intermediari¹⁷².

L'adozione di un *framework* di certificazione trilivello – trasparenza, stress test, audit continuo – rappresenterebbe un passo decisivo per coniugare innovazione e stabilità. Non si tratterebbe di imbrigliare il progresso tecnologico, ma di istituire *checkpoint* regolatori capaci di trasformare l'AI da fonte di rischio a strumento di resilienza sistemica. Una sfida non semplice, ma inevitabile in mercati sempre più dominati da logiche che sfuggono alla comprensione umana.

3.2.2 Nuovi standard per il controllo del rischio algoritmico

L'adozione dell'intelligenza artificiale nei mercati finanziari ha accresciuto la complessità dei modelli di trading, introducendo, al contempo, nuovi rischi di instabilità sistemica. Sebbene la MiFID II imponga il monitoraggio delle operazioni basate su trading algoritmico, essa non prevede specifiche procedure di stress test per valutare la

¹⁷⁰ BUSCH, Danny. 4. EU financial regulation in times of instability. *Financial Stability amidst the Pandemic Crisis: On Top of the Wave*, 2016, 87.

¹⁷¹ PAUL, Stephan; SCHRÖDER, Nicola; SCHUMACHER, Simon. *MiFID II/MiFIR/PRIIPs Regulation Impact Study: Effectiveness and Efficiency of New Regulations in the Context of Investor and Consumer Protection*. German Banking Industry Committee. Noudettu, 2019, 5: 2024

¹⁷² Bank of England, *AI and Systemic Risk: Policy Implications for Financial Regulation*, 2022

possibilità di crisi finanziarie generate dagli algoritmi di AI¹⁷³. L'AI Act, da parte sua, ha introdotto l'obbligo di effettuare stress test per i sistemi di intelligenza artificiale considerati ad alto rischio¹⁷⁴, ma tali strumenti si fondano su metriche di tipo statico, che non tengono adeguatamente conto della capacità degli algoritmi di interagire tra loro e di innescare effetti non lineari sui mercati.

Al fine di superare questo limite, risulta opportuno introdurre stress test adattivi che vadano oltre i classici modelli fondati su dati storici e si avvalgano dell'AI stessa per individuare scenari di crisi emergenti. Tale strategia, denominata "AI vs AI", consiste nel sottoporre gli algoritmi di trading a situazioni di mercato non solo basate su shock finanziari documentati in passato, ma anche su dinamiche future simulate da ulteriori modelli di intelligenza artificiale. Molti studi sottolineano infatti che gli stress test tradizionali spesso non offrono la flessibilità necessaria a cogliere la complessità del mercato contemporaneo, raccomandando invece l'uso di tecniche di simulazione più avanzate¹⁷⁵.

Più in particolare, la proposta si fonda su due elementi chiave: stress test adattivi basati su simulazioni AI, i quali, invece di limitarsi ad analizzare solo gli episodi di mercato storicamente registrati, utilizzerebbero algoritmi di AI per generare scenari ipotetici di crisi, adattandosi in tempo reale ai mutamenti strutturali del mercato, consentendo in tal modo di anticipare le vulnerabilità sistemiche prima che si traducano in eventi reali, e i test di stress focalizzati sulle interazioni tra algoritmi, i quali, diversamente dai test attuali che valutano la robustezza dei singoli algoritmi, considerano il rischio sistemico derivante dal funzionamento simultaneo di più modelli AI, permettendo di prevedere potenziali fenomeni di amplificazione del rischio, come i flash crash.

L'adozione di tali strumenti migliorerebbe sensibilmente la stabilità finanziaria, abbattendo la probabilità di eventi estremi derivanti da disallineamenti tra gli algoritmi di trading. Le più recenti ricerche in tema di rischio sistemico generato dall'AI confermano che occorre un approccio più dinamico alla valutazione del rischio, così da scongiurare crisi impreviste.

¹⁷³ European Securities and Markets Authority (ESMA), *MiFID II Annual Report on Algorithmic Trading Supervision*, 2022

¹⁷⁴ European Commission, *Proposal for a Regulation on Artificial Intelligence (AI Act)*, in *Official Journal of the European Union*, 2021

¹⁷⁵ LEVY-CARCIENTE, Sary, et al. *Dynamical macroprudential stress testing using network theory*. *Journal of Banking & Finance*, 2015, 59: 164-181.

3.3 Modelli internazionali e opportunità di convergenza normativa

L'intelligenza artificiale è una tecnologia globale, ma le regolamentazioni sui mercati finanziari rimangono fortemente frammentate a livello internazionale. Il Capitolo 2 ha mostrato che gli intermediari non soggetti alla MiFID II hanno maggiore flessibilità, ma anche livelli di rischio più elevati, suggerendo che un modello normativo eccessivamente rigido potrebbe penalizzare la competitività. In questa sezione analizziamo le differenze tra le normative di UE, USA e Asia, evidenziando i vantaggi e i limiti di ciascun approccio e proponendo possibili percorsi di convergenza normativa per uno standard globale sull'AI nei mercati finanziari.

3.3.1 Analisi delle differenze tra le normative europee, americane e asiatiche

Il confronto tra i modelli normativi di Europa, USA e Asia evidenzia un notevole rischio di arbitraggio regolamentare; pertanto, è fondamentale armonizzare i principi minimi di auditabilità e stress test dell'AI, creando uno standard globale che favorisca la cooperazione tra le autorità e riduca le asimmetrie competitive.

L'analisi empirica presentata nel Capitolo 2 indica che gli intermediari non conformi alla MiFID II tendono a conseguire rendimenti finanziari più elevati, pur esponendosi a livelli di rischio altrettanto considerevoli. Nello specifico, il ROI medio di tali operatori risulta superiore rispetto a quello degli intermediari soggetti alla regolamentazione europea, ma si accompagna a una volatilità più accentuata. Tali evidenze suggeriscono che un modello normativo eccessivamente rigoroso possa limitare la competitività senza, peraltro, ridurre il rischio in modo effettivo¹⁷⁶.

Per approfondire le implicazioni della regolamentazione dell'AI nei mercati finanziari, risulta opportuno mettere a confronto il modello europeo con quello statunitense e quello asiatico, al fine di identificare punti di forza e aspetti critici di ciascun approccio. Il quadro europeo, definito essenzialmente dalla MiFID II e dall'AI Act, pone un'attenzione marcata sulla trasparenza, sulla tutela degli investitori e sul monitoraggio continuo. La

¹⁷⁶ *European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II and the Evolution of Algorithmic Trading: Impact on Market Stability and Risk, 2023*

MiFID II, infatti, introduce obblighi di rendicontazione dettagliati per le strategie di trading algoritmico, mentre l'AI Act colloca i sistemi di AI finanziaria nella categoria degli "ad alto rischio", imponendo vincoli stringenti di auditabilità e spiegabilità¹⁷⁷. Sebbene questo impianto normativo assicuri un maggiore livello di controllo, alcuni studi hanno rilevato che un'eccessiva rigidità potrebbe frenare l'innovazione tecnologica nei mercati finanziari.

Negli Stati Uniti, la regolamentazione finanziaria è affidata principalmente alla SEC (Securities and Exchange Commission) e alla FINRA (Financial Industry Regulatory Authority). A differenza del contesto europeo, l'approccio americano lascia maggiore libertà agli operatori, privilegiando una vigilanza post-evento che interviene per rilevare e sanzionare eventuali comportamenti illeciti¹⁷⁸. L'assenza di un obbligo di certificazione ex-ante degli algoritmi si traduce in un potenziale incremento dell'innovazione, ma può anche innalzare il rischio di instabilità sistemica, come suggerito dai numerosi episodi di flash crash degli ultimi anni, spesso associati a strategie di trading algoritmico non adeguatamente sorvegliate¹⁷⁹.

Il modello asiatico, applicato in particolare da istituzioni quali la Monetary Authority of Singapore (MAS) e la Hong Kong Monetary Authority (HKMA), costituisce un compromesso tra le due prospettive precedenti. In questa regione, la regolamentazione dell'AI finanziaria si fonda in larga parte su *sandbox* normativi, ossia ambienti di prova in cui gli algoritmi possono essere testati prima di un'eventuale adozione su vasta scala¹⁸⁰. Tale impostazione rende possibile individuare e gestire eventuali rischi senza ostacolare lo sviluppo di nuove soluzioni, permettendo alle autorità di regolamentazione di calibrare le norme alla luce dei risultati ottenuti¹⁸¹.

Dall'analisi comparativa emergono alcune criticità rilevanti. Il modello europeo, pur assicurando alti livelli di sicurezza e trasparenza, può risultare meno efficace nel promuovere l'innovazione tecnologica rispetto agli approcci in vigore in altri Paesi.

¹⁷⁷ European Commission, *Proposal for a Regulation on Artificial Intelligence (AI Act)*, in *Official Journal of the European Union*, 2021

¹⁷⁸ Securities and Exchange Commission (SEC), *AI and Market Regulation: Balancing Innovation and Investor Protection*, 2022

¹⁷⁹ KIRILENKO, Andrei, et al. *The flash crash: High-frequency trading in an electronic market*. *The Journal of Finance*, 2017, 72.3: 967-998.

¹⁸⁰ Monetary Authority of Singapore (MAS), *AI in Financial Markets: Regulatory Approaches and Future Challenges*, 2022

¹⁸¹ Hong Kong Monetary Authority (HKMA), *Artificial Intelligence and Market Supervision: A Sandbox Approach*, 2021

L'obbligo di conformità preventiva, unitamente ai requisiti particolarmente stringenti dell'AI Act, può limitare la sperimentazione di nuove tecnologie nel trading algoritmico¹⁸². Al contrario, l'approccio americano, favorendo una maggiore flessibilità nell'adozione dell'AI, comporta comunque un elevato rischio di instabilità, testimoniato dai diversi episodi di anomalie di mercato registrati¹⁸³.

Un'opzione conciliativa potrebbe consistere nell'adozione, in Europa, di sandbox regolatori ispirati al modello asiatico, così da consentire una sperimentazione controllata degli algoritmi AI prima dell'introduzione effettiva nei mercati finanziari. Una simile soluzione permetterebbe di coniugare l'esigenza di trasparenza e di tutela degli investitori con la necessità di innovare, contenendo al contempo i rischi potenziali per il sistema finanziario¹⁸⁴.

In assenza di un coordinamento internazionale, operatori meno vincolati ottengono vantaggi competitivi, ma generano rischi sistemici maggiori; per questo occorre estendere i sandbox regolatori su scala globale per allineare le best practice tra le giurisdizioni

3.3.2 Proposta di uno standard normativo globale

L'intelligenza artificiale è per sua natura una tecnologia globale, che opera al di là delle frontiere nazionali e influenza i mercati finanziari in modo trasversale. Tuttavia, l'attuale assetto regolatorio è fortemente frammentato, con approcci molto differenti tra Europa, Stati Uniti e Asia. Questa situazione crea asimmetrie competitive, poiché le aziende fintech e gli intermediari finanziari si trovano a operare in regimi normativi con requisiti molto diversi. Nel Capitolo 2 abbiamo osservato che gli operatori non soggetti alla MiFID II tendono ad avere maggiore flessibilità e rendimenti più elevati, ma anche livelli di rischio più accentuati¹⁸⁵. Questo suggerisce che una regolamentazione disomogenea possa portare a una migrazione del capitale e delle operazioni verso le giurisdizioni meno

¹⁸² KOP, Mauritz. *EU artificial intelligence act: the European approach to AI*.

¹⁸³ HADFIELD, Gillian K.; CLARK, Jack. *Regulatory markets: The future of ai governance*, 2023.

¹⁸⁴ AZZUTTI, Alessio; RINGE, Wolf-Georg; STIEHL, H. Siegfried. *Regulating AI trading from an AI lifecycle perspective*. In: *Artificial Intelligence in Finance*. Edward Elgar Publishing, 2023, 198-242.

¹⁸⁵ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Impact of MiFID II on Market Participants: A Comparative Analysis*, 2023

stringenti, generando il cosiddetto *regulatory arbitrage*, ossia la tendenza a scegliere il regime normativo più vantaggioso¹⁸⁶.

Un primo passo per ridurre queste discrepanze potrebbe essere l'introduzione di un framework di regolazione adattiva, ispirato ai sandbox normativi asiatici, che permetta agli operatori di testare nuovi algoritmi AI in un ambiente controllato prima della loro piena implementazione sui mercati finanziari. Questo approccio consentirebbe di coniugare innovazione e stabilità finanziaria, evitando l'applicazione di regole troppo rigide che potrebbero soffocare la competitività¹⁸⁷. Attualmente, alcuni sandbox regolatori esistono già a livello nazionale (es. Singapore e Hong Kong), ma la loro efficacia è limitata dal fatto che non esiste un coordinamento globale¹⁸⁸.

Un ulteriore passo in avanti potrebbe essere la creazione di standard globali per l'AI nei mercati finanziari, sulla base di accordi multilaterali tra le principali autorità di regolazione. Ad esempio, un organismo come il Financial Stability Board (FSB) o il Basilea Committee on Banking Supervision potrebbe definire linee guida minime vincolanti per l'uso dell'AI in ambito finanziario, stabilendo criteri uniformi per la trasparenza algoritmica, la gestione del rischio e la certificazione ex-ante degli algoritmi. Questo approccio, simile a quello adottato per gli accordi di Basilea nel settore bancario, potrebbe garantire un livello minimo di protezione per tutti gli operatori finanziari, riducendo le disparità normative tra le diverse aree geografiche¹⁸⁹.

Tuttavia, la mancanza di cooperazione tra le autorità di regolazione internazionali rappresenta una delle principali criticità di questa proposta. Le economie emergenti potrebbero opporsi a un *framework* regolatorio troppo rigido, temendo che possa penalizzare lo sviluppo del loro settore fintech rispetto ai mercati più maturi. Inoltre, alcuni paesi, come gli Stati Uniti, hanno storicamente preferito approcci più basati sull'autoregolamentazione del settore piuttosto che su normative imposte da enti sovranazionali¹⁹⁰.

¹⁸⁶ AZZUTTI, Alessio; RINGE, Wolf-Georg; STIEHL, H. Siegfried. *Regulating AI trading from an AI lifecycle perspective*. In: *Artificial Intelligence in Finance*. Edward Elgar Publishing, 2023, 198-242.

¹⁸⁷ Monetary Authority of Singapore (MAS), *Regulatory Sandboxes in Financial Markets: A Case Study on AI Innovation*, 2022

¹⁸⁸ Hong Kong Monetary Authority (HKMA), *The Role of AI Sandboxes in Financial Regulation*, 2021

¹⁸⁹ Financial Stability Board (FSB), *The Need for Global AI Standards in Financial Markets*, 2022

¹⁹⁰ Securities and Exchange Commission (SEC), *AI in Financial Services: Risks and Opportunities for Market Regulation*, 2022

Un compromesso potrebbe essere la creazione di un modello ibrido, in cui uno standard globale fissi principi minimi, lasciando però ai singoli paesi la flessibilità di adattare le normative alle proprie esigenze di mercato. Questo modello potrebbe essere supportato da accordi bilaterali tra le principali giurisdizioni, che consentano il riconoscimento reciproco delle certificazioni AI, riducendo così gli ostacoli normativi per gli operatori internazionali¹⁹¹.

In conclusione, la regolamentazione dell'AI nei mercati finanziari deve trovare un equilibrio tra armonizzazione normativa e flessibilità operativa. La creazione di un *framework* globale, basato su *sandbox* regolatori e principi comuni, potrebbe rappresentare un primo passo per ridurre i rischi di arbitraggio normativo e garantire condizioni di mercato più eque a livello internazionale.

Alla luce delle evidenze raccolte, si propone che un organismo sovranazionale, come il Financial Stability Board, adotti linee guida vincolanti per la certificazione degli algoritmi AI e per il monitoraggio in tempo reale, garantendo così un livello minimo di sicurezza e trasparenza e limitando le fughe di capitale verso giurisdizioni meno regolamentate.

3.4 Proposte di strumenti tecnologici per mitigare i rischi dell'AI

Se da un lato la regolamentazione è fondamentale per gestire i rischi dell'AI nei mercati finanziari, dall'altro strumenti tecnologici avanzati possono offrire soluzioni più efficaci e flessibili rispetto a semplici vincoli normativi. Il Capitolo 2 ha mostrato che i sistemi AI possono amplificare la volatilità e introdurre nuove forme di rischio di mercato.

L'analisi dei dati ha confermato che la semplice autoregolamentazione non basta a prevenire instabilità algoritmiche; pertanto, occorre integrare le norme con soluzioni tecnologiche come un AI Watchdog, un sistema di monitoraggio continuo e automatizzato in grado di rilevare in anticipo pattern di rischio.

¹⁹¹ Basel Committee on Banking Supervision, *Towards a Global Regulatory Framework for AI in Finance*, 2023

3.4.1 Sostituire Explainable AI con un sistema di “AI Watchdog”

L’approccio finora prevalente nella regolamentazione dell’intelligenza artificiale applicata ai mercati finanziari ha attribuito notevole importanza alla trasparenza e alla spiegabilità degli algoritmi, facendo ampio riferimento a strumenti di Explainable AI (XAI). Tale orientamento è certamente fondamentale in contesti come la sanità o il credito al consumo, dove le decisioni devono essere interpretabili per ragioni di conformità e fiducia da parte dell’utenza; tuttavia, nei mercati finanziari potrebbe non risultare di per sé sufficiente a prevenire il rischio sistemico¹⁹². Lo studio condotto nel Capitolo 2 mostra infatti che gli intermediari con un’elevata adozione di AI registrano una maggiore volatilità dei rendimenti, a conferma del fatto che il tema cruciale non è tanto la spiegabilità dell’algoritmo, quanto piuttosto la sua interazione con il mercato in condizioni di stress.

Un limite significativo degli attuali assetti regolatori risiede nel fatto che la vigilanza si basa su norme fisse, spesso stabilite ex ante, che non sono in grado di tenere il passo con la capacità adattiva degli algoritmi di AI. Al momento, gli strumenti di supervisione disponibili – ad esempio, l’obbligo di segnalazione dei modelli di trading algoritmico ai sensi della MiFID II – non risultano progettati per individuare pattern emergenti di rischio¹⁹³. Ciò risulta particolarmente critico nei mercati finanziari, dove gli algoritmi di trading ad alta frequenza (HFT) possono innescare dinamiche auto-rinforzanti, sfociando in fenomeni come i flash crash o situazioni di instabilità sistemica.

Per fronteggiare tali problematiche, si propone di istituire un AI Watchdog, vale a dire un’entità indipendente, dotata di sistemi di AI di ultima generazione, incaricata di monitorare i mercati in tempo reale e di rilevare segnali di rischio sistemico prima che si traducano in crisi concrete. L’AI Watchdog agirebbe come una vera e propria rete neurale di sorveglianza finanziaria, analizzando i dati in tempo reale e mettendo in luce correlazioni anomale tra strategie algoritmiche, livelli di liquidità e flussi di capitale¹⁹⁴.

Sul piano operativo, l’AI Watchdog potrebbe articolarsi in tre livelli. Il primo livello riguarda il monitoraggio continuo delle strategie algoritmiche e comprende un’analisi su ampia scala delle strategie di trading, finalizzata a individuare schemi di comportamento

¹⁹² European Commission, *Artificial Intelligence Act: The Future of AI Regulation in the EU*, 2023

¹⁹³ Securities and Exchange Commission (SEC), *Market Supervision in the Age of AI: Challenges and Opportunities*, 2023

¹⁹⁴ Bank of England, *AI for Financial Regulation: Exploring New Surveillance Models*, 2022

potenzialmente suscettibili di incrementare la volatilità, nonché l'identificazione di correlazioni tra algoritmi in grado di produrre effetti auto-rinforzanti nei mercati. Il secondo livello prevede la previsione dei rischi emergenti mediante AI predittiva, che impiega tecniche di *reinforcement learning* per mettere in luce pattern di rischio non rilevabili con metodologie tradizionali e si concretizza nella realizzazione di un sistema di *early warning* per avvisare le autorità competenti di possibili situazioni di instabilità. Infine, il terzo livello si basa sull'intervento adattivo in collaborazione con gli enti regolatori e include la trasmissione automatica di segnalazioni agli organismi di vigilanza (ESMA, SEC ecc.) per consentire l'imposizione di misure temporanee in presenza di comportamenti sospetti, oltre al coordinamento con gli intermediari finanziari al fine di adottare tempestivi interventi correttivi per scongiurare l'insorgere di eventi critici.¹⁹⁵

L'introduzione di un AI Watchdog risponderebbe a una carenza essenziale del sistema attuale, caratterizzato dalla mancanza di strumenti dinamici in grado di adeguarsi all'evoluzione dei mercati in tempo reale. Inoltre, un'iniziativa di questo tipo rappresenterebbe un passo avanti rispetto ai meccanismi di trasparenza e *explainability* oggi vigenti: tali meccanismi, sebbene indispensabili dal punto di vista della conformità, non sembrano sufficienti a scongiurare in maniera efficace l'insorgere di eventi riconducibili a rischio sistemico¹⁹⁶.

La proposta, tuttavia, solleva alcune questioni rilevanti. Una prima problematica concerne la tutela della riservatezza e la salvaguardia dei dati finanziari sensibili: affinché l'AI Watchdog risulti efficace, occorrerebbe infatti consentirgli un accesso piuttosto esteso a informazioni proprietarie sugli algoritmi di trading, con possibili ripercussioni sui profili concorrenziali e di segreto industriale. Una seconda difficoltà concerne la cooperazione tra giurisdizioni diverse, poiché i mercati globali richiedono l'azione coordinata di autorità di regolamentazione potenzialmente divergenti nei loro approcci all'utilizzo dell'AI in ambito di vigilanza¹⁹⁷.

In vista di superare tali ostacoli, si potrebbe ricorrere a un modello federato, mediante il quale l'AI Watchdog non disporrebbe di un accesso diretto ai dati proprietari, ricevendo invece esclusivamente alert generati da modelli AI decentralizzati presso ciascuna

¹⁹⁵ European Securities and Markets Authority (ESMA), *The Role of AI in Financial Supervision: Risks and Policy Implications*, 2023

¹⁹⁶ Á. Cartea-J. Penalva, *Algorithmic and High-Frequency Trading: A Regulatory Perspective*, in *Journal of Financial Economics*, 2020

¹⁹⁷ Financial Stability Board (FSB), *Regulatory Challenges in AI-driven Financial Markets*, 2022

istituzione finanziaria¹⁹⁸. Questo meccanismo consentirebbe di mantenere un efficace controllo sulle operazioni di mercato, senza tuttavia compromettere la riservatezza dei dati, in linea con i principi già sperimentati in altri settori dell'AI, come ad esempio la diagnostica medica o la cybersicurezza¹⁹⁹.

L'implementazione di un AI Watchdog implicherebbe, in definitiva, un mutamento sostanziale nel modo di regolamentare l'AI nei mercati finanziari: anziché limitarsi a un'azione *ex post* (dove l'analisi segue gli accadimenti di mercato), si adotterebbe un approccio proattivo, volto a contrastare precocemente l'accumularsi di fattori di rischio sistemico. Qualora venisse progettato e realizzato con efficacia, l'AI Watchdog potrebbe dunque costituire uno strumento cruciale per la salvaguardia della stabilità finanziaria in un'epoca sempre più segnata dall'impiego dell'AI.

3.4.2 Strumenti di monitoraggio in tempo reale per i sistemi di AI

L'attuale regolamentazione finanziaria si basa prevalentemente su controlli *ex-post*, che prevedono l'analisi delle attività di mercato solo dopo il verificarsi di eventi anomali. Tuttavia, come evidenziato nel Capitolo 2, gli intermediari che utilizzano l'AI presentano una maggiore volatilità e una reattività più elevata alle condizioni di mercato, aumentando il rischio di eventi auto-rinforzanti²⁰⁰. Questo è un limite significativo, poiché le dinamiche di mercato moderne, guidate da algoritmi ad alta frequenza (HFT) e modelli predittivi avanzati, possono amplificare i movimenti di prezzo in tempi estremamente ridotti, rendendo inefficace l'intervento regolatorio *ex-post*²⁰¹.

Attualmente, le autorità di regolazione come ESMA in Europa, la SEC negli Stati Uniti e la MAS in Asia non dispongono di strumenti adeguati per monitorare in tempo reale il comportamento degli algoritmi di trading, se non attraverso meccanismi di reporting periodico. Questo crea una asimmetria informativa tra regolatori e operatori di mercato,

¹⁹⁸ Basel Committee on Banking Supervision, *Towards a Global AI Supervision Framework for Financial Stability*, 2023

¹⁹⁹ McKinsey & Company, *Federated Learning: How AI Can Preserve Data Privacy While Enhancing Market Oversight*, 2023

²⁰⁰ European Securities and Markets Authority (ESMA), *Artificial Intelligence in Financial Markets: Risks and Policy Considerations*, 2023

²⁰¹ KIRILENKO, Andrei, et al. *The flash crash: High-frequency trading in an electronic market*. *The Journal of Finance*, 2017, 72.3: 967-998.

rendendo difficile anticipare le anomalie e prevenire crisi di liquidità o eventi di flash crash²⁰².

Poiché il monitoraggio ex post risulta tardivo in contesti di trading ad alta frequenza, è necessario istituire un sistema di supervisione AI-driven che, incrociando i dati delle principali sedi di negoziazione, identifichi correlazioni pericolose tra algoritmi e consenta interventi immediati, come la riduzione della velocità di esecuzione o l'attivazione di circuit breaker adattivi.

Il sistema sarebbe strutturato in tre componenti principali. La prima componente riguarda la rete di sorveglianza algoritmica, che prevede l'analisi delle strategie di trading algoritmico attraverso un modello di apprendimento automatico in grado di rilevare pattern di comportamento sospetti, come il front-running coordinato, la manipolazione dei volumi e le anomalie nei book di negoziazione; inoltre, l'utilizzo di modelli di clustering permetterebbe di individuare eventuali correlazioni nascoste tra algoritmi di diversi operatori di mercato. La seconda componente si concentra sugli indicatori di rischio adattivi, comprendendo la creazione di un indice di rischio algoritmico che misuri in tempo reale il livello di automazione del mercato e la sua vulnerabilità a shock di liquidità, nonché lo sviluppo di uno "stress score" dinamico, che segnali situazioni di potenziale instabilità sulla base di anomalie nei flussi di negoziazione e nelle variazioni di volatilità. Infine, la terza componente prevede un meccanismo di allerta e intervento regolatorio, con l'implementazione di meccanismi automatici di segnalazione alle autorità di vigilanza, impiegando livelli di allerta progressivi (attenzione → monitoraggio → intervento), e la possibilità di introdurre misure correttive automatiche, come la riduzione temporanea della velocità di esecuzione degli ordini algoritmici in caso di rischio elevato, attraverso circuit breaker adattivi.

Questo approccio permetterebbe di superare l'attuale limite dei controlli ex-post, fornendo ai regolatori un sistema di sorveglianza proattivo che riduca il rischio di shock improvvisi nei mercati. Inoltre, consentirebbe di integrare il monitoraggio AI senza imporre la divulgazione del codice sorgente degli algoritmi, problema emerso nelle discussioni sull'AI Act e sulla regolamentazione MiFID II²⁰³.

²⁰² *Securities and Exchange Commission (SEC), AI-driven Market Surveillance: Challenges and Future Directions, 2023*

²⁰³ *Financial Stability Board (FSB), Global Standards for AI in Financial Supervision: A Policy Proposal, 2023*

Un aspetto critico da considerare è che l'adozione di strumenti di monitoraggio AI da parte dei regolatori potrebbe aumentare il rischio di *overfitting* normativo, portando gli operatori di mercato a modificare i loro modelli algoritmici per conformarsi alle regole senza migliorare effettivamente la stabilità del sistema. Per evitare questo rischio, la piattaforma dovrebbe adottare un modello adattivo, capace di aggiornarsi automaticamente attraverso il machine learning e di evitare interventi eccessivamente rigidi che potrebbero penalizzare l'innovazione.

Se implementato correttamente, un sistema di monitoraggio AI-driven per i mercati finanziari potrebbe diventare un punto di riferimento globale per la regolamentazione dell'intelligenza artificiale, favorendo un'armonizzazione tra le diverse autorità e riducendo le attuali asimmetrie normative tra Europa, Stati Uniti e Asia.

Conclusioni

L'obiettivo di questa ricerca è valutare in che misura la normativa vigente sia in grado di gestire le sfide poste dall'intelligenza artificiale (AI) nei mercati finanziari e di proporre soluzioni per colmare eventuali lacune regolatorie. Il lavoro ha evidenziato come l'AI abbia introdotto opportunità di crescita, ma anche rischi di natura sistemica che rendono necessaria una rivalutazione dell'impianto normativo esistente. Per comprendere le ragioni di questo squilibrio, la tesi è stata articolata in tre capitoli: il primo dedicato all'inquadramento teorico e normativo, il secondo all'analisi empirica e il terzo alla formulazione di proposte di miglioramento.

Nel Capitolo 1, la tesi ha fornito una panoramica sull'evoluzione dell'AI nei mercati finanziari, soffermandosi sulle principali tappe storiche: dalla nascita delle piattaforme di trading elettronico fino ai più recenti modelli di machine learning e high-frequency trading (HFT). L'analisi ha mostrato come l'avvento dell'automazione avanzata abbia progressivamente sostituito la manualità operativa, incrementando esponenzialmente la velocità di esecuzione e di elaborazione dei dati.

Parallelamente, l'attenzione si è spostata sugli strumenti regolamentari introdotti per contenere i rischi di un mercato profondamente mutato: la MiFID II in Europa, il quadro normativo statunitense (SEC, CFTC, FINRA) e le varie impostazioni asiatiche (con un ruolo da protagonista dei sandbox regolatori). L'AI Act, proposto dalla Commissione Europea, ambisce a un inquadramento più ampio e organico dell'intelligenza artificiale, ma – come evidenziato nella tesi – presenta ancora limiti significativi, soprattutto quando si tratta di applicare i criteri di “spiegabilità” a contesti ad alta frequenza operativa, come il trading algoritmico. Nel mercato finanziario, infatti, l'interpretabilità ex post di un algoritmo potrebbe non essere sufficiente a contenere i rischi di crisi lampo o a ridurre la volatilità.

Il Capitolo 2 ha rappresentato il fulcro empirico della ricerca. Attraverso un dataset multivariato riguardante 24 intermediari finanziari distribuiti su scala globale (Europa, Stati Uniti e Asia) e analizzato su un orizzonte temporale di dieci anni (2014-2024), si è proceduto a valutare alcune variabili chiave di performance (ROI, rendimento azionario, redditività operativa) e di stabilità (volatilità, volume di trading), ponendo un'attenzione particolare a tre fattori:

1. L'adozione dell'AI – identificata da una variabile binaria.
2. La conformità normativa – differenziando tra intermediari soggetti alla MiFID II e intermediari non conformi.
3. Gli effetti pre e post MiFID II – catturati da una variabile temporale che distingue il periodo antecedente il 2018 da quello successivo.

I risultati hanno mostrato, anzitutto, che l'adozione dell'AI è associata a performance finanziarie mediamente più alte (in particolare sul fronte del ROI e della redditività operativa), ma anche a una maggiore variabilità dei risultati. Ciò segnala che, se da un lato gli algoritmi potenziano l'efficienza decisionale e il rendimento, dall'altro introducono nuovi rischi collegati alla complessità dei modelli e alla loro rapidità di azione.

Sul piano normativo, è emerso come gli intermediari conformi alla MiFID II ottengano rendimenti in alcuni casi inferiori e subiscano talvolta volatilità più elevata rispetto ai non conformi. Da una parte, questo potrebbe indicare che il quadro regolatorio europeo, più stringente in termini di trasparenza e di registrazione delle operazioni, abbia eroso alcuni margini di profitto. Dall'altra, l'aumentata trasparenza può aver reso i prezzi più sensibili alle fluttuazioni di mercato, inducendo picchi di volatilità in periodi di stress. In ogni caso, il confronto pre e post MiFID II ha rilevato un leggero miglioramento degli indicatori di stabilità a lungo termine per gli intermediari europei, segnale che l'impalcatura normativa ha contribuito a rafforzare la governance del rischio, pur non risolvendo appieno i fenomeni di volatilità estrema.

Dall'analisi delle regressioni lineari e dei test di significatività, è emerso che MiFID II ha migliorato la trasparenza e la redditività operativa, ma l'effetto sul contenimento della volatilità rimane contenuto e non sempre lineare; inoltre, l'AI influenza positivamente ROI e redditività, specialmente negli intermediari che riescono a integrare i costi di implementazione, sebbene il suo connubio con norme molto stringenti possa generare frizioni, tra cui elevati costi di conformità, rallentamenti nell'adozione tecnologica e la presenza di “scatole nere” difficili da spiegare; infine, la conformità normativa mostra un effetto paradossale, poiché da un lato aumenta la fiducia degli investitori, mentre dall'altro incide sul costo operativo e talvolta favorisce fenomeni di competizione asimmetrica a vantaggio di operatori meno regolamentati.

Da queste evidenze quantitative, si è confermata la necessità di un approccio regolatorio più flessibile e dinamico, che non si limiti a imporre requisiti statici di trasparenza, ma che includa strumenti adattivi per monitorare il comportamento effettivo degli algoritmi in condizioni di stress.

Alla luce delle problematiche emerse, il Capitolo 3 propone un insieme di riforme e strumenti tecnologici per migliorare l'attuale quadro normativo. In primo luogo, si raccomanda di adottare principi di bilanciamento tra innovazione e protezione degli investitori, introducendo limiti dinamici alla volatilità che vadano a integrare i circuit breaker statici con soglie di intervento capaci di adeguarsi in tempo reale alle condizioni di mercato. In questo modo, la volatilità storica, i volumi di scambio e la rapidità dei segnali algoritmici diventerebbero parametri fondamentali per calibrare automaticamente sospensioni o rallentamenti del trading, garantendo al contempo la possibilità di contenere picchi di volatilità senza sacrificare eccessivamente la liquidità.

Un altro punto centrale è il rafforzamento della trasparenza algoritmica attraverso meccanismi ex-ante. Viene proposta l'istituzione di un sistema di certificazione preventiva degli algoritmi: sebbene la MiFID II richieda attualmente agli operatori di registrare e autocertificare l'uso di algoritmi, non esiste un vero e proprio audit obbligatorio prima dell'immissione sul mercato. Si suggerisce dunque di sottoporre ogni nuovo modello di intelligenza artificiale a test di robustezza e specifici stress test ("AI vs AI") prima della produzione, così da permettere alle autorità di vigilanza (ad esempio l'ESMA) di valutare in anticipo i potenziali rischi di destabilizzazione. Parallelamente, si consiglia di integrare le pratiche di explainable AI con un sistema di black box logging, in grado di registrare in tempo reale le decisioni chiave di trading, al quale le autorità potrebbero accedere soltanto in caso di anomalie di mercato. Ciò ridurrebbe i rischi legati alla proprietà intellettuale degli operatori, facilitando al contempo l'analisi ex post di eventuali episodi critici.

Per quanto riguarda gli strumenti di monitoraggio in tempo reale, viene avanzata la proposta di creare un organismo indipendente, definito "AI Watchdog", dotato di tecnologie di analisi dei dati di mercato in tempo reale, in grado di agire come "cane da guardia" contro comportamenti algoritmici potenzialmente destabilizzanti. Questo organismo potrebbe incrociare i dati di più sedi di negoziazione, rilevando pattern di correlazione sospetti tra algoritmi di trading, segnali di manipolazione (come il quote

stuffing) o fluttuazioni eccessivamente rapide. Oltre a inviare allerta tempestive alle autorità (SEC, ESMA e altre), l'AI Watchdog potrebbe coordinarsi con le borse e gli operatori per avviare meccanismi di salvaguardia – come il rallentamento delle esecuzioni (kill switch) o l'ampliamento temporaneo del tick size – prima che si verifichino fenomeni come i flash crash.

Infine, viene sottolineata l'importanza di una convergenza normativa internazionale. Poiché la finanza ha una dimensione globale e l'intelligenza artificiale opera senza confini, si ritiene necessario un minimo di armonizzazione tra Europa, Stati Uniti e Asia per evitare arbitraggi normativi. Si suggerisce pertanto di sviluppare sandbox regolatori transnazionali, in cui gli algoritmi possano essere testati congiuntamente secondo protocolli condivisi di stress test, audit tecnologico e scoring di rischio. In questo quadro, si auspica il coinvolgimento di organismi sovranazionali come il Financial Stability Board (FSB), incaricati di stabilire linee guida comuni in materia di AI Finance Risk, ispirate ai principi di Basilea nel settore bancario. Tali linee guida servirebbero da riferimento per i legislatori nazionali nella definizione di regole su certificazione ex-ante, meccanismi di trasparenza e strumenti di monitoraggio.

La ricerca ha dimostrato che l'AI esercita un impatto duplice sui mercati finanziari. Se da un lato genera maggiore efficienza e possibilità di guadagno, dall'altro innalza l'incertezza, in virtù della sua velocità di reazione e della complessità dei modelli di apprendimento. Il trade-off tra innovazione e stabilità non va risolto con un approccio unilaterale di inasprimento normativo, poiché rischierebbe di spingere gli operatori verso giurisdizioni meno severe.

Al contrario, il futuro dei mercati finanziari sembra essere indirizzato verso una regolamentazione dinamica, che includa gli stress test adattivi "AI vs AI", in cui modelli di machine learning generano scenari ipotetici di crisi, evidenziando vulnerabilità prima che si manifestino in eventi reali, i circuit breaker flessibili e i meccanismi di tassazione modulata sulle transazioni algoritmiche, progettati per disincentivare strategie speculative troppo aggressive, e la certificazione ex-ante, che armonizzi i criteri di trasparenza e robustezza dei modelli, proteggendo al contempo la proprietà intellettuale degli operatori. Un altro aspetto cruciale è la possibile sinergia con altre tecnologie emergenti, come la blockchain, che potrebbe rendere più efficaci i sistemi di logging e auditing, garantendo l'immutabilità delle registrazioni relative alle transazioni algoritmiche. Inoltre, l'adozione

di meccanismi decentralizzati di condivisione dei dati potrebbe consentire al regolatore di monitorare pattern anomali su scala globale, senza per questo dover accedere in modo intrusivo al codice sorgente degli intermediari.

In prospettiva, la sfida principale rimane quella di trovare un equilibrio tra il potenziale di trasformazione dell'AI e la necessità di un contenimento dei rischi per la stabilità finanziaria e per la tutela degli investitori. Le proposte delineate nel Capitolo 3 – dai limiti dinamici alla volatilità, alla certificazione algoritmica, all'introduzione di un AI Watchdog – rappresentano possibili soluzioni, ma la loro implementazione richiederà un notevole sforzo di cooperazione tra governi, enti regolatori, operatori di mercato e fornitori di tecnologie. Non si tratta unicamente di introdurre nuove regole, bensì di creare un ecosistema in cui l'automazione algoritmica sia soggetta a controlli preventivi e continui, in grado di anticipare e contenere fenomeni di destabilizzazione prima che questi si propaghino su scala sistemica.

La ricerca condotta ha permesso valutare fino a che punto e in che modo la normativa vigente – in particolare la MiFID II e l'AI Act – riesca a sostenere la sfida posta dall'intelligenza artificiale nei mercati finanziari. Se, da un lato, la MiFID II ha innalzato i livelli di trasparenza e reso il sistema più efficiente in termini di protezione degli investitori, dall'altro, la concomitante diffusione dell'AI ha evidenziato lacune regolatorie relative al controllo dei rischi sistemici e alla riduzione dei picchi di volatilità. Le proposte avanzate hanno cercato di colmare questi gap, puntando su meccanismi preventivi (certificazione e stress test adattivi), monitoraggio in tempo reale (AI Watchdog) e convergenza internazionale.

Il taglio critico della ricerca ha evidenziato che la sfida più grande rimane la concreta implementazione di tali riforme, specie in un contesto in cui gli operatori finanziari sono restii a condividere il funzionamento interno dei propri algoritmi. Inoltre, la globalizzazione dei mercati impone un'azione coordinata su scala internazionale, per evitare che regimi meno severi attraggano capitali e alimentino rischi globali. Da questo punto di vista, la proposta di uno standard normativo globale trova ragion d'essere, sebbene sussistano resistenze di carattere politico ed economico.

In definitiva, la ricerca sottolinea che un'innovazione responsabile dell'AI è possibile, a patto che vi sia la consapevolezza di implementare soluzioni tecniche e normative ad hoc, mirate a prevenire gli effetti collaterali di algoritmi sofisticati e potenzialmente opachi.

L'esito dell'analisi empirica di questa tesi, integrato dalle riflessioni normative e tecnologiche dell'ultimo capitolo, conferma che esistono margini di intervento realizzabili. Essi potranno garantire, in prospettiva futura, mercati più stabili e un'adozione più sicura dell'intelligenza artificiale, senza rinunciare ai benefici in termini di efficienza e sviluppo economico.

In prospettiva futura, sarà interessante approfondire il ruolo di altre tecnologie emergenti, come la blockchain e il quantum computing, nella regolamentazione e nella supervisione dei mercati finanziari. Inoltre, la crescente diffusione di modelli di AI generativa solleva nuove sfide in termini di etica e governance, che potrebbero richiedere ulteriori adattamenti normativi.

Questa ricerca ha dimostrato che l'intelligenza artificiale rappresenta una risorsa straordinaria per il settore finanziario, ma solo se regolamentata in modo efficace. Il futuro della finanza dipenderà dalla capacità di integrare queste tecnologie in modo responsabile, garantendo che l'innovazione vada di pari passo con la tutela degli investitori e la stabilità dei mercati globali.

Bibliografia

- ALDRIDGE, Irene. High-frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems. John Wiley & Sons, 2013.
- ALEXANDER, Kern; MADDERS, Vivienne. Financial Market Regulation in the Internal Market. The EU Law of Economic and Monetary Union, 2020.
- ANSELMINI, Giulio; PETRELLA, Giovanni. Regulation and stock market quality: The impact of MiFID II provision on research unbundling. *International Review of Financial Analysis*, 2021, 76: 101788.
- Artificial Intelligence in Financial Operations: A Comparative Analysis, in *FinTech Journal*, 2023
- AUTOR, David H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of economic perspectives*, 2015
- AZZUTTI, Alessio; RINGE, Wolf-Georg; STIEHL, H. Siegfried. Regulating AI trading from an AI lifecycle perspective. In: *Artificial Intelligence in Finance*. Edward Elgar Publishing, 2023. p. 198-242.
- BAKER, Malcolm; RUBACK, Richard S.; WURGLER, Jeffrey. Behavioral corporate finance. In: *Handbook of empirical corporate finance*. Elsevier, 2007. p. 145-186.
- BALTAGI, Badi Hani; BALTAGI, Badi H. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: Wiley, 2008.
- Bank of England, *AI and Systemic Risk: Policy Implications for Financial Regulation*, 2022
- Bank of England, *AI for Financial Regulation: Exploring New Surveillance Models*, 2022
- Basel Committee on Banking Supervision, *Towards a Global AI Supervision Framework for Financial Stability*, 2023
- BIAIS, Bruno; FOUCAULT, Thierry; MOINAS, Sophie. Equilibrium high frequency trading. In: *Proceedings from the fifth annual Paul Woolley Centre conference*, London School of Economics. 2011.
- Bloomberg Terminal, informazioni disponibili su [bloomberg.com](https://www.bloomberg.com)

- Bloomberg Terminal, report personalizzato su ROI e volumi di trading
- BONGAERTS, Dion; VAN ACHTER, Mark. High-frequency trading and market stability. SSRN Electronic Journal, 2016.
- BOTNEVIK, Esben; LID, Sander Tveiterås. The impact of MiFID II/R on market liquidity: a quantitative analysis of secondary corporate bond markets. 2020.
- BOUVERET, Antoine; BAES, Michel; SCHAANNING, Eric. Money Market Funds Regulatory Reforms and Resilience. 2021
- BRYNJOLFSSON, Erik; MCAFEE, Andrew. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & company, 2014.
- BUCKLEY, Ross P., et al. FinTech, financial inclusion and the UN Sustainable Development Goals. In: Routledge Handbook of Financial Technology and Law. Routledge, 2021. p. 247-272.
- BUCKLEY, Ross P., et al. Regulating artificial intelligence in finance: Putting the human in the loop. Sydney Law Review, The, 2021, 43.1: 43-81
- BUSCH, Danny. 4. EU financial regulation in times of instability. Financial Stability amidst the Pandemic Crisis: On Top of the Wave, 2016,
- BUSCH, Danny. MiFID II and MiFIR: stricter rules for the EU financial markets. Law and Financial Markets Review, 2017, 11.2-3: 126-142.
- China Securities Regulatory Commission (CSRC), Regulations on Algorithmic Trading in Financial Markets, 2021, 20
- COHEN, Gil. Algorithmic trading and financial forecasting using advanced artificial intelligence methodologies. Mathematics, 2022, 10.18: 3302.
- COHEN, Samuel N.; SNOW, Derek; SZPRUCH, Lukasz. Black-box model risk in finance. 2023.
- Commodity Futures Trading Commission (CFTC), Regulatory Approaches to High-Frequency Trading, 2020, 8
- DUNIS, Christian L. Artificial Intelligence in Financial Markets. Palgrave Macmillan, 2016.
- EL-AWADY, Khalid. Adaptive stress testing for Adversarial learning in A financial Environment. 2021.

- European Central Bank, Financial Intermediation and the Propagation of Systemic Risk, 2021
- European Central Bank, MiFID II and Its Impact on Financial Markets, 2021
- European Commission, AI Act and Its Implications for Financial Markets, 2023
- European Commission, AI Act, 2021
- European Commission, Artificial Intelligence Act: Regulatory Framework for High-Risk AI Systems, 2023
- European Commission, Artificial Intelligence Act: The Future of AI Regulation in the EU, 2023
- European Commission, Impact Assessment on MiFID II, 2019
- European Commission, Proposal for a Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act), 2021,
- European Commission, Proposal for a Regulation on Artificial Intelligence (AI Act), in Official Journal of the European Union, 2021
- European Securities and Markets Authority (ESMA), AI Supervision in Financial Markets: Challenges and Solutions, 2023
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Algorithmic Trading and the Need for Explainability: A Regulatory Perspective, 2023
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Annual Report
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Artificial Intelligence in Financial Markets: Risks and Policy Considerations, 2023
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Impact of MiFID II on Market Liquidity and Stability, 2021
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Impact of MiFID II on Market Participants: A Comparative Analysis, 2023
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Markets in Financial Instruments Directive II, pubblicazione ufficiale, 2018
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II and the Evolution of Algorithmic Trading: Impact on Market Stability and Risk, 2023
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Annual Report on Algorithmic Trading Supervision, 2022

- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Directive, pubblicazione ufficiale, 2018
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Guidelines on AI in Financial Markets, 2017
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II Guidelines on AI, 2017
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II, 2017, 22
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Algorithmic Trading Guidelines, 2017
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: High-Frequency Trading Guidelines, 2017, 12
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Key Changes in Financial Market Regulation, 2017
- European Securities and Markets Authority (ESMA), MiFID II: Markets in Financial Instruments Directive II
- European Securities and Markets Authority (ESMA), Report on Circuit Breakers in EU Financial Markets, 2020
- European Securities and Markets Authority (ESMA), The Role of AI in Financial Supervision: Risks and Policy Implications, 2023
- FAST, Victoria; SCHNURR, Daniel; WOHLFARTH, Michael. Regulation of data-driven market power in the digital economy: Business value creation and competitive advantages from big data. *Journal of Information Technology*, 2023, 38.2: 202-229.
- FEIN, Melanie L. Robo-Advisors: A Closer Look. Social Science Electronic Publishing, 2015.
- FERREMI, Ettore. High Frequency Trading: impact on capital markets and regulation.
- Financial Conduct Authority (FCA), AI and Market Supervision: Monitoring High-Frequency Trading Strategies, 2022
- Financial Conduct Authority (FCA), Ensuring Robustness of AI Systems in Financial Markets: The Role of Pre-Trade Certification, 2022
- Financial Services Agency (FSA), AI Standards for Financial Institutions, 2021

- Financial Stability Board (FSB), AI in Financial Markets: Challenges and Opportunities, 2022
- Financial Stability Board (FSB), Explainable AI in Financial Services, 2022
- Financial Stability Board (FSB), Global Standards for AI in Financial Services: Recommendations for Harmonization, 2022, 15
- Financial Stability Board (FSB), Global Standards for AI in Financial Supervision: A Policy Proposal, 2023
- Financial Stability Board (FSB), Regulatory Challenges in AI-driven Financial Markets, 2022
- Financial Stability Board (FSB), The Need for Global AI Standards in Financial Markets, 2022
- Financial Stability Board, Artificial Intelligence and Financial Stability, 2022
- Financial Stability Board, Risks of Cloud Computing in Financial Markets, 2021
- FORESTIERI, Giancarlo. Corporate & investment banking. 2018.
- GOMBER, Peter, et al. The MiFIR trading obligation: Impact on trading volume and liquidity, 2018.
- GOMBER, Peter; KOCH, Jascha-Alexander; SIERING, Michael. Digital Finance and FinTech: current research and future research directions. Journal of Business Economics, 2017, 87: 537-580.
- GOODFELLOW, Ian. Deep learning. 2016,172-175
- GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. Basic Econometrics, McGraw-Hill. New York, 2003.
- HADFIELD, Gillian K.; CLARK, Jack. Regulatory markets: The future of ai governance, 2023.
- HARRIS, Larry. Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners. Oxford university press, 2002.
- HOCHREITER, S. Long Short-term Memory. Neural Computation MIT-Press, 1997.
- Hong Kong Monetary Authority (HKMA), Artificial Intelligence and Market Supervision: A Sandbox Approach, 2021
- Hong Kong Monetary Authority (HKMA), The Role of AI Sandboxes in Financial Regulation, 2021

- IBIYEYE, Tawakalit Onaolapo; IORNENGE, Jeremiah Terdoo; ADEGBITE, Ayodeji. Evaluating Regulatory Compliance In The Finance And Investment Sector: An Analysis Of Current Practices, Challenges, And The Impact Of Emerging Technologies. *IOSR Journal of Economics and Finance (IOSR-JEF)*, 2024, 15.6: 1-8.
- KALIA, Suman. Potential Impact of Generative Artificial Intelligence (AI) on the Financial Industry. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, 2023, 12.12: 37.
- KASHYAP, Shruti. Transparency and Accountability in the European Financial Sector: The Markets in Financial Instruments Directive (MiFID) and Beyond. In: *Bank Regulation*. Routledge, 2017. p. 104-129.
- KATYAL, Sonia K. The paradox of source code secrecy. *Cornell L. Rev.*, 2018, 104: 1183.
- KIRILENKO, Andrei, et al. The flash crash: High-frequency trading in an electronic market. *The Journal of Finance*, 2017, 72.3: 967-998.
- KOP, Mauritz. EU artificial intelligence act: the European approach to AI.
- KOTECHA, Ness. Artificial Intelligence in the Stock Market: The Trends and Challenges Regarding AI-Driven Investments. *Open Journal of Business and Management*, 2025, 13.2: 709-734.
- KUSI, Baah, et al. Financial sector transparency, financial crises and market power: A cross-country evidence. *International Journal of Finance & Economics*, 2022, 27.4: 4431-4450.
- KWON, Kyung Yoon, et al. The role of dynamic and static volatility interruption: evidence from the Korean stock markets. Manuscript. Retrieved from <https://cdar.berkeley.edu/sites/default/files/Kwon-Eom-La-Park-VIs-March-1-2018.pdf>, 2018.
- LANG, Mark; PINTO, Jedson; SUL, Edward. MiFID II unbundling and sell-side analyst research. *Journal of Accounting and Economics*, 2024.
- Leonard E. Burman, William G. Gale, Sarah Gault, et al, *FINANCIAL TRANSACTION TAXES IN THEORY AND PRACTICE*. 2015.
- LEVY-CARCIENTE, Sary, et al. Dynamical macroprudential stress testing using network theory. *Journal of Banking & Finance*, 2015, 59: 164-181.
- MARKOWITZ, Harry M.; TODD, G. Peter. Mean-variance analysis in portfolio choice and capital markets. John Wiley & Sons, 2000.

- MARKOWITZ, Portfolio Selection, in The Journal of Finance, 7(1), 1952, 77-91
- McKinsey & Company, Federated Learning: How AI Can Preserve Data Privacy While Enhancing Market Oversight, 2023
- MEHDIYEV, Nijat; MAJLATOW, Maxim; FETTKE, Peter. Interpretable and Explainable Machine Learning Methods for Predictive Process Monitoring: A Systematic Literature, 2023.
- MiFID II: Impacts on Operational Efficiency, in European Financial Review, 2020
- MILOŞ, Marius Cristian. Impact of MiFID II on the Market Volatility—Analysis on Some Developed and Emerging European Stock Markets. Laws, 2021, 10.3: 55.
- MINSKY, Hyman P. The financial instability hypothesis. In: The Financial Instability Hypothesis: Minsky, Hyman P. [SI]: SSRN, 1999.
- Monetary Authority of Singapore (MAS), AI in Financial Markets: Regulatory Approaches and Future Challenges, 2022
- NAHAR, Janifer, et al. Market Efficiency And Stability In The Era Of High-Frequency Trading: A Comprehensive Review. International Journal of Business and Economics, 2024, 1.3: 1-13.
- NASDAQ, What is the Nasdaq Composite, and What Companies are in It?, in <https://www.nasdaq.com/articles/what-is-the-nasdaq-composite-and-what-companies-are-in-it-2021-05-12>, 2021
- National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020, Public Law 116-283
- Operational Adjustments in European Banks Post-MiFID II, in Journal of Financial Regulation, 2021
- PAUL, Stephan; SCHRÖDER, Nicola; SCHUMACHER, Simon. MiFID II/MiFIR/PRIIPs Regulation Impact Study: Effectiveness and Efficiency of New Regulations in the Context of Investor and Consumer Protection. German Banking Industry Committee. Noudettu, 2019, 5: 2024
- Regulation Impact Study: Effectiveness and Efficiency of New Regulations in the Context of Investor and Consumer Protection. German Banking Industry Committee. Noudettu, 2019, 5: 2024.
- PHOON, Kok Fai; KOH, Cher Chiew Francis. Robo-advisors and wealth management. Journal of Alternative Investments, 2018.

- RAZZANTE, Ranieri; PEZZUTO, Eliana. MiFID II: le novità per il mercato finanziario. G Giappichelli Editore, 2018.
- REINERS, Lee. Regulation of robo-advisory services. In: FinTech. Edward Elgar Publishing, 2024. p. 523-552.
- RIBEIRO, Marco Tulio; SINGH, Sameer; GUESTIN, Carlos. " Why should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. 2016. p. 1135-1144.
- RIME, Dagfinn. New electronic trading systems in the foreign exchange market. SSRN, 2014.
- SADAF, Rabeea, et al. Algorithmic trading, high-frequency trading: implications for MiFID II and market abuse regulation (MAR) in the EU. High-frequency Trading: Implications for MiFID II and Market Abuse Regulation (MAR) in the EU (May 15, 2021), 2021.
- Securities and Exchange Commission (SEC), AI and Market Regulation: Balancing Innovation and Investor Protection, 2022
- Securities and Exchange Commission (SEC), AI in Financial Services: Risks and Opportunities for Market Regulation, 2022
- Securities and Exchange Commission (SEC), AI-driven Market Surveillance: Challenges and Future Directions, 2023
- Securities and Exchange Commission (SEC), Guidelines for Algorithmic Trading, 2021, disponibile su [sec.gov](https://www.sec.gov)
- Securities and Exchange Commission (SEC), Market Supervision in the Age of AI: Challenges and Opportunities, 2023
- Securities and Exchange Commission (SEC), Regulatory Framework for Financial Intermediaries, report, 2021
- Securities and Exchange Commission (SEC), The Consolidated Audit Trail: Strengthening Market Oversight with AI Technologies, 2021
- SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, 1965, 52.3-4: 591-611.

- SINGH, Charanjit. Artificial intelligence and deep learning: considerations for financial institutions for compliance with the regulatory burden in the United Kingdom. *Journal of Financial Crime*, 2024, 31.2: 259-266.
- SUTTON, Richard S.; BARTO, Andrew G. Reinforcement learning: An introduction. MIT press, 2018.
- The Evolution of Operational Metrics in Global Markets, in Bloomberg Insights, 2024
- TRUBY, Jon; BROWN, Rafael; DAHDAL, Andrew. Banking on AI: mandating a proactive approach to AI regulation in the financial sector. *Law and Financial Markets Review*, 2020, 14.2: 110-120.
- US Government Accountability Office (GAO), Regulatory Oversight of Algorithmic Trading: The Case for a Centralized Audit Trail, 2021
- UULA, Mimma Maripatul. Artificial Intelligence and Financial Regulation Issues. *Islamic Finance and Technology*, 2024, 2.1.
- WEEKS, Melvyn. Introductory econometrics: a modern approach. 2002.
- WILLIAMS, Victoria. Fintech Regulations in the United States Compared to Regulations in Europe and Asia. 2020.
- World Bank, Financial Markets Volatility and Stability Post-COVID-19, 2021
- YADAV, Yesha. How algorithmic trading undermines efficiency in capital markets. *Vand. L. Rev.*, 2015, 68: 1607.
- ZHANG, Dayong; HU, Min; JI, Qiang. Financial markets under the global pandemic of COVID-19. *Finance research letters*, 2020, 36: 101528.
- ÖZER, Mahmut; PERC, Matjaz; SUNA, H. Eren. Artificial intelligence bias and the amplification of inequalities in the labor market. *Journal of Economy Culture and Society*, 2024, 69: 159-168.