



Dipartimento
di Impresa e Management

Cattedra di Matematica Finanziaria

L'UTILIZZO DELL'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE NELLA GESTIONE
DEL PORTAFOGLIO

Prof.
Marilena Sibillo

RELATORE

Gianni Biagianti
265011

CANDIDATO

Anno Accademico
2023/2024

SOMMARIO

1	Introduzione.....	4
2	Fondamenti di gestione del portafoglio	4
2.1	Concetti di rischio e rendimento	5
2.1.1	Il rendimento di uno strumento finanziario.....	6
2.1.2	Il rischio di uno strumento finanziario.....	8
2.1.3	Varianza e scarto quadratico medio.....	10
2.1.4	Il Value at Risk.....	12
2.2	La diversificazione del portafoglio.....	12
2.2.1	Portafoglio composto da due titoli	15
2.2.2	Portafoglio composto da 3 o più titoli.....	17
2.2.3	Misura dell'influenza che i singoli titoli hanno sul rischio di un portafoglio: il Beta	19
2.2.4	Processo di scelta dei portafogli efficienti.....	21
2.2.5	calcolo del premio per il rischio con il CAPM (Capital Asset Pricing Model).....	23
2.3	I principali approcci alla gestione del portafoglio	25
2.3.1	La gestione passiva	25
2.3.2	La gestione attiva	26
2.3.3	La gestione quantitativa.....	28
3	Tipologie di Intelligenze artificiali e campi di azione	29
3.1	introduzione alle intelligenze artificiali	29
3.2	Tipologie di intelligenza artificiale.....	31
3.3	Il machine learning.....	32
3.3.1	L'apprendimento supervisionato.....	33
3.3.2	L'apprendimento non supervisionato.....	36
3.3.3	L'apprendimento con rinforzo	36
3.4	Il Deep learning.....	38
3.4.1	Algoritmo evolutivo	39

3.4.2 Il metodo LASSO.....	40
3.5 Applicazioni dell'AI nel settore finanziario.....	40
<i>4 L'AI nella gestione del portafoglio.....</i>	<i>43</i>
4.1 Le principali tecniche di AI utilizzate nella gestione del portafoglio	44
4.2 L'analisi fondamentale con l'utilizzo dell'AI	46
4.3 Ottimizzazione del portafoglio con l'utilizzo dell'AI.....	48
4.4 La gestione del rischio di portafoglio.....	50
4.5 Robo-advisor	52
4.6 L'utilizzo delle AI nella gestione del portafoglio: focus sull'Italia	53
4.6.1 Gli obiettivi strategici legati allo sviluppo e all'utilizzo di sistemi AI	54
4.6.2 L'uso dei sistemi di AI e le tecnologie prevalenti	55
4.6.3 Benefici attesi e rischi percepiti.....	56
<i>5 rischi, regolamentazione e considerazioni etiche.....</i>	<i>58</i>
5.1 Qualità dei dati, distorsioni e discriminazioni	58
5.2 Interpretabilità e robustezza degli algoritmi	59
5.3 Sicurezza informatica e concorrenza	60
5.4 Privacy	61
5.5 Regolamentazione dell'unione europea	61
<i>6 Conclusioni.....</i>	<i>62</i>
<i>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....</i>	<i>64</i>

1 Introduzione

Nell'attuale contesto finanziario, caratterizzato da una maggiore complessità e volatilità dei mercati, per gli investitori la gestione del portafoglio rappresenta un'attività fondamentale. Tradizionalmente, la costruzione e l'ottimizzazione di un portafoglio si basano su principi consolidati come la diversificazione, la ponderazione del rischio e del rendimento, e l'analisi quantitativa dei dati storici. Tuttavia, con l'avanzare delle nuove tecnologie, in particolare l'intelligenza artificiale (AI), si stanno aprendo nuove opportunità per migliorare e quindi rivoluzionare la gestione del portafoglio. Il fine di questo elaborato è proprio quello di approfondire e analizzare l'integrazione delle tecniche di intelligenza artificiale nella gestione del portafoglio, con particolare riferimento all'efficienza, alla precisione e alla redditività delle strategie di investimento. L'AI, con le sue capacità di apprendimento, analisi e data analytics, offre strumenti potenti e avanzati per affrontare le complessità dei mercati finanziari. Questa tesi mira, in primo luogo, a fornire una panoramica completa e descrittiva delle metodologie tradizionali di gestione del portafoglio, evidenziando i loro punti di forza e di debolezza; in secondo luogo, ad esplorare come le tecnologie di AI possono essere integrate in questi processi per superare le debolezze già esistenti e di conseguenza creare strategie di investimento più robuste e adattive. Inoltre, si vogliono fare anche delle considerazioni riguardo i rischi derivanti dall'implementazione di tali tecnologie nel contesto della gestione del portafoglio.

2 Fondamenti di gestione del portafoglio

La gestione del portafoglio si riferisce al processo di gestione di un insieme di investimenti, al fine di raggiungere obiettivi finanziari specifici. In particolare, nell'ottica del trade-off rischio-rendimento, una gestione efficiente di un portafoglio mira ad organizzare le attività finanziarie in maniera tale da ridurre il rischio e massimizzare il rendimento.

Il suddetto portafoglio può includere molteplici asset finanziari, come azioni, obbligazioni, fondi comuni di investimento, ETF (Exchange-Traded Fund) e altri strumenti finanziari.

I fondamenti della gestione del portafoglio, che andremo ad approfondire in questo capitolo, riguardano i concetti di rischio e rendimento, di diversificazione del rischio e i principali approcci alla gestione del portafoglio.

2.1 Concetti di rischio e rendimento

Quando ci si occupa di titoli rischiosi come azioni, commodities o criptovalute, rischio e rendimento sono due concetti legati da una relazione diretta, infatti maggiore è il rischio, maggiore sarà il rendimento.

Per andare ad analizzare più a fondo il perché di questo principio, bisogna innanzitutto capire il motivo per cui un qualsiasi soggetto che investe il proprio denaro in strumenti finanziari, si dovrebbe aspettare di ricevere un guadagno.

Una delle ragioni per cui l'investitore si aspetta una remunerazione è dovuta al valore temporale del denaro, secondo cui "vale più un euro oggi di un euro domani".

L'investitore, infatti, rinuncia a poter disporre del suo denaro per un certo periodo di tempo, e per questo, si aspetta una remunerazione per tale rinuncia. Maggiore sarà il tempo in cui rinuncia alla propria ricchezza, maggiore sarà il compenso che gli spetterà.

Il secondo fattore alla base del rendimento è dato dal rischio di poter perdere tutto o parte di ciò che ha investito. In presenza di tale rischio, il guadagno previsto per la rinuncia a spendere le proprie risorse oggi, piuttosto che investirle, sarà ancora più grande.

Questo è il motivo per cui, a parità di durata, investimenti meno affidabili, generalmente hanno un rendimento atteso maggiore rispetto a investimenti sicuri.

Il concetto di rischio, utilizzato dagli operatori dei mercati finanziari, è definito come la possibilità di ottenere un risultato diverso da quello atteso, per questo motivo è corretto suddividere il rischio in:

- **Upside risk:** La possibilità di ottenere un risultato finale superiore a quello atteso.
- **Downside risk:** La possibilità di ottenere un risultato finale inferiore a quello atteso.

2.1.1 Il rendimento di uno strumento finanziario

Il rendimento è il tasso che misura la variazione del valore del capitale iniziale investito in uno strumento finanziario in un determinato periodo temporale.

Sono due le tipologie di ricavo con le quali l'investitore è remunerato dei suoi investimenti:

- Il Capital Gain, dato dalla differenza tra prezzo di acquisto e di vendita di un titolo.
- I flussi di cassa, flussi monetari in entrata e/o in uscita generati dall'investimento in un dato arco temporale, come ad esempio i dividendi per le azioni e le cedole per le obbligazioni.

Il tasso di rendimento di uno strumento finanziario (s) riferito ad una determinata unità di tempo (ad esempio t, t+1) è dato da:

$$R_t = \frac{D_{t+1} + P_{t+1}}{P_t} \quad (2.1)$$

dove:

- P_t = Prezzo unitario al momento dell'acquisto
- P_{t+1} = Prezzo unitario all'istante t+1
- D_{t+1} = eventuale flusso di cassa distribuito all'istante t+1
- R_t = Rendimento dello strumento s nel periodo temporale da t a t+1

Ci sono molteplici modalità di definizione e del calcolo dei tassi di rendimento, ma una delle più importanti è sicuramente il TIR (tasso interno di rendimento).

Il TIR è il tasso di attualizzazione che rende nullo il valore attuale di un investimento. (www.borsaitaliana.it) Esso risulta dall'equazione (2.2):

$$P = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (2.2)$$

dove:

- FC_t sono i flussi di cassa netti prodotti dall'investimento

I flussi di cassa netti prodotti dall'investimento sono costituiti dai flussi di cassa periodici e dal rimborso del capitale a scadenza al netto di oneri fiscali, costi di transazione e commissioni.

Il TIR esprime la redditività del titolo, considerando tutte le caratteristiche che lo compongono:

- Interesse periodico
- Capital Gain
- Rimborso del capitale
- Frequenza dei flussi periodici
- Durata dell'investimento
- Prezzo di acquisto
- Costi di transazione
- Oneri fiscali

Come si è osservato precedentemente, è possibile calcolare il rendimento di uno strumento finanziario in un dato periodo di tempo utilizzando le serie storiche, cioè, osservando quotidianamente i prezzi e i rendimenti passati e disponendoli in ordine cronologico.

Questo processo ci permette di tener conto degli eventuali guadagni o perdite dei possessori di questi strumenti finanziari durante questo periodo di tempo.

Detto ciò, possiamo introdurre il concetto di rendimento medio, che ci servirà per stimare sia i rendimenti futuri che la volatilità di uno strumento finanziario.

Il rendimento medio può essere calcolato su una qualsiasi base temporale (giornaliera, mensile, trimestrale, annuale ecc. ecc.), ma per semplicità lo calcoleremo su base annua. Definiamo il rendimento annuo medio come la media aritmetica di tutte le osservazioni ottenute sui rendimenti, ovvero:

$$\overline{R}_t = \frac{\sum_{t=1}^T R_t}{T} \quad (2.3)$$

dove:

- T è il numero di anni
- R_t è il rendimento annuale riferito all'anno t, t+1

Per poter stimare quali potrebbero essere in futuro i rendimenti di uno strumento finanziario, non bisogna più far riferimento alle serie storiche precedentemente usate bensì bisogna utilizzare la distribuzione di probabilità o densità di frequenza, facendo alcune ipotesi, come, ad esempio, che la conoscenza dell'andamento passato dello stesso sia la miglior approssimazione del possibile andamento futuro.

Considerando la variabile casuale A che associa ad ogni rendimento R la sua probabilità P_R di verificarsi, il rendimento atteso è dato dalla media ponderata dei rendimenti, dove i pesi corrispondono alle probabilità con cui questi si sono presentati nell'intervallo di riferimento.

$$\text{Il rendimento atteso è: } E[R] = \sum_{i=1}^n P_{R_i} \times R_i \quad (2.4)$$

Dove P_{R_i} è la probabilità con cui si è realizzato il rendimento R_i .

Il rendimento atteso è il rendimento che si otterrebbe in media se si potesse ripetere l'investimento infinite volte, nell'ipotesi che quest'ultimo derivi dalla stessa distribuzione e che il passato possa riprodurre esattamente il futuro.

Dato che nessun investitore ha la possibilità di ripetere all'infinito l'investimento, bisogna tener conto di quanto e come il rendimento che si otterrà si potrebbe discostare dal valore atteso della nostra variabile casuale dei rendimenti A .

2.1.2 Il rischio di uno strumento finanziario

In finanza il rischio si può definire come la possibilità che in un dato intervallo temporale il rendimento effettivo possa discostarsi dal rendimento atteso.

La prima distinzione che bisogna fare per determinare il rischio di uno strumento finanziario è quella fra **titoli di capitale**, come ad esempio le azioni, e i **titoli di debito**, tra i più diffusi si ricordano le obbligazioni, tenendo in considerazione che acquisendo i primi, si diventa soci della società emittente, partecipando completamente al rischio economico di quest'ultima, mentre investendo in titoli di debito si diventa finanziatori dell'emittente.

A parità di altre condizioni, i possessori della prima tipologia di titoli saranno esposti ad un rischio maggiore, visto che la loro retribuzione sarà legata all'andamento della società emittente. Al contrario il possessore di un titolo di debito non verrà remunerato solo in caso di default della società emittente.

Per ambedue le varietà di titoli il rischio può essere scomposto in due componenti:

Il rischio specifico ed il rischio sistematico.

Il **rischio sistematico** dipende da fattori di rischio non associati direttamente allo strumento finanziario, ma all'andamento del mercato nel suo complesso. Analogamente non potendo essere limitato con la diversificazione viene definito rischio non diversificabile o non eliminabile.

Per i titoli di capitale tale rischio deriva dalle variazioni del mercato in generale, mentre per i titoli di debito è originato dalle variazioni dei tassi di interesse del mercato che influenzano il prezzo dei titoli e quindi i suoi rendimenti, in maniera direttamente proporzionale alla vita residua del titolo.

Il **rischio specifico** dipende da tutti quei fattori di rischio direttamente connessi allo strumento finanziario e, come vedremo in seguito, può essere mitigato o eliminato tramite la diversificazione del portafoglio e per questo viene anche definito rischio diversificabile o eliminabile.

I fattori di rischio che determinano il rischio specifico sono:

- **Il rischio emittente:** Nella valutazione di un investimento si deve tenere conto della solidità patrimoniale delle società emittenti così come delle loro prospettive economiche e delle peculiarità dei settori in cui quest'ultime operano.
Per quanto riguarda i prezzi dei titoli di capitale, essi rispecchiano continuamente una media delle aspettative che gli investitori hanno circa l'andamento delle società emittenti. Tenendo in considerazione i titoli di debito, il rischio che la società emittente non rispetterà gli accordi presi si riversa sul tasso di interesse con una relazione diretta (all'aumentare dell'inaffidabilità della società emittente aumenteranno anche i tassi di interesse corrisposti da quest'ultima)
- **Il rischio d'interesse:** Riferendoci ai titoli di debito, la variazione dei tassi di interesse genera delle variazioni di prezzo dei titoli stessi, di conseguenza qualora l'investitore decidesse di non tenere il titolo per tutta la sua durata, ma di smobilizzarlo prima, il rendimento effettivo potrebbe variare rispetto a quello garantito al momento del suo acquisto. Con riguardo ai titoli a tasso fisso, la variabilità del prezzo rispetto alle variazioni dei tassi di interesse aumenta all'aumentare della vita residua del titolo.
- **Il rischio di credito:** Rappresenta il rischio che l'emittente diventi insolvente. Viene valutato tramite la probabilità attesa di default e le valutazioni delle agenzie

di rating, che analizzando le caratteristiche dell'emittente esprimono un giudizio riguardo appunto al loro rischio di insolvenza. Il rischio di credito aumenta all'aumentare della probabilità attesa di default o al diminuire del rating.

- **Il rischio di liquidità:** Rappresenta il rischio di non riuscire a smobilizzare velocemente lo strumento finanziario selezionato, oppure, di farlo subendo una grossa perdita.
- **Il rischio di mercato:** Il rischio di subire delle perdite a causa della variazione dei prezzi o dell'andamento generale di mercato. Come analizzeremo in seguito può essere misurato tramite la volatilità ed il valore a rischio (VaR) (CONSOB, Rischi Dell'investimento, educazione finanziaria)

2.1.3 Varianza e scarto quadratico medio

Per tradurre numericamente un concetto astratto come il rischio, nel contesto finanziario viene utilizzato un indicatore statistico: **la varianza**.

In statistica, con riferimento a una serie di valori, essa è definita come la media dei quadrati degli scarti dei singoli valori dalla loro media aritmetica.

La varianza (σ^2) è un indice di dispersione che misura la distanza dei valori di un determinato parametro rispetto al valore medio. Nel contesto finanziario misura la dispersione dei rendimenti di uno strumento finanziario rispetto alla media degli stessi rendimenti. La varianza è data dalla seguente formula:

$$Var(R) = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 = E[(R - E[R])^2] \quad (2.5)$$

dove:

- R_i è l'i-esimo rendimento
- \bar{R} è la media dei rendimenti

Maggiore è la varianza associata ai rendimenti di un'attività finanziaria, maggiore sarà il rischio ad essa associato.

È definita deviazione standard o scarto quadratico medio (σ) la sua radice quadrata aritmetica, preferibile alla varianza in quanto è espressa nella stessa unità di misura dei valori analizzati, ed è definita **volatilità**.

$$SD(R) = \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (2.6)$$

A titolo esemplificativo prendiamo in considerazione i rendimenti annui di un titolo dal 2019 al 2023.

ANNO	RENDIMENTO
2019	5%
2020	10%
2021	15%
2022	11%
2023	9%

Possiamo così calcolare prima il rendimento annuo medio facendo la media aritmetica dei rendimenti annuali, e in seguito la volatilità del titolo preso in considerazione.

Il rendimento annuo medio è dato da:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{t=1}^T R_t}{T}$$

$$\text{Quindi } \bar{R} = \frac{5\% + 10\% + 15\% + 11\% + 9\%}{5} = 10\%$$

A questo punto possiamo calcolare la varianza

$$\sigma^2 = \frac{(R_{2019} - \bar{R})^2 + (R_{2020} - \bar{R})^2 + \dots + (R_{2023} - \bar{R})^2}{5 - 1} = 0,0013$$

da cui è immediato calcolare lo scarto quadratico medio:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{0,0013} = 3,60\%$$

La volatilità indica l'ampiezza delle oscillazioni del rendimento di un titolo intorno alla sua media; quindi, ragionevolmente ci potremmo aspettare per il nostro titolo preso in

considerazione, un rendimento futuro che oscillerà fra un massimo di 13,60% (10%+3,60%) e un minimo di 6,4% (10%-3,6%).

2.1.4 Il Value at Risk

Un altro indicatore di rischio è il VaR (Value at Risk). Questo indicatore costituisce però una misura di rischio frequenziale e non di intensità, in quanto rappresenta una misura della massima perdita nella quale, con una certa probabilità, un dato strumento finanziario potrebbe incorrere in un determinato orizzonte temporale.

Tale parametro dipende da fattori quali la durata dell'investimento, il livello di confidenza, cioè la probabilità di avere al massimo tale perdita (solitamente si utilizza un livello di confidenza del 95% o del 99%), e il tipo di valuta utilizzato.

Ad esempio, supponiamo di investire in uno strumento finanziario e di averne calcolato il suo VaR a un giorno, che risulta pari a 700€ ad un livello di confidenza del 99%. In questo caso a patto che ci si trovi in condizioni normali di mercato, a fine giornata ci si può aspettare con una probabilità del 99% una massima perdita di 700€. Contrariamente ci si può aspettare che la nostra perdita a fine giornata superi quell'importo, con una probabilità dell'1%. (Holton, Glyn A. Value-at-Risk: Theory and Practice, II edizione, 2012)

2.2 La diversificazione del portafoglio

Un portafoglio finanziario è l'insieme di diverse attività finanziarie detenute da un investitore.

All'interno del portafoglio è definito peso di portafoglio, la proporzione di valore di ciascuna attività sul valore totale del portafoglio:

$$\text{Peso di portafoglio} = \frac{\text{importo investito nel singolo titolo}}{\text{importo investito complessivamente}}$$

Chiaramente la somma di tutti i pesi dovrà essere uguale ad uno, o a cento se espressa in termini percentuali.

La creazione di un portafoglio deriva dall'esigenza degli investitori di diversificare i propri investimenti, in quanto investire in un solo strumento finanziario significherebbe di fatto legare i propri rendimenti a quelli dell'emittente (se l'emittente guadagna, l'investitore guadagnerà ma al contrario se dovesse subire una perdita, anche l'investitore la subirebbe).

L'obiettivo principale di una diversificazione efficiente è quello di minimizzare il rischio, dare più stabilità ai risultati e incrementare le opportunità di rendimento.

Esistono vari livelli di diversificazione, ad esempio si parla di **diversificazione quantitativa** quando all'interno di uno stesso mercato, come quello azionario, si acquistano titoli di più società. La diversificazione non è data solo dalla numerosità dei titoli, ma anche da fattori settoriali e geografici, come per esempio puntare su strumenti emessi da paesi diversi, oppure puntare su diverse asset class o diversi settori, in questo caso si parla di **diversificazione qualitativa**.

Un portafoglio ben diversificato nel lungo periodo riesce ad annullare totalmente il rischio specifico, (solo in presenza di titoli perfettamente indipendenti tra loro e con andamento non correlato) cioè quello legato direttamente ai singoli strumenti finanziari, e ad essere influenzato solo dal rischio di mercato, cioè quello che appunto viene definito non diversificabile. In riferimento alla Figura 1, che riporta sull'asse delle ordinate la deviazione standard del portafoglio e sull'asse delle ascisse il numero delle azioni contenute nel portafoglio, possiamo osservare come all'aumentare del numero di azioni contenute nel portafoglio il rischio specifico diminuisca fino ad arrivare al punto in cui la

deviazione standard del portafoglio sia data esclusivamente dal rischio di mercato, che come sopra citato non è eliminabile tramite la diversificazione.

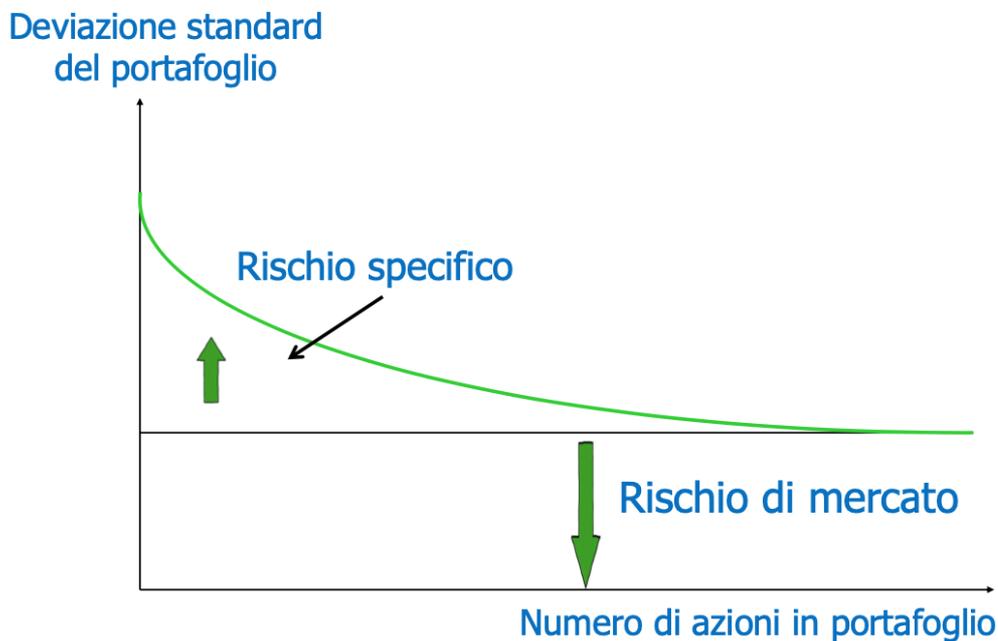


Figura 1: Rischio specifico e diversificazione (Mariani, M. *Rischio e rendimento degli Strumenti Finanziari*. Università degli studi di Bari.)

Per capire meglio come funziona la diversificazione dobbiamo analizzare i concetti di rendimento atteso di un portafoglio e di rischio del portafoglio.

Il **Rendimento atteso di un portafoglio** è dato semplicemente dalla media ponderata dei rendimenti attesi delle singole attività che compongono il portafoglio, con pesi i rispettivi pesi di portafoglio.

$$E[R_p] = \sum_{i=1}^n X_i \times R_i \quad (2.7)$$

dove:

- X_i è il peso di portafoglio di ciascuno strumento e $\sum_{i=1}^n x_i=1$
- R_i è il rendimento atteso di ciascuno strumento

Per quanto riguarda invece il **rischio di portafoglio**, la media ponderata delle singole volatilità degli strumenti che compongono il portafoglio risulterà essere superiore o al massimo uguale alla volatilità del portafoglio. Questa riduzione del rischio è spiegata dalla covarianza e dal coefficiente di correlazione.

La **covarianza** è una misura del grado in cui due o più variabili sono linearmente legate, mentre il **coefficiente di correlazione** è una misura dell'intensità di questa relazione lineare fra due o più variabili.

2.2.1 Portafoglio composto da due titoli

I concetti che seguiranno nei paragrafi successivi derivano da un articolo pubblicato nel 1952 da Harry Markowitz, noto economista statunitense (cf: Markowitz, 1952)¹.

Esso ha basato i suoi studi sulla diversificazione del portafoglio dimostrando come i rendimenti, se misurati nel breve periodo possono essere distribuiti come una distribuzione normale. In statistica la distribuzione normale viene definita come: *una distribuzione di frequenza simmetrica che può essere interamente definita da due valori, la sua media e il suo scarto quadratico medio.*

Per questo motivo i rendimenti se distribuiti normalmente possono essere spiegati esaurientemente dal rendimento atteso e dallo scarto quadratico medio.

Il primo passo da fare è quello di calcolare la volatilità del portafoglio più semplice che ci possa essere, cioè quello composto solo da due titoli.

Chiamiamo P il portafoglio composto dal titolo A e dal titolo B, il cui rendimento atteso sarà:

$$E(R_p) = X_a R_a + X_b R_b \quad (2.8)$$

dove

- R_A ed R_B sono i rendimenti attesi dei due titoli
- X_A e X_B sono i pesi relativi di A e B nel portafoglio, per cui $X_A + X_B = 1$

Dopo aver calcolato il rendimento atteso, dobbiamo ora quantificare il rischio a cui l'investitore andrà incontro avviando tale investimento: per farlo ci dobbiamo avvalere dei due concetti sopra citati:

- σ_{AB} , la covarianza tra A e B
- ρ_{AB} , il coefficiente di correlazione tra A e B

Il valore numerico della covarianza può essere maggiore di zero, minore di zero o uguale a zero.

¹ Markowitz H.M., "Portfolio selection", in journal of finance, 1952

Questi tre diversi scenari hanno tre diversi significati in finanza, infatti se:

- $\sigma_{AB} > 0$ i due titoli si muoveranno in maniera sincronica
- $\sigma_{AB} < 0$ i due titoli non si muoveranno insieme in maniera prevedibile in quanto non c'è una relazione lineare diretta tra di essi.
- $\sigma_{AB} = 0$, tra i due titoli vi è assenza di relazione lineare.

Covarianza e coefficiente di correlazione sono direttamente collegati da una relazione univoca, infatti, $\rho_{AB} = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \sigma_B}$

Il coefficiente di correlazione può assumere valori reali compresi tra -1 ed 1 dove:

- $\rho_{AB}=1$ indica una correlazione perfettamente positiva, i due titoli rispettano una perfetta relazione lineare positiva.
- $\rho_{AB} > 0$ indica che in media i due titoli si muoveranno nella stessa direzione.
- $\rho_{AB} = 0$ indica un'assenza di relazione lineare fra i due titoli che saranno dunque definiti incorrelati.
- $\rho_{AB} < 0$ indica che in media i due titoli si muoveranno in direzioni opposte.
- $\rho_{AB} = -1$ indica una correlazione perfettamente negativa, i due titoli sono legati da una perfetta relazione lineare negativa.

	TITOLO A	TITOLO B
TITOLO A	$X_A^2 \sigma_A^2$	$X_B X_A \sigma_{AB} = X_B X_A \rho_{AB} \sigma_B \sigma_A$
TITOLO B	$X_B X_A \sigma_{AB} = X_B X_A \rho_{AB} \sigma_B \sigma_A$	$X_B^2 \sigma_B^2$

Tabella 1: Matrice varianza-covarianza con 2 titoli

La procedura esatta per il calcolo della varianza del nostro portafoglio (P) è spiegata dalla matrice varianza covarianza (Tabella 1), dove nel riquadro in alto a sinistra vi è la varianza dei rendimenti del titolo A (σ_A) ponderata per il quadrato della quota investita in tale titolo (X_A^2). Analogamente nel riquadro in basso a destra è presente la varianza del titolo B (σ_B^2) ponderata per il quadrato della quota investita in questo titolo (X_B^2).

Gli elementi presenti nelle due caselle diagonali dipendono dalla varianza dei due titoli mentre quelli presenti nelle altre due dipendono dalla loro covarianza, data dal prodotto del coefficiente di correlazione (ρ_{AB}) per i due scarti quadratici medi (σ_B e σ_A).

In queste due caselle la covarianza fra i due titoli è ponderata per il prodotto delle quote investite.

Una volta completata la tabella possiamo calcolare la varianza del portafoglio sommando le quattro caselle.

A questo punto facendo la radice quadrata riusciamo a trovare lo scarto quadratico medio e cioè la volatilità del portafoglio.

$$SD(P) = \sqrt{Var(P)} = \sqrt{X_A^2 \sigma_A^2 + X_B^2 \sigma_B^2 + 2X_B X_A \sigma_{AB}} \quad (2.9)$$

La diversificazione di portafoglio riduce il rischio solo quando la correlazione è minore di uno, ed il miglior risultato che si può ottenere con la diversificazione si ha quando le due azioni sono correlate negativamente.

Quando la correlazione è perfettamente negativa esiste una strategia di portafoglio data da un insieme specifico di ponderazioni del portafoglio che consente di eliminare totalmente il rischio specifico.

2.2.2 Portafoglio composto da 3 o più titoli

Questo metodo di calcolo del rischio e del rendimento atteso di un portafoglio può essere utilizzato anche in portafogli composti da N titoli.

Il rendimento atteso sarà dato in ogni caso dalla media ponderata dei rendimenti attesi dei singoli titoli, mentre per quanto riguarda il rischio, bisogna sviluppare una matrice che abbia un numero sempre maggiore di caselle all'aumentare dei titoli.

	1	2	3	4			N
1							
2							
3							
4							
N							

Tabella 2: Matrice varianza-covarianza con N titoli

Tutte le caselle lungo la diagonale (quelle evidenziate nella tabella 2) contengono le varianze dei titoli ponderate per il quadrato della quota investita nell'azione stessa, le altre caselle contengono invece la covarianza tra la coppia di asset considerata, ponderata per il prodotto delle quote investite in tali titoli.

Lo scarto quadratico medio del portafogli sarà quindi dato dalla radice quadrata della sommatoria di tutti gli elementi della matrice:

$$SD(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}} \quad (2.10)$$

dove

- N è il numero di titoli presente nel portafoglio

Si evince dalla nostra analisi che in un portafoglio contenente solamente due titoli, il numero di caselle contenenti la varianza è uguale al numero di caselle che contengono la covarianza. All'aumentare dei titoli, e quindi delle caselle, il numero delle covarianze supera di molto quello delle varianze, ed è per questo che la volatilità di un portafoglio ben diversificato dipende principalmente dalle covarianze.

Ipotizziamo di investire in un portafoglio formato da N titoli, acquistando una porzione identica di ogni titolo pari ad 1/N.

Per ogni casella delle varianze otteniamo $(1/N)^2$ moltiplicato per la varianza media, mentre nelle caselle della covarianza abbiamo $(1/N)^2$ moltiplicato per la covarianza media.

Dato che il numero di celle contenenti la varianza è N e quelle contenenti la covarianza sono $N^2 - N$, otteniamo che:

$$\begin{aligned} \text{Volatilità del portafoglio} &= \sqrt{\text{Varianza del portafoglio}} \\ &= N \left(\frac{1}{N}\right)^2 \times \text{varianza media} + (N^2 - N) \left(\frac{1}{N}\right)^2 \times \text{covarianza media} \\ &= \text{covarianza media} \\ &\quad + \frac{1}{N}(\text{varianza media} - \text{covarianza media}) \end{aligned}$$

Dall'ipotesi di equidistribuzione del portafoglio si può notare come al crescere di N , la varianza del portafoglio si approssimi alla covarianza media, e se quest'ultima fosse uguale a zero sarebbe di fatto possibile eliminare completamente il rischio detenendo un numero sufficientemente elevato di titoli.

Nella realtà però, è molto raro che i titoli abbiano covarianza nulla fra loro, dato che la maggior parte degli strumenti finanziari sono legati da covarianze positive.

Questo spiega perché dopo che la diversificazione ha dato i suoi frutti, rimanga una parte di rischio, che precedentemente abbiamo definito rischio sistematico o rischio del mercato, che non è possibile andare ad eliminare.

2.2.3 Misura dell'influenza che i singoli titoli hanno sul rischio di un portafoglio: il Beta

Dal paragrafo precedente abbiamo potuto constatare che il rischio di un portafoglio ben diversificato dipenda dal rischio sistematico dei titoli facenti parte del portafoglio stesso.

Dunque, per andare a quantificare come i singoli titoli influenzano il rischio dell'intero portafoglio, bisogna misurare la sensibilità del titolo rispetto ai movimenti del mercato, tale misura è chiamata beta (β).

Il beta è una misura della rischiosità sistematica dell'azione: esso misura la variazione attesa del rendimento del titolo per ogni variazione di un punto percentuale del rendimento di mercato. Il rendimento atteso di un titolo varia linearmente con il beta del titolo stesso. (www.borsaitaliana.it)

Le azioni con un $\beta > 1$ tenderanno ad amplificare i movimenti del mercato, mentre quelle con un beta compreso fra zero ed uno tenderanno a muoversi nella stessa direzione del mercato ma con un'intensità diversa.

Ad esempio, se prendiamo in considerazione due titoli A e B con beta uguali rispettivamente a 1.5 e 0.5, se il mercato cresce dell'1%, il titolo A cresce dell'1,5% mentre il titolo B dello 0,5%.

Al contrario però, se il mercato scende dell'1%, il titolo A decresce dell'1,5% mentre il titolo B solo dello 0,5%.

Continuando il nostro esempio, se ipotizzassimo che il titolo B avesse uno scarto quadratico medio maggiore del titolo A, esso sarebbe un titolo più rischioso se preso singolarmente ($\sigma_B > \sigma_A$), ma meno rischioso se inserito all'interno di un portafoglio ben diversificato ($\beta_B < \beta_A$).

Possiamo quindi affermare che in un contesto di portafoglio il rischio di un'attività è misurato dal beta e che il rischio di un portafoglio egregiamente diversificato è proporzionale al beta del portafoglio. Tale beta è dato dalla media ponderata dei beta dei singoli titoli.

Il beta dell'azione i è dato da:

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (2.11)$$

dove σ_{im} è la covarianza fra i rendimenti della generica azione i e i rendimenti del mercato m e σ_m^2 è la varianza dei rendimenti del mercato.

Per comprendere il motivo per cui il rapporto fra covarianza e varianza misura il contributo di un titolo al rischio di un portafoglio bisogna ritornare alla tabella 2.3.

Ciascuna riga nella figura rappresenta il contributo di quel particolare titolo al rischio del portafoglio, per cui il contributo dell'azione i è:

$$x_i x_i \sigma_i + x_i x_j \sigma_{ij} + \dots = x_i (x_i \sigma_{ii} + x_j \sigma_{ij} + \dots)$$

dove x_i è la quota investita nell'azione i e σ_{ij} è la covarianza fra l'azione i e l'azione j .

Più concisamente, in riferimento all'intero portafoglio, il contributo dell'azione 1 al rischio del portafoglio è uguale al suo peso nel portafoglio (x_1) moltiplicato per la covarianza media ponderata fra l'azione 1 e tutte le azioni presenti nel portafoglio (σ_{1p}). Per trovare il contributo relativo dell'azione 1 al rischio dobbiamo dividere per la varianza del portafoglio ottenendo $x_1(\sigma_{1p}/\sigma_p^2)$. Parafrasando, tale contributo è uguale al suo peso (x_1) moltiplicato per il suo beta rispetto al portafoglio (σ_{1p}/σ_p^2). Possiamo perciò calcolare il beta di un'azione rispetto qualunque portafoglio prendendo la sua covarianza con il portafoglio e dividendola per la varianza del portafoglio.

Analogamente se volessimo calcolare il beta di un'azione rispetto al portafoglio del mercato dovremmo semplicemente calcolare la sua covarianza con il portafoglio del mercato e dividerla per la varianza del mercato. (Brealey, R. A., Myers, S. C., ALLEN, F., & Sandri, S., Principi di finanza aziendale, VIII edizione, 2020)

2.2.4 Processo di scelta dei portafogli efficienti

L'obiettivo di ogni investitore razionale nella scelta della ponderazione dei titoli all'interno del proprio portafoglio dovrebbe essere quello di ottenere il minor rischio possibile per un dato rendimento o il più alto rendimento per un dato livello di rischio. I portafogli che rispettano tali condizioni sono stati definiti dallo stesso Markowitz **portafogli efficienti**.

Fino ad ora abbiamo considerato che i titoli che compongono il nostro portafoglio fossero tutti titoli rischiosi, ma si può ridurre il rischio complessivo del portafoglio investendo anche in **titoli sicuri e privi di rischio** come, ad esempio, i Buoni Del Tesoro.

Con riferimento al modello di equilibrio dei mercati del Capital Asset Pricing Model (CAPM), supponiamo quindi di investire in un portafoglio P, composto da un titolo rischioso (r_R) e un titolo risk-free (r_f). La quantità di capitale a disposizione è uguale a

X , e decidiamo di investire una quantità X_R nel titolo rischioso e una quantità $X_f=(1-X_R)$ nel titolo privo di rischio. Ovviamente $X=X_R+X_f$.

Il rendimento atteso del portafoglio sarà:

$$E(r_P) = (1 - X_R)r_f + X_R r_R = r_f + X_R(r_R - r_f)$$

Ordinando la formula in questo modo si noti come il rendimento atteso sia dato dal tasso privo di rischio (r_f) e dal premio per il rischio ($r_R - r_f$) moltiplicato per la quota investita nel titolo rischioso (X_R).

Per calcolare il rischio del nostro portafoglio bisogna fare due considerazioni sul titolo privo di rischio:

- Il suo scarto quadratico medio a priori è nullo, $\sigma_f=0$
- Per definizione essendo lo scarto quadratico medio nullo lo sarà anche la sua covarianza $\sigma_{f,R} = \rho_{f,R}\sigma_f\sigma_R = 0$

Dunque, la volatilità del portafoglio sarà uguale a: $\sigma_P = \sqrt{X_R^2\sigma_R^2} = X_R\sigma_R$

Il rischio del portafoglio composto da un titolo rischioso e da uno risk-free è dato da una parte della volatilità del titolo rischioso, direttamente proporzionale alla quantità investita nel titolo stesso.

Come bisogna calcolare la quantità di capitale da destinare a titoli rischiosi e quella da destinare a titoli privi di rischio? Per rispondere a questa domanda ci vengono in aiuto due concetti: **La capital market line e l'indice di sharpe.**

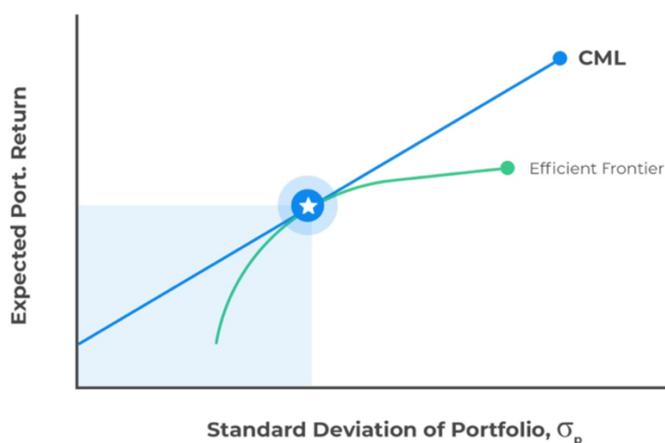


Figura 2: La Capital Market Line

Fonte: Analystprep

Osservando la figura 2, che rappresenta il rendimento atteso (μ) sull'asse delle ordinate e la volatilità (σ) sull'asse delle ascisse, la capital market line è la retta tangente alla frontiera efficiente degli investimenti rischiosi (insieme dei portafogli efficienti), tracciata dal punto dell'attività priva di rischio. L'equazione della CML è data da:

$$r_p = r_f + \frac{(r_m - r_f)}{\sigma_m} \times \sigma_p \quad (2.12)$$

L'indice di Sharpe rappresenta la pendenza di tale retta ed è dato da:

$$\text{indice di Sharpe} = \frac{\text{premio per il rischio}}{\text{scarto quadratico medio}} = \frac{E(r_p) - r_f}{\sigma_p} \quad (2.13)$$

All'aumentare della pendenza, per ogni livello di rischio otterremo un rendimento maggiore. Il punto di tangenza tra tale retta e la frontiera efficiente risulterà essere il portafoglio efficiente migliore di tutti gli altri qualora l'investitore scelga di investire in attività rischiose e non.

2.2.5 Calcolo del premio per il rischio con il CAPM (Capital Asset Pricing Model)

Abbiamo osservato che nella scelta degli strumenti finanziari da detenere in un portafoglio, l'investitore può decidere di investire in titoli privi di rischio, con rendimenti fissi e beta uguali a 0, oppure in titoli rischiosi, con rendimenti variabili e beta maggiori di 0.

Ovviamente nessuno si assumerebbe un rischio se non per poter guadagnare qualcosa in più, questo guadagno in più è definito **premio per il rischio del mercato** ed è dato dalla differenza fra il rendimento del mercato e il tasso di interesse privo di rischio ($r_m - r_f$).

Per calcolare questo premio per il rischio i 3 economisti William Sharpe, Jhon Lintner e Jack Treynor hanno esposto una modello noto come Capital Asset Pricing Model secondo il quale: *il premio atteso per il rischio varia in modo direttamente proporzionale al beta.*

Questa relazione può essere scritta nel seguente modo:

$$r - r_f = \beta(r_m - r_f) \quad (2.14)$$

Il premio atteso per un investimento con beta pari a due sarà quindi uguale al doppio del premio atteso per il rischio del mercato.

A titolo esemplificativo stimiamo il tasso di rendimento atteso (r) di un titolo con beta uguale a 0.38, tenendo conto che il tasso di interesse lordo sui BTP decennali sia uguale a 2.78% ($r_f=2.78\%$) e che il premio per il rischio del mercato sia circa il 5,62% [$(r_m - r_f) = 5.62\%$].

Otteniamo:

$$r = r_f + \beta(r_m - r_f) = 4.91\%$$

Tale equazione rappresenta una retta denominata Security Market Line (SML), dove il tasso privo di rischio (r_f) è l'intercetta, il premio per il rischio azionario determina la pendenza, mentre il beta è il coefficiente angolare.

Secondo il CAPM in un mercato in equilibrio, esiste una SML per ogni azione presente sul mercato. Se un titolo si colloca, dato il suo beta, al di sopra della SML, questo è sottovalutato in quanto rende di più di quanto stimato in condizioni di equilibrio del mercato e di conseguenza tutti gli operatori cercheranno di comprarlo, diminuendo conseguentemente il suo rendimento e riportandolo sulla SML.

Al contrario, se un titolo si colloca al di sotto della SML questo è sopravvalutato, dato che rende di meno di quanto stimato, sempre in condizioni di equilibrio del mercato, per questo motivo tutti gli investitori lo venderanno facendo tornare il suo rendimento in equilibrio con le richieste.

Dalla figura 3 che presenta il rendimento atteso del titolo sull'asse delle Y e il Beta del titolo sull'asse delle X, si può osservare come vari il rendimento sulla SML all'aumentare del Beta.

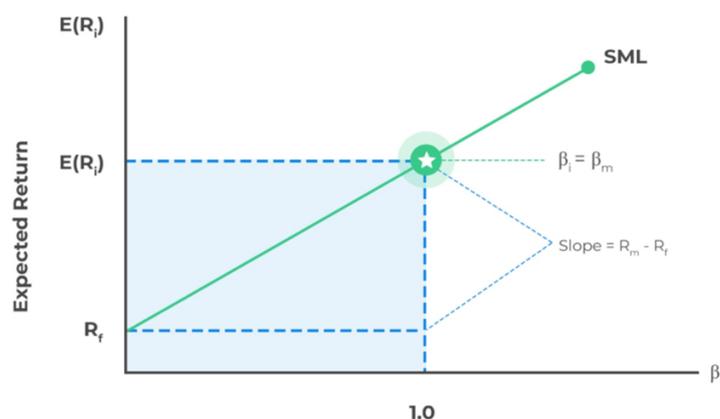


Figura 3: La Security Market Line

2.3 I principali approcci alla gestione del portafoglio

Nei capitoli precedenti abbiamo esaminato come poter costruire un portafoglio efficiente che permetta all'investitore di raggiungere gli obiettivi prefissati all'inizio del suo investimento.

Esistono vari approcci alla gestione del portafoglio che possono variare proprio in base alle specifiche esigenze dell'investitore; tali esigenze sono legate alle necessità individuali o familiari, alla propensione al rischio e ad altre caratteristiche del medesimo.

Un altro passaggio che differenzia i vari stili di gestione del portafoglio è dato dal tenere in considerazione i vincoli temporali, di liquidità, di regolamentazione e di tassazione a cui ogni investitore deve sottostare.

I principali approcci alla gestione del portafoglio sono tre, la gestione attiva, la gestione passiva e la gestione quantitativa.

2.3.1 La gestione passiva

Con questo stile di gestione, il gestore minimizza le proprie scelte di asset allocation con l'obiettivo di minimizzare i costi di transazione (andando a diminuire il numero di operazioni di compravendita e i relativi costi di commissione) e la tassazione sul capital gain.

Tale strategia mira a creare un portafoglio che vada a replicare l'andamento di uno o più indici di mercato come ad esempio S&P500, NASDAQ o EUROSTOXX.

Esistono due diversi approcci da seguire per attuare una gestione di portafoglio passiva: il primo è denominato **Buy and Hold** e consiste nell'andare ad investire in determinati strumenti che rispecchino le caratteristiche ricercate, e tenerli fino alla scadenza.

Il secondo approccio prevede l'**indicizzazione**, cioè l'andare a creare un portafoglio che abbia al suo interno attività finanziarie con la stessa proporzione dell'indice di riferimento.

Molto spesso gli investitori investono in fondi comuni di investimento o in ETF (Exchange Traded Fund) per seguire l'andamento di questi indici.

Gli elementi della teoria della finanza alla base di questa strategia di gestione sono due e sono i seguenti:

- **L'ipotesi di mercato efficiente**, secondo cui il prezzo di mercato in equilibrio riflette totalmente l'informazione disponibile, ed è di conseguenza impossibile sconfiggere il mercato grazie ad una gestione attiva.
- **Il problema principale/agente**: A causa del problema dell'asimmetria informativa, il principale (l'investitore), il cui capitale è gestito dall'agente (gestore del portafoglio), non è in grado di monitorare l'operato del gestore. Deve quindi fornire corretti incentivi per perseguire il trade off rischio-rendimento.

2.3.2 La gestione attiva

Attraverso questa strategia di investimento, l'investitore prende delle decisioni, con l'obiettivo di ottenere rendimenti maggiori rispetto agli indici di riferimento.

Per attuare la seguente strategia, bisogna esporre il proprio portafoglio ad un rischio più elevato rispetto a quello del benchmark². Ovviamente esponendosi ad un rischio maggiore il fine ultimo è quello di ottenere anche un rendimento maggiore rispetto agli indici di riferimento.

Le principali strategie di gestione attiva del portafoglio sono le seguenti:

- **Asset allocation**: è quel processo con il quale si decide in che modo distribuire le risorse tra i diversi strumenti finanziari o asset class³. Durante questo processo vanno determinati i pesi nonché i criteri con i quali devono essere gestiti i vari strumenti finanziari all'interno del portafoglio, tenendo conto degli obiettivi

² Con il termine benchmark si indica un parametro di riferimento. In materia di investimento esso viene utilizzato come indice oggettivo di riferimento per confrontare le performance di portafoglio rispetto all'andamento del mercato. (www.borsaitaliana.it)

³ Le asset class o gruppi di strumenti finanziari sono ampi insiemi di titoli caratterizzati da un rapporto rischio-rendimento omogeneo (R. Bertelli, E. Linguanti, *Analisi finanziaria e gestione di portafoglio*, Franco Angeli, 2008)

dell'investitore. L'asset allocation può essere suddiviso in tre categorie, orientate secondo approcci differenti:

- (1) L'**Asset allocation strategica** orienta gli investimenti organizzandoli per un orizzonte di medio e lungo periodo e si pone come obiettivo la ripartizione del capitale nelle varie asset class presenti sul mercato.
 - (2) L'**asset allocation tattica** che mira a stabilire all'interno dell'asset allocation strategica come investire effettivamente il capitale, ed è orientata al breve periodo, generalmente questa asset allocation adatta quella strategica a temporanei trend del mercato e una coerenza fra queste due tipologie di asset allocation permette in linea generale di evitare errori nella gestione del portafoglio.
 - (3) L'**asset allocation dinamica** è orientata molto di più rispetto alla precedente alla lettura del mercato nel breve periodo, con l'obiettivo di adattare il portafoglio a rapide variazioni del mercato.
- **Stock picking:** consiste in una strategia di selezione di strumenti finanziari, dove l'investitore va a selezionare attività finanziarie che risultano sottostimate dal mercato e quindi con un maggior potenziale di apprezzamento. Vengono osservati e analizzati dall'investitore i bilanci e il management, e vengono confrontati i ratio borsistici con quelli di altre attività comparabili.
 - **Stock screening:** l'investitore utilizzando i database di dati fondamentali e tecnici, seleziona le società in cui investire in base ai valori migliori di quest'ultime rispetto a determinati indicatori che possono essere di performance oppure specifici della singola impresa.
 - **Market timing:** tramite delle analisi generalmente di tipo macroeconomico, come per esempio l'andamento dei tassi di interesse o di cambio, si sposta la propria esposizione da un mercato all'altro, cercando di sfruttare il tempismo migliore per trarre vantaggio dalle fluttuazioni del mercato. Si modifica il peso del portafoglio totale, per ridurlo prima di un calo dei prezzi e aumentarlo in caso del loro aumento.

Un'ulteriore distinzione va fatta fra:

- L'approccio Top-Down, dove si parte da un'analisi più ampia che comprende i mercati, i settori e le economie fino ad arrivare a selezionare i singoli titoli.

- L'approccio Bottom-Up, dove si inizia guardando i "fondamentali" del titolo, per poi selezionare e investire in attività con prospettive elevate di crescita e di reddito, indipendentemente dal loro settore e paese.

Si evince che queste strategie di gestione del portafoglio hanno in comune l'abilità dell'investitore nella scelta dei suoi investimenti. Ovviamente il rischio sarà maggiore, ma in caso di una buona gestione lo sarà anche il rendimento.

La strategia attiva si basa sulla convinzione che i mercati non siano efficienti, e sulla convinzione che attraverso la preparazione, l'esperienza, l'intuito e la tecnologia si possa in qualche modo "battere" quest'ultimo.

2.3.3 La gestione quantitativa

Questa tipologia di gestione del portafoglio utilizza modelli matematici, statistici e algoritmi per analizzare i mercati finanziari e le varie opportunità di investimento.

Tale metodo utilizza una vasta gamma di dati che vengono analizzati tramite un'analisi quantitativa. Viene definito tale il metodo di analisi che cerca di comprendere il comportamento dei mercati di riferimento utilizzando appunto i modelli matematici e statistici. L'obiettivo principale di questa metodologia di ricerca è quello di capire cosa determina le fluttuazioni di mercato per riuscire in qualche maniera a prevederle e di conseguenza anticiparle. In sintesi, si assegna ad ogni variabile un valore numerico, e sulla base di questi, analisti e macchine cercano di replicare matematicamente la realtà.

I vantaggi associati a questa strategia di scelta di investimenti e gestione del portafoglio sono una maggiore rapidità decisionale, data dalla capacità dei computer di eseguire calcoli automatizzati in maniera estremamente veloce. La razionalità alla base dei calcoli, dove modelli e numeri sono legge, e delle decisioni di investimento che si basano su dati oggettivi senza lasciare spazio ad errori umani dettati dalle emozioni.

La capacità di riuscire a gestire il rischio finanziario, dato che questi modelli riescono a rilevare il minimo andamento degli strumenti selezionati dall'investitore, prima che ciò possa causare ingenti perdite.

Le principali strategie di gestione quantitativa del portafoglio sono:

- **Analisi tecnica quantitativa:** Utilizza dati di mercato storici per individuare modelli e trend utilizzabili per prendere decisioni di investimento.

- **Analisi fondamentale quantitativa:** Utilizza i dati finanziari per valutare le imprese e ravvisare eventuali titoli che sono sopravvalutati o sottovalutati dal mercato.
- **Modello di previsione del prezzo:** Attraverso l'utilizzo di modelli matematici si cerca di prevedere le fluttuazioni di prezzo di determinati strumenti finanziari in base a determinate variabili quali la volatilità, i rendimenti e la correlazione con altri titoli.
- **Ottimizzazione del portafoglio:** Attraverso l'utilizzo di algoritmi si creano portafogli efficienti che massimizzano il rendimento o minimizzano il rischio sulla base dei vincoli dell'investitore.
- **Trading algoritmico:** Utilizza algoritmi per eseguire in maniera automatica ordini di acquisti o di vendita sulla base di indicazioni generate dai modelli quantitativi.

Nei prossimi capitoli andremo ad analizzare in maniera più approfondita questi temi, per capire in che modo e fino a dove le intelligenze artificiali (AI) riescano a prevedere l'andamento dei vari asset finanziari, riuscendo a creare portafogli ottimizzati.

3 Tipologie di Intelligenze artificiali e campi di azione

Le intelligenze artificiali stanno divenendo sempre più popolari negli ultimi anni, nonostante la ricerca su questo tema vada ormai avanti da decenni e le loro applicazioni nella vita di tutti i giorni stiano via via aumentando così come il livello delle loro performance. Prima di soffermarsi sull'applicazione dell'AI nel mondo della finanza e in particolare nel campo della gestione del portafoglio vorrei soffermarmi sull'intelligenza artificiale nelle sue caratteristiche generali, sul suo funzionamento, su quali sono le sue applicazioni attuali e future, e fino a dove questa nuova tecnologia può arrivare.

3.1 introduzione alle intelligenze artificiali

Negli ultimi anni sono emerse numerose definizioni di intelligenza artificiale ma nella sua forma più semplice essa viene definita come una branca della scienza informatica che cerca di creare macchine che riescano ad imitare l'intelligenza umana.

Il concetto di intelligenza artificiale venne introdotto per la prima volta da colui che viene definito “il padre dell’informatica”, Alan Turing, in un articolo pubblicato nel 1950. (A. M. Turing (1950) Computing Machinery and Intelligence. Mind 49: 433-460) In questo articolo l’autore ha introdotto l’ormai noto Test di Turing, con il quale si cerca di determinare se una macchina possa essere distinta da un essere umano ponendo delle domande ad entrambi. Nel caso in cui ciò non avvenga, quella macchina ha superato il suddetto test, e viene considerata a tutti gli effetti un’intelligenza artificiale.

Nonostante questo test ormai venga considerato obsoleto, in quanto la maggior parte delle chatbot⁴ in circolazione riesca a superarlo in maniera agevole, rimane una colonna portante di questo settore.

Non si può parlare di AI senza parlare di un concetto fondamentale alla base dell’informatica, gli algoritmi.

Un algoritmo tradizionale può essere definito come una serie di istruzioni che vengono fornite ad un computer per far sì che esso fornisca determinate risposte, di conseguenza farà sempre la stessa cosa quando avrà a disposizione lo stesso input.

Al contrario un algoritmo di intelligenza artificiale riesce ad apprendere dai propri errori e dalle proprie esperienze, fornendo risposte diverse agli stessi input. (IBM

Cos’è l’Intelligenza Artificiale (AI)?)

Sono tre i parametri fondamentali che rappresentano il comportamento umano e che sono i maggiori ostacoli per la creazione di sistemi e programmi di AI e sono:

la conoscenza non sterile, ossia quella non dovuta a nozioni, libri e altre fonti di informazione; la capacità di prendere decisioni non solo utilizzando la logica e l’abilità di risolvere problemi in maniera differente a seconda dei contesti di riferimento.

Per riuscire a sviluppare macchine in grado di migliorare le proprie capacità di comportamento, la ricerca si è concentrata non solo sullo sviluppo di algoritmi sempre più innovativi, ma soprattutto su algoritmi sempre più numerosi che fossero in grado di compiere scelte diverse a seconda del contesto in cui si trovano.

Come già detto precedentemente, ogni tipo di decisione messa in essere da sistemi di intelligenza artificiale è presa grazie alla creazione di algoritmi che permettono di definire una **conoscenza di base** (data dall’insieme di dati di cui l’AI dispone) e una **conoscenza allargata** (creata tramite l’esperienza).

⁴ Software che simula ed elabora le conversazioni umane

Per realizzare queste tipologie di algoritmi è nato un vero e proprio settore specifico definito **rappresentazione della conoscenza**, che cerca di rendere la conoscenza dell'uomo, intesa come la capacità di comprendere informazioni nuove sulla base di quelle già presenti nel dataset iniziale, comprensibile alle macchine attraverso due principali modalità che si basano sulla **Teoria dei Linguaggi Formali** e sulla **Teoria delle decisioni**.

Quando si utilizza la modalità fondata sulla teoria dei linguaggi formali, esistono diversi approcci (denotazionale, generativo, trasformazionale, riconoscitivo e algebrico) che si rifanno alla teoria delle stringhe e ai loro utilizzi. Le stringhe sono infatti dei linguaggi formali con proprietà diverse a seconda dell'approccio utilizzato. Si sceglie quindi su quale metodologia puntare a seconda delle diverse risposte che si vogliono ottenere dal sistema in relazione ai contesti differenti.

La teoria delle decisioni invece si basa su un albero di decisione, che consente di valutare le possibili conseguenze per ogni azione, fino ad arrivare a prendere la decisione più conveniente per ogni situazione. Dunque, a seconda della finalità del programma, il sistema riuscirà a scegliere la soluzione che meglio la ottimizzerà, inoltre a seconda del piano di azioni definito dagli algoritmi dell'AI, si potrebbero ottenere risultati differenti in situazioni simili.

Si evince da ciò quanto sia fondamentale e centrale il ruolo dei dati per lo sviluppo delle intelligenze artificiali. Non è infatti un caso che l'ascesa di quest'ultime sia direttamente collegata allo straordinario aumento della mole di dati disponibili. Lo strumento attraverso il quale è possibile estrapolare il contenuto di valore dall'insieme sempre maggiore di dati è definito Machine Learning.

Se l'intelligenza artificiale rappresenta il sistema generale, il machine learning è un suo sottoinsieme. Il deep learning, che a sua volta comprende le reti neurali, è un sottocampo del machine learning. (Intelligenza Artificiale.it, Cos'è l'Intelligenza Artificiale, 2018)

3.2 Tipologie di intelligenza artificiale

L'intelligenza artificiale è il termine più ampio che comprende al suo intorno ML e Deep learning, ed è usato per indicare macchine che imitano l'intelligenza umana e le funzioni cognitive umane. Esistono tre categorie principali di AI, e sono:

- **L'intelligenza artificiale stretta** (Artificial narrow intelligence, ANI)

- **L'intelligenza artificiale generale** (Artificial general intelligence, AGI)
- **La super-intelligenza artificiale** (Artificial super intelligence, ASI)

La prima di queste tre tipologie, l'ANI, viene definita un AI debole in quanto in grado di completare un compito specifico, come vincere una partita ad un videogioco o individuare un particolare animale in una serie di foto. Un esempio di ANI sono i chatbots utilizzati da molte aziende, così come gli assistenti virtuali quali Siri e Alexa. Vengono definite intelligenze artificiali forti invece, l'AGI e l'ASI, in quanto incorporano i comportamenti umani in maniera più prevalente.

In particolare, viene definita AI generale una macchina dotata di un'intelligenza pari a quella umana, con la capacità di imparare a risolvere i problemi, imparare e pianificare il futuro. La super AI invece supererebbe l'intelligenza e le capacità del cervello umano. Sebbene le AI forti siano ancora solamente un concetto teorico, non bisogna escludere la possibilità che in un futuro non troppo lontano la ricerca e lo sviluppo ci condurranno alla loro realizzazione.

3.3 Il machine learning

Prima di andare a parlare del machine learning è necessario fare una precisazione sulle tipologie di dati che l'AI utilizza, in quanto il loro ruolo è tanto cruciale nella configurazione quanto nell'apprendimento e nel funzionamento. Innanzitutto, per dati si intende: *qualsiasi rappresentazione digitale di atti, fatti o informazioni e qualsiasi raccolta di tali atti, fatti o informazioni, anche sotto forma di registrazione sonora, visiva o audiovisiva.*⁵ Dunque dati di alta qualità forniscono algoritmi altrettanto qualitativi, e possono essere distinti in due categorie:

- **I big data**, grandi volumi di dati strutturati, semi-strutturati e non strutturati che per essere identificati, archiviati e analizzati richiedono delle capacità computazionali e degli algoritmi all'avanguardia.

Essi sono caratterizzati dalle cinque V:

- **Volume**, fa riferimento all'elevata mole di informazioni che le tradizionali tecnologie non sono in grado di raccogliere

⁵ Articolo 2, n.1 della proposta di Data Governance Act

- **Variety**, fa riferimento alla varietà delle tipologie di dati e di fonti da cui quest'ultimi provengono
- **Velocity**, in riferimento alla velocità di generazione dei dati
- **Value**, in riferimento alla capacità di estrarre, attraverso la Big Data Analytics, informazioni di valore
- **Veracity**, in relazione alla precisione, all'affidabilità e all'integrità delle fonti e dei dati.
- **Alternative data**, dati all'avanguardia, non strutturati ed eterogenei, che avendo dimensioni ridotte rispetto ai precedenti, non richiedono necessariamente l'utilizzo di nuove tecnologie di analisi.

Come già spiegato precedentemente grazie al machine learning (ML) è possibile estrarre da queste tipologie di dati, delle informazioni di valore, e tramite il suddetto apprendimento automatico, una macchina diventa in grado di imparare dai propri errori e di svolgere determinate azioni anche se non era stata programmata per farlo.

I metodi di ML sono riconducibili a tre principali categorie: l'apprendimento supervisionato, non supervisionato e l'apprendimento con rinforzo.

3.3.1 L'apprendimento supervisionato

L'algoritmo viene addestrato per imparare la relazione che collega un insieme di osservazioni di input ad una variabile obiettivo di output, per far sì che esso diventi in grado di replicare il medesimo output per nuovi insiemi di input.

Tale approccio si basa sui metodi di regressione lineare, nei quali si cerca di legare una variabile Y ad una variabile X secondo un modello lineare di questo tipo:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (3.1)$$

Nel machine learning la Y è chiamata target mentre la X feature, e possono rappresentare valori numerici, categorici e qualitativi.

Nell'apprendimento supervisionato si utilizzano i seguenti metodi:

i **classificatori lineari**, che si basano su una funzione lineare come quella mostrato pocanzi. In questo caso, se la funzione assume un valore superiore ad una determinata soglia, l'oggetto farà parte di una categoria (nella figura 4 rosso). Al contrario, esso farà parte di un'altra categoria (nella figura 4 verde). Come illustrato nella figura 4 si possono verificare degli errori nella classificazione.

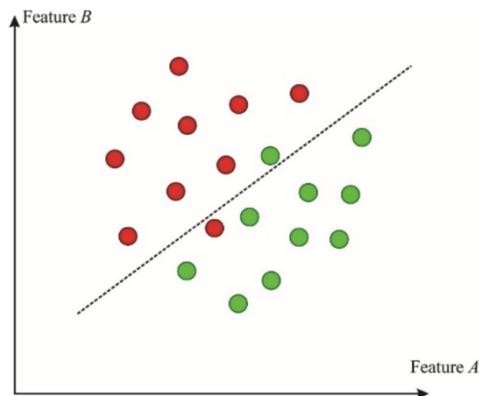


Figura 4: Classificatore lineare

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, *L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management*)

Nei casi in cui tale modello risulti inadatto, perché si necessita di una classificazione che prenda in considerazione la probabilità con cui un oggetto rientri in una determinata classe, vengono utilizzati i modelli di **regressione logistica**. In tali modelli la variabile target è portata ad assumere valori compresi fra zero ed uno.

Gli **alberi di classificazione** o **regressione** sono invece utilizzati quando non risulta possibile separare le categorie in maniera lineare. Tale metodo si fonda sulla classificazione sequenziale in riferimento a valori di soglia per diverse features.

Si parla invece di **random forest**, quando si utilizza un metodo di classificazione e regressione costituito da molti alberi di classificazione. L'ipotesi è che molti alberi di regressione, generati da un campionamento distinto dell'insieme di addestramento e ciascuno con una prospettiva leggermente diversa, facciano previsioni più accurate rispetto ad un singolo albero di regressione.

Ad esempio nella figura 5 viene mostrato un albero di regressione dove: se la feature A è maggiore di un determinato valore soglia, farà parte della classe 1, se inferiore a tale valore soglia invece, si verifica che la feature B sia inferiore rispetto ad un'ulteriore misura soglia ed in caso di risposta affermativa l'oggetto farà parte della classe 1, in caso contrario della classe 2

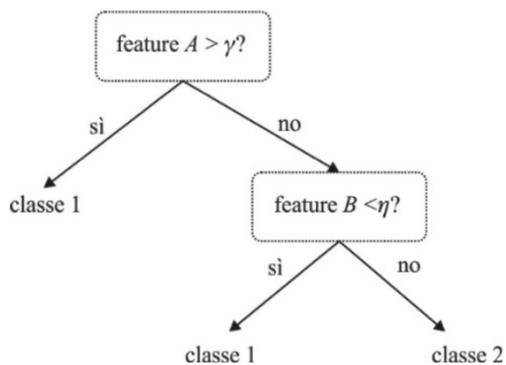


Figura 5: Albero di classificazione o regressione

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, *L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management*)

Le **support vector machines (SVM)** si basano sulle applicazioni di modelli di ottimizzazione e sono classificatori mirati a cancellare i problemi legati alla non separabilità lineare e all'instabilità delle regole di classificazione dovuta all'inserimento di nuovi esempi. Grazie alle SVM si è quindi in grado di ricavare delle features differenti, nel caso dell'esempio riportato nella figura 6, la distanza dal centro.

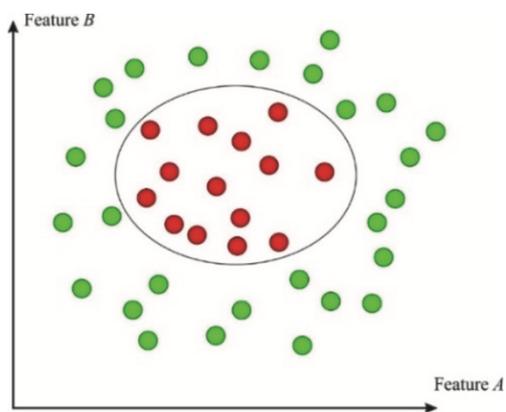


Figura 6: Support vector machine

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, *L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management*)

3.3.2 L'apprendimento non supervisionato

In questa modalità di machine learning l'algoritmo imparerà esclusivamente dai propri errori; infatti, esso non avrà a disposizione un insieme di valori target, ma esclusivamente degli input.

La finalità è quella di riunire gli esempi in classi internamente omogenee sulla base dell'ottimizzazione di una regola predeterminata, ma senza utilizzare le etichette tipiche dell'apprendimento supervisionato.

I metodi più utilizzati in questo tipo di apprendimento sono i cosiddetti **metodi di clustering**, dove non si dispone di valori target, ma solo di oggetti caratterizzati da features, spesso complesse, che devono essere raggruppati in clusters, in maniera tale che la distanza tra suddetti oggetti all'interno dello stesso cluster sia la più piccola possibile.

Un esempio di raggruppamento tramite clustering è presente nella figura 7.

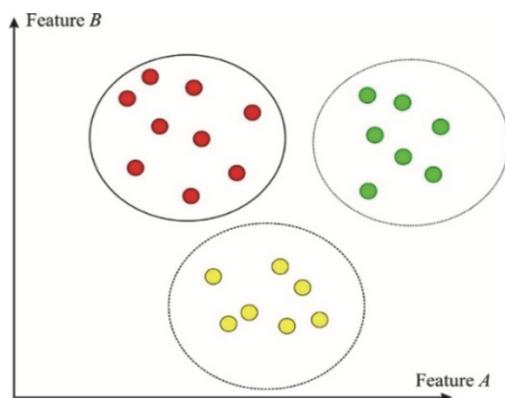


Figura 7: Metodi di clustering

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management)

3.3.3 L'apprendimento con rinforzo

Le machine istruite con il seguente metodo si trovano a dover operare con un ecosistema nel quale le caratteristiche sono mutevoli. è quindi un sistema adatto per problemi

dinamici su istanti di tempo successivi in cui bisogna massimizzare la remunerazione totale dettata dalla strategia di scelta.

In questo caso la macchina riceve dei segnali di rinforzo dall'ambiente circostante che non indicano esplicitamente la scelta giusta. Essa dovrà quindi imparare a prendere delle decisioni da sola per raggiungere determinati risultati.

In questo tipo di strategia, il sistema è caratterizzato da uno stato che può essere in parte influenzato dalle nostre azioni, e in parte no.

Quando al tempo t , viene effettuata l'azione A_t nello stato S_t , si ottiene un reward nell'istante di tempo successivo R_{t+1} . Successivamente lo stato del sistema verrà aggiornato a S_{t+1} e tale ciclo si ripeterà (Figura 8).

Il fine ultimo è quello di comprendere una strategia che associ ad ogni stato una decisione che massimizzi la somma attualizzata dei rewards futuri. A differenza dell'apprendimento supervisionato dove si hanno a disposizione le informazioni riguardanti le azioni che andranno compiute in corrispondenza di determinati stati, qui si hanno delle informazioni riguardanti esclusivamente l'impatto delle nostre scelte.

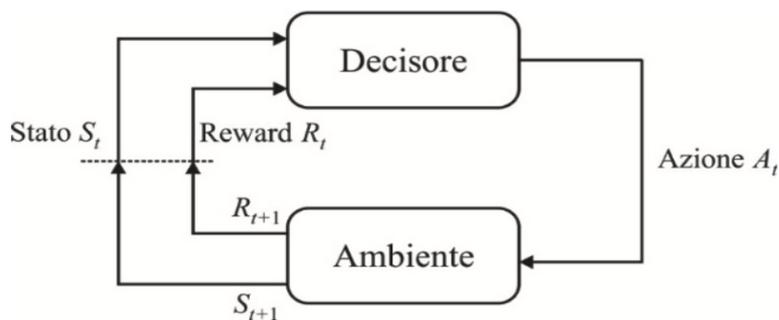


Figura 8: Apprendimento con rinforzo

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management)

3.4 Il Deep learning

Così come il machine learning è un sottoinsieme dell'intelligenza artificiale, il Deep learning o apprendimento profondo, è un sottoinsieme dell'apprendimento automatico.

Tale tipologia di apprendimento è un sistema fondato su architetture di reti neurali profonde (ANN) che cercano di emulare il funzionamento del sistema nervoso umano.

Anche senza istruzioni esplicite, l'apprendimento delle caratteristiche dei dati avviene in modo autonomo e richiede grandi quantità di dati per l'addestramento.

Le reti neurali sono costituite da diversi strati o layer di nodi, e per essere definite profonde, gli strati devono essere più di tre. Nella figura 9 sono rappresentati 4 strati: un input layer, due hidden layer e un output layer. Ogni nodo è un neurone artificiale che si collega a quello successivo, ed ognuno ha un valore di peso e di soglia. Quando l'output di un neurone supera il valore di soglia, esso viene attivato e invierà i suoi dati al layer successivo. Se al contrario l'output è inferiore alla soglia, nessun dato verrà inviato.

L'output di ogni neurone, ponderato per gli opportuni pesi, diventa l'input di altri neuroni fino ad alimentare l'output layer. Durante l'addestramento vengono progressivamente aggiornati i pesi delle connessioni tra i neuroni dall'algoritmo di apprendimento. In questo modo la rete neurale è in grado di imparare dalle informazioni di input e di migliorare le sue capacità di elaborazione.

La maggior parte delle reti neurali profonde sono feed-forward, cioè le informazioni viaggiano in una sola direzione, dall'input layer all'output layer. Tuttavia, è possibile addestrare le reti neurali alla back-propagation, permettendo alle informazioni di viaggiare anche dallo strato di uscita a quello di entrata. Questo tipo di propagazione permette di calcolare l'errore associato a ciascun nodo e di adattare di conseguenza l'algoritmo in maniera appropriata.

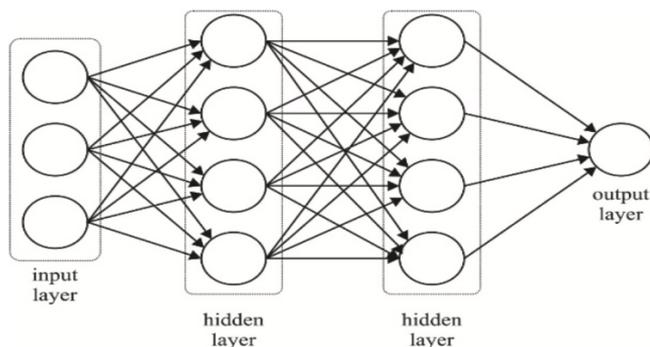


Figura 9: Rete neurale profonda

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Polil, G. Trovatore, CONSOB, 2022, *L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management*)

Machine learning e Deep learning sono spesso usati in maniera intercambiabile, quindi, vale la pena soffermarsi su quelle che sono le differenze tra queste due metodologie di apprendimento. La differenza principale è data dalla maniera in cui ogni algoritmo apprende e dalla quantità di dati che ogni tipologia di algoritmo utilizza.

Il deep learning automatizza gran parte del processo di estrazione delle caratteristiche, riducendo di molto l'intervento umano richiesto, e consentendo l'uso di dataset maggiori. Il machine learning dipende maggiormente dall'intervento degli umani che determinano la gerarchia delle caratteristiche per comprendere le differenze tra gli input di dati.

Una seconda distinzione è data dalla complessità dell'algoritmo, infatti le reti neurali profonde utilizzate nel deep learning essendo costituite da molti layer e nodi, sono più complesse rispetto agli algoritmi di machine learning. Inoltre, con l'aumento della complessità dell'algoritmo diminuisce la sua interpretabilità. I modelli neurali sono spesso considerati delle scatole nere nelle quali risulta difficile capire come vengono davvero elaborate le informazioni.

3.4.1 Algoritmo evolutivo

Un algoritmo evolutivo è un algoritmo di ottimizzazione basato sulla teoria di Darwin dell'evoluzione per selezione naturale (Eiben e smith 2015).

Questa tipologia di algoritmo inizia con una popolazione iniziale composta da soluzioni candidate generate casualmente, ad ogni interazione vengono create nuove soluzioni candidate selezionando una coppia di soluzioni con una migliore performance tra la popolazione. Vengono riunite le informazioni presenti in queste due soluzioni in una sola,

questa operazione viene definita **ricombinazione**, e vengono introdotte delle lievi perturbazioni casuali, questa operazione è definita **mutazione**. In questo modo le nuove soluzioni più performanti sostituiscono quelle vecchie ed attraverso un processo iterativo di variazione delle soluzioni ben performanti e di mantenimento selettivo di quelle migliori, si andranno via via a trovare soluzioni sempre più ottimali.

Il vantaggio degli algoritmi evolutivi è che essi non richiedono una formula matematica del problema e non fanno ipotesi quali la convessità o la linearità della funzione obiettivo, di conseguenza possono essere utilizzati per risolvere problemi complessi che altri algoritmi di ottimizzazione non riescono a svolgere. (Söhnke M. Bartram, Jürgen Branke, And Mehrshad Motahari, CFA institute research, Artificial intelligence in asset management, 2020, august)

3.4.2 Il metodo LASSO

Il metodo lasso, dall'inglese least absolute shrinkage and selection operator, è un modello di regressione che punta a migliorare i modelli lineari o non lineari standard, azzerando alcuni parametri del modello e identificando in maniera autonoma le informazioni più importanti dei dati. Tale metodo riesce ad ovviare ai problemi legati all'aumento della complessità dei modelli di regressione, che portano ad un aumento della quantità di regressori e ad un conseguente aumento della variabilità delle previsioni.

(Söhnke M. Bartram, Jürgen Branke, And Mehrshad Motahari, CFA institute research, Artificial intelligence in asset management, 2020, august)

3.5 Applicazioni dell'AI nel settore finanziario

Dopo aver definito le diverse tipologie di intelligenza artificiale e come queste lavorano, vorrei soffermarmi sul descrivere i diversi campi in cui esse sono già ampiamente utilizzate, prima di parlare della loro adozione nel mondo della finanza e in particolare nell'ambito della gestione del portafoglio.

Le principali applicazioni dell'AI sono:

- **L'elaborazione del linguaggio naturale (NLP)**, per comprendere, elaborare e produrre il linguaggio umano sia sotto forma di testo che parlato. Nell'utilizzo dell'NLP vengono spesso utilizzate SVM e architetture di reti neurali.
L'NLP comprende varie applicazioni come la traduzione automatica, il riconoscimento vocale, la generazione automatica di testi, l'analisi del sentiment delle notizie finanziarie che vengono incorporate in modelli che prevedono il movimento dei dati finanziari e lo sviluppo di assistenti vocali intelligenti.
- **Computer vision**, con l'utilizzo di tale tecnologia AI, computer e sistemi informatici sono in grado di estrapolare informazioni rilevanti da input visivi quali immagini e video e basandosi su tali input sono in grado di prendere delle decisioni. Questa tecnologia trova molteplici applicazioni come l'imaging radiologico nel settore sanitario o nelle auto a guida autonoma nel settore automotive.
- **Sistemi di raccomandazione**, mediante l'uso dei dati riguardanti il comportamento del consumatore, l'AI riesce a suggerire servizi o contenuti specifici per ogni cliente. Troviamo questo tipo di tecnologia nelle piattaforme streaming, in e-commerce, social media e altri ancora.
- **Robotica**, l'intelligenza artificiale viene utilizzata per rendere sempre più autonomi i robot. Questo include robot industrializzati usati nelle fabbriche, droni, robot chirurgici o per l'assistenza domestica.
- **Automazione dei processi aziendali**, si utilizzano le AI per automatizzare compiti ripetitivi e procedimenti aziendali, come la gestione dei documenti o il servizio clienti utilizzando per esempio gli assistenti virtuali.

Andiamo invece ad analizzare più nel dettaglio quali sono le applicazioni di questa nuova tecnologia nel settore della finanza. L'AI sta sempre più velocemente rivoluzionando il settore della finanza consentendo alle società operanti nell'ambito dei servizi finanziari di aumentare l'efficienza, la precisione e la velocità di attività come l'analisi dei dati, che vengono effettuate quasi in tempo reale, le previsioni, la gestione del rischio (comprese iniziative riguardanti la sicurezza, la frode, l'antiriciclaggio e la conformità), la gestione degli investimenti, ed il servizio clienti, prevedendo il loro comportamento e imparando le loro preferenze di acquisto.

Le aree principali in cui l'AI è applicata nel settore finanziario sono le seguenti:

- **Trading algoritmico o AI trading:** L'intelligenza artificiale viene impiegata per sviluppare algoritmi di trading capaci di esaminare i trend di mercato e i dati storici, per poi prendere delle decisioni e compiere operazioni più velocemente rispetto ad un essere umano.
- **Credit scoring:** data le enormi capacità computazionali delle AI riguardo l'analisi di qualsiasi tipologia di dati, vengono utilizzate reti neurali di AI per valutare l'affidabilità creditizia dei clienti e per facilitare e rendere più precise le decisioni in merito.
- **Servizio clienti:** I chatbot e gli assistenti personali basati sulle AI, sono in grado di essere disponibili per i clienti ventiquattro ore al giorno per tutti i giorni, riducendo la necessità di un intervento umano e i relativi costi, fornendo risposte precise e accurate in pochi secondi e offrendo una maggiore protezione rispetto a possibili frodi e riguardo la sicurezza informatica.
- **Rilevamento delle frodi:** Il deep learning viene utilizzato per anticipare ed evitare reati finanziari, riuscendo a identificare dei pattern insoliti nelle transazioni finanziarie.

Gli algoritmi vengono addestrati sui dati storici delle transazioni per rilevare il comportamento finanziario dei vari clienti, non appena vengono rilevati dei modelli insoliti viene inviato un segnale di allarme.

- **Analisi del sentiment:** Analizzando varie fonti di notizie, social media e altre informazioni, gli algoritmi di intelligenza artificiale sono in grado di valutare il sentiment di mercato. Questo può essere utile per prevedere le tendenze di quest'ultimo, per contenere eventuali rischi e per prevedere la performance di determinati asset sulla base del sentiment di mercato o degli investitori.
- **Gestione del portafoglio:** Grazie all'analisi di mercato e dei vari indicatori economici, l'AI è in grado di aiutare gli investitori, migliorando il processo decisionale e l'ottimizzazione del portafoglio, grazie alle previsioni sui prezzi degli strumenti finanziari e sulle performance del mercato. Tramite algoritmi AI si riesce a fornire ai vari clienti una pianificazione finanziaria coerente con i loro obiettivi, la loro propensione al rischio e con le condizioni di mercato.

Anche se analizzeremo in seguito, più nel dettaglio, gli aspetti etici e regolamentari relativi a questa disciplina, credo sia importante sottolineare come sia necessario un monitoraggio adeguato per far sì che l'utilizzo avvenga in maniera corretta, responsabile, etica, trasparente e sostenibile, visto anche il crescente utilizzo delle intelligenze artificiali in un numero sempre maggiore di settori e la quantità smisurata di dati e informazioni che questa tecnologia utilizza.

(IBM, L'intelligenza artificiale nel settore finanziario)

4 L'AI nella gestione del portafoglio

La gestione di un portafoglio finanziario richiede un attento monitoraggio riguardo la corretta ripartizione degli investimenti nei diversi strumenti finanziari e sempre di più negli ultimi anni le AI stanno diventando centrali in questo processo.

Esse sono infatti in grado di analizzare una mole enorme di dati storici, di notizie e di indicatori economici riuscendo ad estrapolare trend e informazioni che potrebbero sfuggire ad un'analisi umana. Il fine ultimo dell'implementazione di tecnologie di intelligenza artificiale è quello di fornire ai gestori di portafoglio informazioni razionali ed oggettive per far sì che essi prendano le decisioni di investimento migliori, cioè in grado di massimizzare i rendimenti e diminuire i rischi.

L'AI è infatti in grado, di aiutare gli investitori a prendere le decisioni migliori nell'ambito dell'asset allocation per costruire un portafoglio con specifiche caratteristiche di rischio e rendimento. Esse contribuiscono a questo processo sia agevolando l'analisi fondamentale, attraverso l'analisi quantitativa o testuale dei dati e creando nuove strategie di investimento, sia riuscendo ad arginare le mancanze delle tecniche tradizionali di gestione del portafoglio, riuscendo: ad ottenere previsioni più accurate del rendimento e del rischio degli strumenti finanziari; a risolvere problemi di ottimizzazione del portafoglio con vincoli complessi e ottenendo portafogli con performance out-of-sample preferibili rispetto a quelli gestiti con metodi tradizionali.

Dopo la crisi finanziaria del 2008 e con l'aumentare della complessità degli asset e dei mercati, la gestione del rischio di portafoglio è diventata ulteriormente un punto cruciale per i gestori patrimoniali. Proprio per questo motivo l'utilizzo delle intelligenze artificiali,

che sono in grado di imparare ed evolversi, può essere uno strumento utile per sostituire o integrare i modelli tradizionali di gestione del rischio.

Il vantaggio principale delle tecniche di gestione del portafoglio basate sull'AI rispetto a quelle classiche, è dato dal fatto che sono in grado di estrarre informazioni in maniera più rapida da fonti di dati strutturati e non strutturati, fornendo previsioni più attendibili riguardo rischio di fallimento o di credito, volatilità del mercato, tendenze macroeconomiche e crisi finanziarie.

Chiaramente l'utilizzo di tali modelli comporta anche dei rischi e delle considerazioni etiche rilevanti, che saranno analizzate nel dettaglio più avanti.

4.1 Le principali tecniche di AI utilizzate nella gestione del portafoglio

Le tecnologie di intelligenza artificiale maggiormente usate nell'ambito della gestione del portafoglio sono riferibili al Machine Learning ed includono: le reti neurali artificiali, gli alberi decisionali e le random forest, la support vector machine, il metodo LASSO, la cluster analysis, gli algoritmi evolutivi ed il natural Language processing.

Queste tecnologie, che sono già state descritte nei capitoli precedenti, svolgono funzioni ben precise in particolare:

- **Le reti neurali artificiali (ANN)**, sono modelli di regressione non lineari, formate da una rete di nodi connessi che ricorda i neuroni del cervello umano. Sono in grado di comprendere le relazioni tra un trading set formato da una serie di input ed output desiderati e possono essere utilizzati per prevedere l'output di input non noti in precedenza. Tipicamente vengono utilizzati per svolgere delle previsioni.
- **Gli alberi decisionali** vengono costruiti automaticamente sulla base di coppie di input e output desiderati e sono in grado di classificare gli input rispetto a determinate caratteristiche e i loro output possono essere interpretati dall'uomo.
- **Le random forest**, svolgono la media dei risultati dei diversi alberi decisionali per riuscire a generare previsioni più affidabili. Le loro applicazioni riguardano le classificazioni e le previsioni.

- **La SVM** è utilizzata per la classificazione o per la regressione, è in grado di gestire relazioni non lineari e può essere addestrata più rapidamente rispetto alle ANN. Viene utilizzata tipicamente per fare delle previsioni.
- **Il metodo LASSO**, è un modello di regressione lineare con l'aggiunta di un termine di penalizzazione che garantisce la selezione del sottoinsieme più ridotto possibile di variabili esplicative, è in grado di eliminare le stime dei coefficienti irrilevanti, migliorando significativamente le prestazioni out-of-sample. Anch'esso viene principalmente utilizzato per svolgere delle previsioni.
- **La cluster analysis** raggruppa i dati in cluster in modo che le unità all'interno di esso condividano caratteristiche simili. La numerosità dei cluster può essere determinata dall'utente o automaticamente dall'algoritmo. Questa tipologia di analisi è utilizzata per la classificazione dei beni.
- **Gli algoritmi evolutivi** sono una tecnica di ottimizzazione capace di individuare le soluzioni migliori all'interno di grandi e complessi insiemi di soluzioni non lineari. Questi algoritmi vengono utilizzati come alternative quando le tecniche di ottimizzazione del portafoglio tradizionali non sono in grado di svolgere la loro funzione.
- **Il natural language processing** comprende un insieme di tecniche utilizzate per elaborare dati in linguaggio naturale, come ad esempio testi o audio, utilizzato principalmente per estrarre informazioni rilevanti da social media, siti web, articoli e relazioni annuali aziendali.

Le differenti tecnologie AI si differenziano l'una dall'altra per i set di dati con le quali performano al meglio, per le tipologie di previsioni che sono in grado di attuare, per la potenza di calcolo necessaria per l'addestramento, il test e l'implementazione, per gli strumenti che utilizzano per elaborare i dati e per la semplicità con cui possono essere scalati.

Per quanto riguarda le tipologie di dati, essi possono essere a bassa dimensionalità, in questo caso dipendono da poche caratteristiche, oppure ad alta dimensionalità cioè dati che dipendono da un numero elevato di caratteristiche. La prima tipologia di dati consente di utilizzare tecniche di regressione o classificazione più semplici, come il metodo LASSO, mentre per i dati ad alta dimensionalità vengono utilizzati algoritmi più sofisticati e con una capacità computazionale maggiore, come le ANN, per riuscire a

proiettare questa tipologia di dati, in altri dati con dimensioni minori, che possono essere analizzati e strutturati in maniera più efficace.

Un'ulteriore distinzione riguarda se i dati sono etichettati o meno. Nel primo caso vengono utilizzate tecniche di ML di apprendimento supervisionato per identificare schemi all'interno di quest'ultimi. Nel secondo caso invece si usano algoritmi di ML di apprendimento non supervisionato come la cluster analysis.

Alcuni algoritmi sono più versatili di altri, ad esempio le reti neurali artificiali possono essere utilizzate sia per l'apprendimento supervisionato che per l'apprendimento non supervisionato, per la classificazione, la regressione e per l'analisi di immagini, testi o serie storiche. L'interpretabilità riguardo le decisioni di apprendimento e previsione di quest'ultime risulta difficile anche per gli esperti del settore, al contrario di altri algoritmi di facile comprensione quali gli alberi di regressione o i modelli di regressione evolutiva. In conclusione, a seconda della logica aziendale della gestione del portafoglio, verrà determinato il dataset di riferimento e il tipo di previsioni che si vogliono ottenere. Sarà da queste ultime informazioni che si deciderà poi che tipologia di algoritmo AI implementare.

4.2 L'analisi fondamentale con l'utilizzo dell'AI

Per analisi fondamentale si intende: l'identificazione e la previsione di variabili economiche e finanziarie che influenzano l'andamento delle quotazioni delle azioni.

L'analisi fondamentale richiede un'analisi macroeconomica, basata sull'analisi di indicatori il cui andamento può influenzare il prezzo dei titoli, e microeconomica, basata sull'analisi relativa alla solidità patrimoniale e alla redditività attesa delle società emittenti, in relazione al prezzo dei rispettivi titoli all'interno di prospettive di crescita del settore di riferimento. (www.borsaitaliana.it) Questa tipologia di analisi che permette di identificare titoli sottovalutati o sopravvalutati, è fondamentale per quanto riguarda la gestione del portafoglio e sempre di più gli algoritmi AI stanno diventando importanti nel facilitarla e renderla più accurata, specie per quanto riguarda l'analisi testuale.

Algoritmi AI sono infatti in grado di stimare in maniera più accurata i rendimenti attesi, la varianza e la covarianza, fornendo così degli input che possono essere utilizzati per

ottimizzare il portafoglio durante la riallocazione degli asset, per raggiungere gli obiettivi prefissati dai gestori di portafoglio.

Il NLP è utilizzato per estrarre informazioni economicamente rilevanti da rapporti annuali delle aziende, articoli di giornale e post sui social media. A differenza delle tradizionali tecniche di analisi testuale che sono in grado di estrarre informazioni solo riguardo le singole parole in un testo, il NLP può interpretare il contesto e la struttura delle frasi.

La regressione LASSO è in grado di selezionare automaticamente i fattori con il più alto potere esplicativo per i rendimenti futuri da un ampio set di segnali predittivi, inoltre può essere utilizzata anche per identificare relazioni di lead-lag tra gruppi di asset o mercati. Ad esempio, si può indagare quali rendimenti di industrie o mercati domestici sono i predittori più significativi dei rendimenti di altri mercati o industrie (Rapach, Strauss e Zhou 2013; Rapach, Strauss, Tu e Zhou 2019).

Inoltre, i modelli di IA possono essere utilizzati per identificare azioni che si prevede sovraperformeranno o sottoperformeranno, utilizzando una varietà di variabili economiche o aziendali. I risultati di queste analisi possono poi essere integrati nel processo di ottimizzazione del portafoglio, assegnando più peso agli asset con alpha elevato e meno peso a quelli con alpha basso.

Tra le tecniche AI disponibili per la previsione dei rendimenti, le reti neurali artificiali sono risultate essere le migliori rispetto alla regressione lineare ordinaria, alle regressioni LASSO, alle foreste casuali e agli alberi di regressione potenziati (Gu et al. 2020).

Il successo delle reti neurali in questo campo è ampiamente attribuito alla loro capacità di catturare relazioni non lineari complesse, inoltre, si distinguono perché sono altamente versatili e offrono una vasta gamma di forme funzionali e strutture che gli permettono di apprendere dai dati in modo più efficace rispetto ad altre tecniche. Studi recenti hanno anche introdotto metodi per interpretare statisticamente le reti neurali utilizzando intervalli di confidenza e classificando l'importanza delle variabili di input e degli effetti di interazione (Dixon e Polson 2019).

Nonostante le ANN siano considerate una delle tecniche di AI migliore per prevedere i rendimenti azionari (Vui, Sim, Soon, On, Alfred, and Anthony 2013; Abe and Nakayama 2018) i fondamentali societari (Alberg and Lipton 2017) e i rendimenti di altre asset class quali le obbligazioni (Bianchi, Büchner and Tamoni 2019), recenti studi hanno dimostrato che la SVM, se tarata in maniera appropriata, risulti essere più precisa nella previsione

dei primi due punti elencati (Huang, Nakamori, and Wang 2005; Chen, Shih, and Wu 2006; Arrieta-ibarra and Lobato 2015).

Le previsioni più accurate però, vengono prodotte quando si utilizza una previsione media ottenuta dalla media delle previsioni ottenute dalle varie tecniche di intelligenza artificiale. (Rasekhschaffe, Christian e Jones 2019; Borghi e De Rossi, di prossima pubblicazione)

4.3 Ottimizzazione del portafoglio con l'utilizzo dell'AI

Il gestore di portafoglio deve scegliere come allocare le risorse disponibili tra un ampio insieme di attività, in modo tale che il portafoglio soddisfi determinati obiettivi tenendo conto determinati vincoli. Il portafoglio viene definito ottimo se a parità di rischio è possibile ottenere rendimenti maggiori o a parità di rendimento si può ottenere un rischio minore ed il fondamento teorico di questa teoria è dato dalla teoria media-varianza di Markowitz. Nella pratica sono due le sfide che i gestori devono affrontare e che le intelligenze artificiali riescono a superare. La prima problematica è data dal fatto che le ponderazioni ottimali degli asset sono molto sensibili alle stime dei rendimenti attesi, che sono per definizione incerte, di conseguenza si possono ottenere dei pesi instabili che ottengono delle prestazioni insufficienti al di fuori del campione. Gli errori nelle previsioni dei rendimenti attesi possono portare ad erodere i benefici apportati dalla diversificazione.

Il secondo problema che si incontra a livello empirico, sta nel fatto che la stima della matrice varianza-covarianza alla base della teoria di Markowitz, richiede un'ampia serie temporale di dati e che le correlazioni fra i rendimenti degli asset siano stabili, inoltre la matrice diventa tanto più instabile quanto più aumenta la correlazione fra i vari strumenti finanziari e questo accade nei momenti in cui la diversificazione diventa sia più importante che più difficile da ottenere (de Prado 2016).

Con l'utilizzo delle intelligenze artificiali questi due problemi legati all'ottimizzazione del portafoglio possono essere superati in quanto esse sono in grado sia di produrre stime di rischio e di rendimento più accurate rispetto ad altri metodi, sia di essere integrate con le tecniche tradizionali di ottimizzazione del portafoglio. Inoltre, gli algoritmi AI possono fornire degli approcci alternativi di gestione del portafoglio capaci di produrre pesi di

portafoglio più precisi e portafogli efficienti con delle performance out-of-sample superiori rispetto a quelli generati dalle tecniche tradizionali.

In particolare, le reti neurali artificiali possono essere addestrate a: prendere decisioni di asset allocation soggette a vincoli complessi, risolvere problemi di ottimizzazione multi obiettivo o a incorporare le opinioni sulle performance future degli asset nell'ottimizzazione del portafoglio utilizzato il modello Black e Litterman e generando indici di sharpe out-of-sample migliori rispetto a quelli del portafoglio di mercato (Zimmermann, Neuneier e Grothmann 2002).

Un'altra importante capacità delle ANN è quella di riuscire a comprendere le relazioni non lineari tra i vari asset senza nessuna conoscenza di base riguardo alla struttura preliminare dei dati. Questa competenza risulta utile nella replica sintetica, che consiste nel replicare un portafoglio di benchmark, ad esempio un indice, detenendo una frazione dei costituenti e minimizzando l'errore di tracking abbinando alcuni dei fattori di rischio del benchmark.

A titolo esemplificativo si pensi che le reti neurali artificiali possono approssimare l'indice FTSE 100, con solo sette titoli, riducendo drasticamente i costi di transazione del ribilanciamento del portafoglio e i costi di gestione e monitoraggio dello stesso. (Lowe 1994). Questo tipo di AI grazie alle promettenti performance fuori campione e ad una buona flessibilità può essere utilizzato per generare portafogli con vari obiettivi specifici, secondo lo studio di Heaton, Polson e Witte del 2017, le ANN sono in grado di trovare la strategia migliore per costruire un portafoglio che overperformi uno specifico indice dell'1% annuo. (Heaton, Polson e Witte, 2017).

Un'altra tecnica di IA ampiamente utilizzata sono gli algoritmi evolutivi, che sono noti per la loro capacità di affrontare problemi di asset allocation più complessi. Questi algoritmi possono risolvere problemi di ottimizzazione che prevedono vincoli di cardinalità, quali un numero limite di asset da detenere nel portafoglio e soglie massime o minime di detenzione (Branke, Scheckenbach, Stein, Deb e Schmeck 2009). Inoltre, gli algoritmi evolutivi possono integrare obiettivi supplementari, come il rischio del modello, ovvero il rischio di ottenere stime inaccurate dei rendimenti e delle volatilità degli asset a causa di specifiche errate del modello, nel problema di ottimizzazione per ridurre l'errore di previsione (Skolpadungket, Dahal e Harnpornchai 2016). Utilizzando questo approccio, i portafogli efficienti hanno dimostrato di avere rapporti di Sharpe superiori di

circa il 10% rispetto a quelli che considerano solo il rendimento e la volatilità come parametri principali. (Söhnke m. Bartram, Jürgen Branke, and Mehrshad Motahari CFA institute research, Artificial intelligence in asset management, 2020, august)

4.4 La gestione del rischio di portafoglio

L'utilizzo delle AI nella gestione del portafoglio trova applicazione anche nella gestione di due tipologie di rischio sopracitate: il rischio di mercato e il rischio di credito.

L'analisi del **rischio di mercato** comprende l'elaborazione, la valutazione e la previsione di tutti quei fattori di rischio che influenzano il portafoglio di investimenti.

L'AI svolge queste funzioni in tre modalità:

- Includendo dati qualitativi provenienti da fonti di dati testuali o di immagini quali articoli di notizie, report annuali, contratti finanziari, verbali e dichiarazioni della banca centrale e social media, nella modellazione del rischio. (Groth e Muntermann 2011). Le informazioni ricavate da queste fonti sono difficilmente estrapolate da variabili quantitative. È stato infatti dimostrato che gli algoritmi di intelligenza artificiale che utilizzano fonti testuali sono in grado di generare previsioni migliori di crolli del mercato (Manela e Moreira 2017) e sull'andamento dei tassi di interesse (Hong e Han 2002) rispetto a quelle che utilizzano informazioni acquisite da altre fonti di dati. Questi approcci, inoltre, attraverso l'analisi delle informative aziendali, sono in grado di estrapolare informazioni riguardo i profili di rischio sistemico di quest'ultime.
- Testando e convalidando i modelli di rischio (Financial Stability Board 2017). Gli approcci AI non supervisionati rilevano anomalie nell'output di un modello di rischio analizzando le previsioni generate da quest'ultimo e rilevando automaticamente eventuali irregolarità. Per svolgere questa funzione possono essere utilizzati anche approcci AI supervisionati che genereranno delle previsioni di riferimento, che saranno usate come benchmark per verificare se le previsioni del modello di rischio si discostino o meno da quelle dell'AI. Nel caso in cui ciò avvenga verrebbe avviata un'indagine più approfondita su tale modello di rischio.
- Fornendo previsioni di variabili finanziarie ed economiche che possono influenzare gli asset contenuti nel portafoglio di investimenti. Le evidenze empiriche suggeriscono che le reti neurali artificiali siano ampiamente utilizzate

in questo contesto; infatti, le loro previsioni si sono rivelate particolarmente accurate nell'ambito dei tassi di interesse (Kim e Noh 1997; Oh e Han 2000) e dei tassi di cambio (Kaashoek e van Dijk 2002; Majhi, Panda e Sahoo 2009), anche se risultano meno precise quando riguardano orizzonti temporali a lungo termine. Le ANN, grazie alla loro capacità di catturare non linearità e interazioni tra covariate, comprese le caratteristiche aziendali e le variabili macroeconomiche, possono essere utilizzate per analizzare fattori di rischio sistemici. (Bryzgalova et al. 2019, Chen, Pelger, and Zhu 2020; Gu, Kelly, and Xiu 2019; Feng, Polson, and Xu 2020). Hanno inoltre la capacità di spiegare meglio rispetto ai fattori lineari convenzionali il risk premium e la distinzione tra rischio diversificabile e non diversificabile.

Sono molto utilizzate anche le regressioni LASSO per determinare le strutture dei fattori che determinano il rischio sistemico, selezionando i fattori di rischio più rilevanti da un insieme di variabili o indici di mercato. (Giamouridis e Peterlini 2010).

Le ANN e le SVM sono anche utilizzate per prevedere la volatilità del mercato e le crisi finanziarie, vengono infatti adottate dalla maggior parte delle istituzioni finanziarie per monitorare il rischio sistemico. Sono in grado di prevedere crisi valutarie (Lin, Khan, Chang e Wang, 2008; Sevim, Oztekin, Bali, Gumus e Guresen, 2014), bancarie (Celik e Karatepe, 2007; Ristolainen, 2018) e recessioni in generale (Yu, Wang, Lai e Wen, 2010; Ahn, Oh, T.Y. Kim e D.H. Kim, 2011; Gogas, Papadimitriou, Matthaiou e Chrysanthidou, 2015) con una notevole accuratezza, anche se, essendo eventi rari, la scarsità di tali eventi nel campione esaminato potrebbe mettere in discussione la loro effettiva capacità di accuratezza previsionale.

Per quanto riguarda la gestione del **rischio di credito**, l'obiettivo è quello di garantire che l'inadempimento di una controparte ai propri obblighi non abbia effetti negativi sul portafoglio oltre determinati limiti. Il compito dei gestori patrimoniali è quello di monitorare il rischio di credito dell'intero portafoglio, delle singole posizioni e transazioni, questo comporta la modellazione del rischio di solvibilità associato alle istituzioni finanziarie che emettono gli strumenti finanziari contenuti nel portafoglio.

Questo è stato uno dei primi ambiti della finanza ad introdurre l'applicazione delle AI e le due tecniche più utilizzate sono le ANN e le SVM. Le prime, che iniziarono già ad essere utilizzate per le tecniche di modellazione della bancarotta negli anni novanta (Tam 1991), devono la loro popolarità alla maggiore capacità di prevedere la bancarotta e di determinare i rating creditizi rispetto alle tecniche tradizionali. (Zhang, Hu, Patuwo e Indro 1999; Tsai e Wu 2008). Le seconde, si sostiene siano più accurate rispetto alle ANN nella previsione delle bancarotte, perché in grado di sfuggire a problemi ricorrenti delle reti neurali artificiali quali l'overfitting. (Huang, H. Chen, Hsu, W.-H. Chen e Wu 2004) Entrambe le tecniche sono utilizzate per stimare le perdite in caso di default.

Vengono utilizzate oltre alle due sopracitate, anche altre tecniche di AI e poiché ognuno dei diversi algoritmi presenta svantaggi e vantaggi, dovrebbe essere presa in considerazione l'idea di utilizzare vari approcci separatamente per poi confrontare le previsioni risultanti ed ottenere stime più accurate. (Verikas, Kalsyte, Bacauskiene e Gelzinis 2010)

4.5 Robo-advisor

I robo-advisor sono programmi informatici che forniscono consulenze personalizzate per assistere gli investitori individuali nelle loro attività di investimento. La principale funzione svolta da questi programmi riguarda lo sviluppo di algoritmi, noti come sistemi di raccomandazione, che creano portafogli ottimali adattati ai profili di rischio degli investitori (ad esempio, Xue, Q. Liu, Li, X. Liu, Ye, Wang e Yin 2018). I robo-advisor possono integrare diverse applicazioni di AI oltre che nella gestione del portafoglio anche nel trading e nella gestione del rischio. Grazie al successo dell'IA in questi ambiti, i robo-advisor possono non solo creare portafogli con migliori performance out-of-sample, ma anche riequilibrare automaticamente i portafogli, gestendo i rischi e minimizzando i costi di transazione. Investire tramite un robo-advisor è più conveniente rispetto ai consulenti umani e può essere effettuato tramite interfacce semplificate, rendendolo più vantaggioso e accessibile per gli investitori.

Gli investitori istituzionali più sofisticati possono trarre vantaggio dalla capacità dei robo-advisor di elaborare grandi quantità di dati finanziari in modo efficiente, mentre gli investitori meno esperti traggono particolari benefici dal robo-advisor in termini di

miglioramento delle performance del portafoglio, aumento della diversificazione e riduzione della volatilità.

I robo-advisor integrano servizi di esecuzione delle operazioni, spesso incoraggiando un trading più frequente. Questo può essere sia un vantaggio, poiché incoraggia a riequilibrare le posizioni più spesso, sia uno svantaggio, poiché può portare a un eccesso di trading che favorisce i sistemi di robo-advising attraverso le commissioni, a discapito degli investitori. Per utilizzare e beneficiare dei robo-advisor, gli investitori devono avere un minimo di conoscenze tecnologiche e finanziarie.

Non tutti i robo-advisor utilizzano tecniche sofisticate. Un'analisi di 219 robo-advisor internazionali rivela che l'approccio più comune è la teoria del portafoglio di Markowitz, anche se alcuni sistemi non rivelano le loro tecniche (Beketov, Lehmann e Wittke 2018). I robo-advisor più avanzati utilizzano algoritmi proprietari e non divulgano i dettagli del loro metodo di analisi e raccomandazione dei portafogli. Tuttavia, studi del settore mostrano che i robo-advisor di maggior successo si basano fortemente sull'AI per condurre analisi di investimento e trading (Sabharwal 2018). Infatti, il loro successo in generale deriva in gran parte dalla raccolta e analisi dei dati, con l'AI che svolge un ruolo cruciale in questo processo (Dhar e Stein 2017).

4.6 L'utilizzo delle AI nella gestione del portafoglio: focus sull'Italia

In questo paragrafo si vuole analizzare i risultati di una survey realizzata dalla CONSOB in collaborazione con Assogestioni, che ha visto coinvolte le principali società di gestione del risparmio operanti nel mercato italiano. (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio) L'indagine ha raccolto informazioni riguardanti il grado di utilizzo dei sistemi AI nell'asset management durante tutte le fasi della catena del valore, nonché le opinioni dei gestori riguardo benefici attesi e rischi potenziali di queste tecnologie.

Le società coinvolte nell'indagine sono otto e rappresentano il 60% del patrimonio gestito fino a marzo 2022, in riferimento alle gestioni collettive e di portafoglio su base individuale in Italia. Sette società sono autorizzate alla commercializzazione OICR, sei

alla gestione su base individuale e alla consulenza, due al servizio di ricezione e trasmissione di ordini.

Le aree di indagine più rilevanti riguardano:

- Gli obiettivi strategici legati allo sviluppo e all'utilizzo di sistemi di AI
- L'uso di sistemi AI e le tecnologie prevalenti
- I benefici attesi e i rischi percepiti

4.6.1 Gli obiettivi strategici legati allo sviluppo e all'utilizzo di sistemi AI

Per tutte le società partecipanti alla survey lo sviluppo delle AI è una priorità strategica o lo diventerà a breve. Per sette società l'implementazione di questa tecnologia è una parte integrante di una più ampia strategia di innovazione tecnologica, mentre solo per una società è stata definita una strategia specifica dedicata alle AI.

Come si evince dalla figura 10 gli obiettivi strategici più rilevanti per la quale si è deciso di implementare e utilizzare sistemi di AI risultano essere: sviluppare strategie di management innovative e mantenere la propria posizione competitiva. Subito sotto per cinque società risulta rilevante l'obiettivo di incrementare l'efficienza operativa, e per metà delle società quello di rafforzare l'azione di compliance e migliorare le performance del processo di investimento. Gli obiettivi che risultano invece meno rilevanti, selezionati rispettivamente da tre, due e una società sono: migliorare la gestione del rischio aumentare la redditività stare al passo con gli sviluppi tecnologici.



Figura 10: Gli obiettivi strategici legati allo sviluppo e all'implementazione e all'utilizzo di sistemi AI (risposta multipla)

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio)

4.6.2 L'uso dei sistemi di AI e le tecnologie prevalenti

Riguardo allo stato di applicazione dei sistemi di intelligenza artificiale per area di applicazione, sette società su otto dichiarano di utilizzare sistemi di AI da almeno un anno, in dettaglio, cinque società li utilizzano da uno a tre anni, una da tre a cinque anni e un'altra da oltre cinque anni.

Cinque delle otto società intervistate affermano di applicare pienamente i sistemi di AI in almeno un ambito. Tra queste, due società hanno implementato completamente le tecniche di AI in cinque diversi ambiti. Cinque società riferiscono inoltre di essere in fase di sperimentazione, test o finalizzazione dei progetti in almeno un ambito, mentre le restanti sono ancora in fase di studio e valutazione delle possibili applicazioni.

Riguardo gli ambiti di utilizzo dei sistemi di AI, il processo di investimento e le attività volte all'incremento dell'efficienza operativa sono i più comuni, con la piena applicazione in tre società. Altre aree rilevanti includono la gestione e l'analisi dei dati, la gestione delle infrastrutture e la compliance, dove due società hanno raggiunto la piena applicazione. Il processo di investimento è anche l'area con il maggior numero di sperimentazioni in corso e ricerche per possibili applicazioni future, seguito dalle attività di marketing, vendita e interazione con la clientela e dalle attività mirate all'incremento dell'efficienza operativa.

(Figura 11)

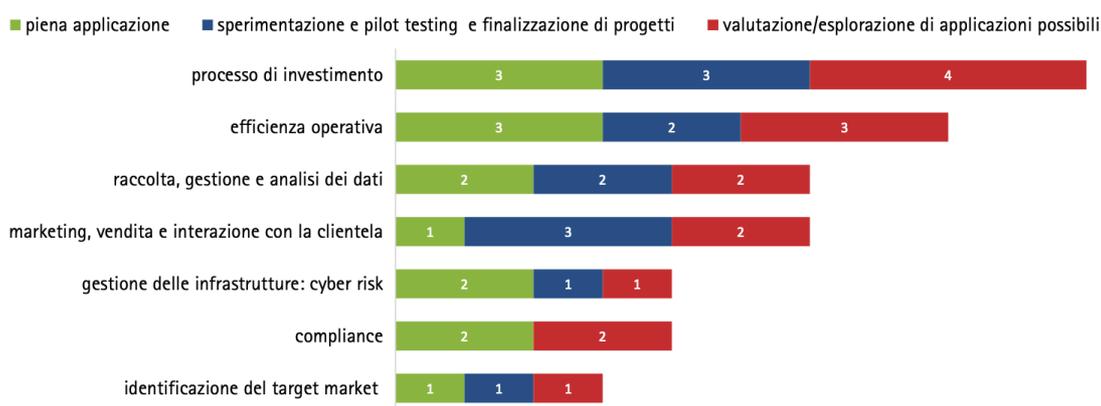


Figura 11: Stato di utilizzo dei sistemi AI nelle diverse aree (risposta multipla)

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio)

Per quanto concerne le tecnologie utilizzate, dove l'applicazione delle AI è piena, esse vengono utilizzate sia nella fase di allocazione strategica e ottimizzazione con una visione di lungo periodo, sia nella fase di allocazione tattica e di ribilanciamento di portafoglio connessi a dinamiche di breve periodo. Le tecnologie AI maggiormente usate dalle società partecipanti alla survey risultano essere il Machine learning e le Advanced Analytics Techniques che trovano applicazione in quasi tutte le fasi del processo di investimento (il ML viene escluso solo dalla fase di gestione del rischio); seguite dalle tecnologie di Robotic automation e NLP. La tecnologia meno utilizzata risulta essere la sentiment analysis. (Figura 12)

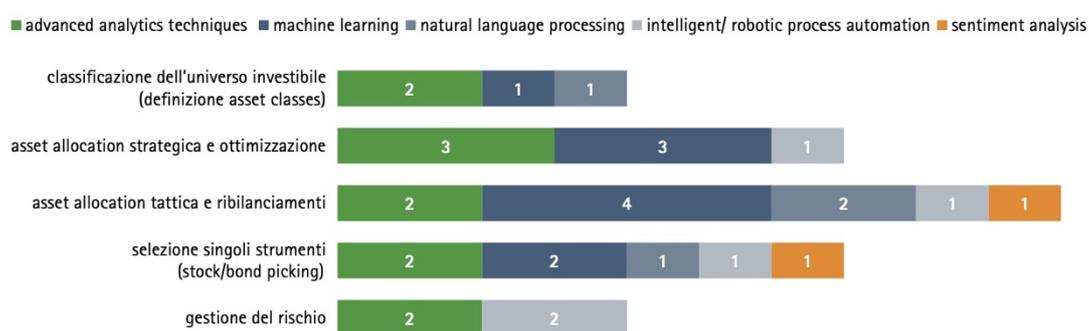


Figura 12: Sistemi AI utilizzati nelle diverse fasi del processo di investimento (risposta multipla)

Fonte : (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio)

4.6.3 Benefici attesi e rischi percepiti

Per quanto riguarda i benefici attesi, sette società li identificano nel mantenimento o aumento della propria posizione competitiva, e nel miglioramento delle performance del processo di investimento. Sei società su otto menzionano l'aumento dell'efficienza operativa e lo sviluppo di strategie di gestione del portafoglio innovative. Gli altri benefici attesi riguardano il rafforzamento dell'azione compliance (cinque società su otto), il miglioramento dei processi di gestione del rischio (4 società su otto) e l'aumento della redditività (due società su otto). (Figura 13)

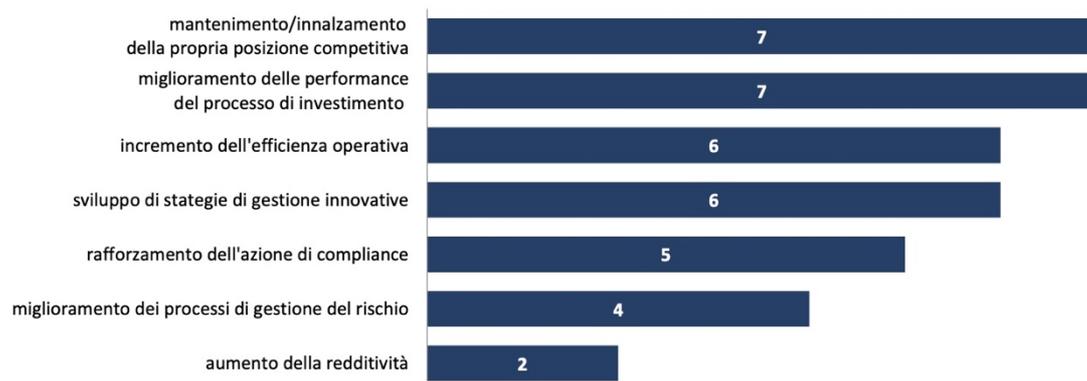


Figura 13: Benefici attesi dall'implementazione delle AI (risposta multipla)

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio)

Tutte le società coinvolte nella analisi indicano che il maggior rischio percepito derivi dalla scarsa comprensibilità dei risultati generati dalle AI: Quattro società menzionano l'inadeguatezza di controlli e convalide mentre tre Sgr segnalano anche il problema relativo alla distorsione nei dati e negli algoritmi. Risultano essere meno rilevanti i rischi associati alla difficoltà di identificazione dei responsabili delle decisioni generate da algoritmi AI, solo una società su otto ne fa menzione, e quelli associati alle scarse prestazioni che hanno ricadute sui processi decisionali e sulla reputazione aziendale menzionati da due società. (Figura 14)

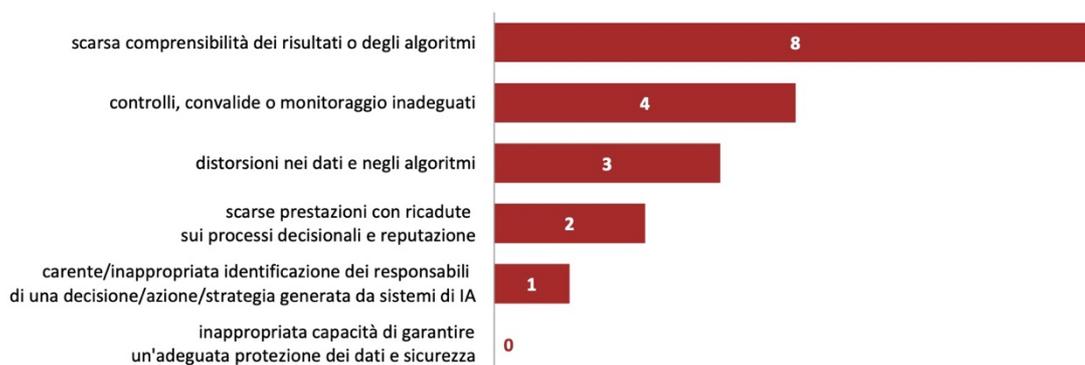


Figura 14. Rischi percepiti dall'implementazione delle AI (risposta multipla)

Fonte: (N. Linciano, V. Caivano, D. Costa, P. Soccorso, T.N. Poli, G. Trovatore, CONSOB, L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio)

Nel prossimo capitolo si andranno ad analizzare in maniera più dettagliata i rischi associati all'implementazione di queste tecnologie, così come le considerazioni etiche che il loro utilizzo comporta.

5 rischi, regolamentazione e considerazioni etiche

L'applicazione dell'intelligenza artificiale comporta sia benefici che rischi e le principali criticità sono legate a: qualità dei dati, distorsioni e discriminazioni, interpretabilità e robustezza degli algoritmi e sicurezza informatica e concorrenza. Risulta essere rilevante per la tutela degli investitori pur non influenzando direttamente i risultati della gestione del portafoglio, le problematiche relative alla privacy.

5.1 Qualità dei dati, distorsioni e discriminazioni

I dati sono alla base di qualsiasi sistema di intelligenza artificiale, rendendo fondamentale la loro qualità per il corretto funzionamento di quest'ultime.

La qualità dei dati viene valutata sulla base di cinque dimensioni: la disponibilità, cioè la facilità di accesso ai dati; L'utilizzabilità, l'affidabilità, la rilevanza, con riferimento agli obiettivi aziendali o al fenomeno d'interesse; e la qualità della presentazione, ovvero come i dati vengono mostrati all'utente.

L'affidabilità della fonte è cruciale per la qualità dei dati e può essere compromessa da dati non rappresentativi della popolazione analizzata o affetti da distorsioni e discriminazioni sistematiche, che possono escludere specifici gruppi o individui, portando all'esclusione finanziaria. Questo tipo di bias è alla base della discriminazione involontaria, che si differenzia dalla discriminazione volontaria, dove l'algoritmo è progettato per selezionare secondo categorie di dati sensibili, creando un database segmentato in modo distorto.

Nei modelli di apprendimento supervisionato, le fasi di data cleaning ed etichettatura dei dati sono cruciali per l'addestramento. L'industria sta iniziando a sperimentare l'uso di set di dati sintetici creati da sistemi di intelligenza artificiale per mitigare alcune distorsioni causate dall'intervento umano o dai bias presenti nei dati storici reali utilizzati per l'addestramento.

5.2 Interpretabilità e robustezza degli algoritmi

Una delle criticità maggiore degli algoritmi AI deriva dal fatto che spesso risulta difficile spiegarne il risultato in funzione degli input sottostanti, questo problema viene definito come assenza di interpretabilità. Le ANN sono le AI che producono i risultati meno interpretabili, mentre i metodi di machine learning risultano essere più semplici da comprendere. Gli effetti negativi derivanti dall'assenza di interpretabilità possono essere di natura monetaria, possono portare ad adottare inconsapevolmente pratiche scorrette e possono generare effetti distorsivi a livello sistemico.

Sarebbe quindi opportuno introdurre obblighi di interpretabilità degli algoritmi che, specie nel settore bancario, risulterebbero in linea con gli obblighi di trasparenza imposti dal legislatore. Inoltre, considerando il controllo che tutt'ora vi è rispetto ai modelli statici usati in finanza, non adottare lo stesso controllo sulle tecnologie AI risulterebbe essere una disparità di trattamento che potrebbe influire negativamente sull'innovazione nell'ambito della gestione del portafoglio.

Oltre alle problematiche legate all'interpretabilità degli algoritmi si rilevano criticità nelle prestazioni delle AI anche quando si verificano eventi straordinari e shock idiosincratici che causano delle discontinuità nei data e nelle relazioni tra variabili economiche e finanziarie, rendendo necessaria una nuova calibrazione, dato che la maggioranza delle AI sono addestrate sulla base di dataset riferiti a condizioni normali di mercato.

Uno studio condotto dalla Bank of England ha infatti dimostrato come, durante l'emergenza pandemica, il 35% delle banche del regno unito abbia ottenuto prestazioni peggiori dai propri modelli di ML. (Bholat, D., Gharbawi, M. e Thew, O. ,2020)

Una delle soluzioni a questa tipologia di problemi potrebbe essere quella di utilizzare per l'addestramento set sintetici costruiti ad hoc per determinate situazioni oppure utilizzando modelli di reinforcement learning, che sono in grado di evolversi e di imparare dai propri errori.

Un ulteriore limite di questi modelli si riscontra quando sopraggiungono nuove condizioni, come ad esempio delle modifiche nelle preferenze dei consumatori, che per essere assimilate richiedono una continua attività di verifica e di validazione oppure i meccanismi di ML possono presentare problemi di over-fitting, cioè risultano troppo legati al set di dati iniziali tanto da comprometterne il loro utilizzo per altri campioni di

dati. Le regressioni spurie, che si verificano quando i risultati sono condizionati dalla presenza di trend nei dataset usati per la regressione, il modello potrebbe estrapolare relazioni casuali tra fattori che in realtà non esistono e queste false affermazioni possono essere corrette solo da un attivo controllo umano. Il controllo umano risulta quindi essere rilevante per il corretto funzionamento delle AI, tanto che uno studio condotto nel 2021 ha dimostrato come le decisioni prese da sistemi di trading basati su AI e sul sentiment dei social media durante la crisi finanziaria del 2008 avrebbero esasperato l'andamento avverso del mercato. (Guidolin et al, 2021)

Risulta fondamentale quindi che lo sviluppo di sistemi AI sia affidato ad un continuo controllo umano che riesca a limitare l'impatto negativo delle criticità ad esse associate.

5.3 Sicurezza informatica e concorrenza

Altro punto fondamentale quando si parla di sicurezza informatica è sicuramente quello riferito alla elevata concentrazione dei fornitori di dati e di modelli AI. I providers di queste tecnologie sono pochi nel mercato, il che si traduce con una creazione di una posizione dominante che può generare effetti distorsivi per l'economia in generale, avere ripercussioni negative sulla stabilità economica e finanziaria e limitare l'accesso a tali tecnologie solo alle società maggiori, escludendo dalla competizione imprese di minori dimensioni. Il fatto che il numero di providers sia limitato concerne che i dati e i modelli utilizzati dalle imprese che adottano sistemi di AI nella loro attività di gestione del portafoglio siano pressoché simili, di conseguenza diventa più facile per i malintenzionati sferrare attacchi informatici su soggetti che agiscono allo stesso modo. L'utilizzo di algoritmi che imitano il comportamento di altri soggetti aumenta il rischio che se uno di questi fosse reso vittima di un attacco cibernetico, come la manipolazione dei dati o di software e infrastrutture, a catena lo sarebbero tutti i modelli che imitano i suoi comportamenti.

E' importante fare una considerazione sull'impatto che l'uso delle AI potrebbero avere nell'ambito della gestione patrimoniale. I sistemi di AI utilizzano dataset con contenuti eterogenei, da cui effettuano una selezione specifica delle informazioni da utilizzare nei processi di investimento e applicano metodologie e algoritmi in grado di apprendere ed imparare autonomamente, di conseguenza condizioni di partenza simili possono portare i diversi gestori a compiere scelte di investimento diverse. I diversi segnali di

investimento e disinvestimento influenzerebbero a livello globale il meccanismo di formazione dei prezzi e potrebbero avere impatti sul mercato di riferimento quali la riduzione della volatilità e l'aumento della difficoltà di interpretazione dei movimenti di mercato. Questo accadrebbe nel caso in cui i dataset iniziali e gli algoritmi fossero creati internamente alla società in questione e non forniti da providers esterni. Nella realtà, infatti, la concentrazione dei provider e la limitata varietà di tecniche AI da essi fornite, potrebbe rendere l'azione dei diversi attori del mercato standardizzata e uniforme. In un contesto come questo risulta fondamentale per le imprese non solo la capacità di elaborare tempestivamente le informazioni in maniera tale di anticipare l'azione dei concorrenti, ma anche la capacità di ottenere un vantaggio informativo, inteso come una modalità operativa basata sulla solidità e affidabilità dei sistemi adottati.

5.4 Privacy

Emergono problemi di tutela della privacy per quanto riguarda la raccolta e l'uso di quest'ultimi nell'ambito di tecnologie che utilizzano i big data.

Tali criticità sono legate alla molteplicità di soggetti che acquisiscono i dati prodotti da un individuo, oppure allo svolgimento delle attività dei data broker che uniscono e organizzano dati proveniente da diverse fonti per poi venderli a soggetti terzi, favorendo un mercato poco trasparente specie per gli utenti finali, inconsapevoli dell'utilizzo dei propri dati personali acquisiti tramite siti internet e piattaforme online. (AGCM, AGCOM e Garante per la protezione dei dati personali, 2019)

La mitigazione del rischio di violazione della privacy può beneficiare di specifiche regole di gestione dei dati oppure dall'utilizzo di set di dati sintetici per l'addestramento dei modelli di machine learning.

5.5 Regolamentazione dell'unione europea

Il 21 maggio 2024 il Consiglio UE ha approvato in via definitiva la legge sull'intelligenza artificiale (AI Act), che punta ad uniformare le norme relative all'utilizzo dell'intelligenza artificiale in Europa.

I punti cardine di questo regolamento sono la tutela dei diritti fondamentali, della democrazia, dello stato di diritto e della sostenibilità ambientale dai sistemi AI ad alto rischio, promuovendo contemporaneamente l'innovazione.

Saranno vietate le applicazioni delle AI che mettono a rischio i diritti dei cittadini, come i sistemi di categorizzazione biometrica e l'estrapolazione indiscriminata di immagini facciali per creare banche dati di riconoscimento facciale, con delle deroghe per le forze dell'ordine, che potranno fare ricorso a questo tipo di tecnologia in precise circostanze previste dalla legge. Saranno vietati inoltre sistemi di riconoscimento delle emozioni, pratiche di polizia predittiva e sistemi che possono influenzare il comportamento umano o che sfruttano i punti di debolezza di quest'ultimi.

Sono previsti altrettanti obblighi per gli altri sistemi di AI ad alto rischio che potrebbero cioè procurare danni alla salute, alla sicurezza, ai diritti fondamentali, all'ambiente, alla democrazia e allo stato di diritto. Per quest'ultimi vigeranno sistemi di sistemi di valutazione volti alla riduzione dei rischi, l'obbligo di mantenere registri d'uso, di trasparenza, di accuratezza e di sorveglianza umana.

Tutti i modelli AI dovranno rispettare standard di trasparenza e le normative UE in ambito di diritto d'autore durante tutte le fasi di addestramento. I modelli con capacità computazionale superiore, che potrebbero comportare rischi sistematici dovranno rispettare obblighi aggiuntivi, come quello di effettuare valutazione dei modelli e la valutazione e riduzione dei rischi sistematici. (Il Parlamento europeo approva la legge sull'intelligenza artificiale, Parlamento europeo, 2024, March 13).

6 Conclusioni

In sintesi, questa tesi esamina l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella gestione del portafoglio, evidenziando sia i miglioramenti apportati al processo di investimento sia le sfide ancora presenti. L'analisi mostra che l'intelligenza artificiale fornisce strumenti avanzati per l'analisi predittiva, la gestione del rischio e l'ottimizzazione del portafoglio, contribuendo a migliorare l'accuratezza e l'efficienza delle decisioni di investimento. Le tecniche di machine Learning, deep learning e altri metodi avanzati consentono di elaborare grandi quantità di dati, identificare modelli complessi e prevedere le tendenze del mercato con una precisione senza precedenti. Tuttavia, l'utilizzo dell'intelligenza

artificiale nella gestione del portafoglio non è privo di sfide. La complessità e l'opacità di alcuni algoritmi di intelligenza artificiale possono introdurre pregiudizi e mancanza di trasparenza nel processo decisionale. Inoltre, la gestione di un portafoglio finanziario richiede una profonda comprensione delle dinamiche di mercato, delle condizioni macroeconomiche e del comportamento degli investitori elementi che per essere analizzati richiedono la supervisione esperta di un umano.

È chiaro quindi che, pur essendo un potente alleato nella gestione del portafoglio, l'intelligenza artificiale non può operare in modo completamente autonomo. La supervisione umana rimane indispensabile per garantire che le decisioni di investimento siano coerenti con gli obiettivi strategici e le aspettative degli investitori, nonché per intervenire in condizioni di shock di mercato o altamente volatili. Combinare le capacità analitiche e predittive dell'AI con l'esperienza e l'intuizione umana è l'approccio più promettente per migliorare le attività di gestione del portafoglio. Gli esseri umani possono fornire contesto, giudizio critico e flessibilità, tutti elementi che completano l'analisi quantitativa dettagliata fornita dall'AI. La sinergia tra tecnologia avanzata e competenza umana consente di sfruttare il meglio di entrambi i mondi per prendere decisioni di investimento più solide, adattabili e informate.

In futuro, è probabile che la collaborazione tra l'AI e la gestione umana continui ad evolversi, portando a innovazioni e approcci sempre più sofisticati. Gli sviluppi normativi e le migliori pratiche in materia di trasparenza e gestione del rischio saranno fondamentali per il successo dell'integrazione di queste tecnologie nel processo di investimento. In definitiva, integrare le capacità dell'intelligenza artificiale con quelle umane può non solo migliorare la gestione del portafoglio, ma anche contribuire a creare un ambiente finanziario più resiliente e reattivo per affrontare le sfide future.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BREALEY, R. A., MYERS, S. C., ALLEN, F., & SANDRI, S. 2020
Principi di finanza aziendale, VIII edizione

MARKOWITZ HARRY. 1952.
Portfolio Selection, The Journal of Finance (Vol. 7, Number 1, March 1952)

FAMA EUGENE F. AND FRENCH KENNETH R. 2004.
The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence, Journal of Economic Perspectives

HOLTON, GLYN A. 2012
Value-at-Risk: Theory and Practice, II edizione.

CAMPBELL JOHN Y., ANDREW W. LO, MACKINLAY A. CRAIG.
Econometrics of Financial Markets, Princeton University press

N. LINCIANO, V. CAIVANO, D. COSTA, P. SOCCORSO, T.N. POLI, G. TROVATORE,
CONSOB,
L'intelligenza artificiale nell'asset e nel wealth management, 2022, luglio

GUIDO GALLICO
Conoscere I mercati finanziari: rendimento, rischio e portafoglio finanziari, aeec italia

Intelligenza Artificiale.it
Cos'è l'Intelligenza Artificiale, 2018

IBM
Cos'è l'Intelligenza Artificiale (AI)?

Team, I. D. a. A., & Team, I. D. a. A. ,IBM Blog

AI vs. Machine Learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference?

2023, July 11

IBM

L'intelligenza artificiale nel settore finanziario

CONSOB

Rischi Dell'investimento, educazione finanziaria

PARLAMENTO EUROPEO

Il Parlamento europeo approva la legge sull'intelligenza artificiale, ,2024, March 13

SÖHNKE M. BARTRAM, JÜRGEN BRANKE, AND MEHRSHAD MOTAHARI

CFA INSTITUTE RESEARCH

Artificial intelligence in asset management, 2020, august