



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale
in Economia e Finanza
(ordinamento ex D.M. 270/2004)

Tesi di Laurea

**Gli aspetti ESG nella selezione di portafoglio:
un approccio basato sulla fuzzy credibility**

Relatore

Prof. Marco Corazza

Laureando

Marco Milan

Matricola: 851203

Anno Accademico

2018/2019

Ringrazio il prezioso sostegno delle persone a me care che mi sono state vicine e mi hanno accompagnato in questo percorso, consentendomi il raggiungimento di questo importante traguardo. In particolare, ringrazio il professore Marco Corazza per il suo supporto e la sua guida sapiente.

A voi, dedico tutto il mio lavoro.

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1 - L'investimento sostenibile	5
1.1 Socially Responsible Investment (SRI)	5
1.2 Evoluzione storica degli SRI	8
1.2.1 <i>Le radici nei movimenti religiosi</i>	8
1.2.2 <i>I precursori</i>	9
1.2.3 <i>Istituzionalizzazione del SRI</i>	10
1.3 ESG Investing	12
1.3.1 <i>Il CSR e la Triple Bottom Line</i>	14
1.3.2 <i>Il fattore Environmental</i>	16
1.3.3 <i>Il fattore Social</i>	17
1.3.4 <i>Il fattore Governance</i>	18
1.4 I key driver dell'ESG investing	19
1.5 Spinta normativa all'integrazione degli aspetti ESG	21
1.5.1 <i>Il contesto europeo</i>	22
1.5.2 <i>Il contesto dell'Asia del Pacifico</i>	24
1.5.3 <i>Il contesto statunitense</i>	26
Capitolo 2 - Numeri fuzzy e teoria della credibilità	29
2.1 Premessa	29
2.2 Possibility theory	32
2.2.1 <i>Limiti all'uso</i>	37
2.3 Credibility Theory.....	39
2.3.1 <i>Valore atteso</i>	44
2.3.2 <i>Misura di rischio</i>	46
Capitolo 3 - Il modello di selezione di portafoglio socialmente responsabile	49
3.1 Review della letteratura esistente.....	49
3.2 Funzioni obiettivo	52
3.2.1 <i>Rendimento atteso</i>	53
3.2.2 <i>Punteggio ESG</i>	56
3.2.3 <i>Misura di rischio</i>	58
3.3 Vincoli al problema di selezione	59

3.4	Il modello	61
3.5	Metodologia di risoluzione	63
3.5.1	<i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	66
3.6	Selezione dei parametri dello sciame di particelle.....	70
3.6.1	<i>Selezione dei parametri di accelerazione</i>	70
3.6.2	<i>Selezione della velocità massima</i>	71
3.6.3	<i>Modifica della PSO: Inertia Weight Approach (IWA)</i>	71
Capitolo 4 - Applicazione		75
4.1	Premessa	75
4.2	Dati utilizzati.....	75
4.3	Problem setting	79
4.3.1	<i>Settaggio del campione</i>	79
4.3.2	<i>Parametri specifici del problema</i>	80
4.3.3	<i>Settaggio dei parametri della PSO</i>	81
4.4	Analisi dei dati	83
4.4.1	<i>Prezzi e rendimenti</i>	83
4.4.2	<i>Punteggi ESG</i>	87
4.5	Risultati dell'analisi	93
4.5.1	<i>Modello SV</i>	96
4.5.2	<i>Modello MASD</i>	98
4.6.	Benchmarking.....	102
Conclusioni		105
Appendice A		113
Appendice B		117
Appendice C		129
Bibliografia		133
Sitografia		139

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni l'importanza della sostenibilità e della responsabilità sociale è cresciuta rapidamente. Molti eventi come le crisi finanziarie, la difesa dei diritti umani, la salute dei lavoratori, i disastri naturali ed altri accadimenti legati al cambiamento climatico, stanno catturando sempre più l'attenzione degli investitori che maturano maggiore consapevolezza dell'importanza di indirizzare i loro investimenti secondo valori etici, sociali ed ambientali. La sola massimizzazione dei profitti, senza tenere in adeguata considerazione questi fattori, ormai non soddisfa più le esigenze di coloro che si rivolgono ai mercati finanziari.

Prima di questi eventi, finanza ed etica erano due termini non correlati tra di loro, basti pensare che la finanza sostenibile fino a dieci anni fa era considerata un'utopia, come testimoniato dai prodotti finanziari rischiosissimi, senza precetti morali sulla sostenibilità degli investimenti, che causarono la crisi del 2008. Oggigiorno invece, la loro connessione sta diventando sempre più rilevante, in quanto vi è sempre più spesso bisogno di sostenibilità nella finanza proprio perché questa può incidere profondamente sull'economia e sulla società. In questo contesto, vengono utilizzati nuovi criteri per valutare e promuovere la sostenibilità degli investimenti, come l'integrazione dei fattori sociali, ambientali ed etici.

“Il passo più importante che la finanza deve compiere oggi è quello di togliere spazio agli investimenti non sostenibili puntando sui criteri ESG ambientali, sociali e di governance volti a costruire il futuro, non a preservare il passato”¹.

Come si evince da questa citazione di Jeffrey Sachs, la finanza sostenibile rappresenta al giorno d'oggi un mercato in via di sviluppo in grado di generare un valore economico, sociale, ambientale ed etico sul **lungo periodo**, attraverso soluzioni che oltre ad utilizzare le tradizionali logiche finanziarie, integrano i fattori ambientali, sociali e di governance (ESG) nel processo decisionale di investimento. Queste strategie, orientate alla sostenibilità, consentono di generare numerosi vantaggi e una sottovalutazione di questi aspetti può esporre le società a rischi di varia natura, in particolar modo a quello

¹ Jeffrey Sachs, Direttore del Centro per lo Sviluppo Sostenibile, Columbia University.

reputazionale: il mercato, infatti, è sempre più attento e sensibile alle tematiche ESG e premia le società che sono orientate in questa direzione. Per esempio, alcuni investitori sostenibili potrebbero anticipare scandali e conseguenti perdite finanziarie nel loro portafoglio prestando attenzione all'area di governance di una società e disinvestendo nel caso di opacità nella gestione aziendale.

Questo è il motivo per il quale banche, compagnie assicurative, consulenti finanziari ed imprese considerano la sostenibilità come un elemento prioritario, in quanto è sinonimo di società destinate a crescere in un futuro sempre più punitivo nei confronti di quelle non sostenibili. In futuro, gli asset manager che saranno in grado di analizzare correttamente le informazioni non finanziarie e di sviluppare un maggiore know-how nella gestione e nell'analisi dei fattori ESG saranno in grado di ottenere maggiori profitti e credibilità.

Lo scopo di questa tesi è quello di presentare un'applicazione del modello di selezione di portafoglio che integra sia i tradizionali criteri finanziari di rischio e rendimento, ma anche i moderni aspetti ESG, utilizzando un approccio alternativo alla classica teoria delle probabilità che prevede il ricorso a variabili fuzzy, utilizzando un framework credibilistico.

La struttura della tesi è articolata nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 1:** Nel primo capitolo si presenta il tema dell'investimento sostenibile, a partire dalle sue radici e la sua evoluzione storica. Dopo aver presentato la sua evoluzione nel tempo, si definisce il concetto attuale di investimento SRI che rappresenta una visione ristretta dell'universo generale dell'investimento sostenibile. Gli investimenti sostenibili e responsabili possono essere infatti declinati secondo varie strategie, ognuna contraddistinta da specifici obiettivi e dalla propria metodologia. La classe di investimento sostenibile analizzata è rappresentata dall'ESG investing. In conclusione del capitolo, si analizzano le determinanti principali dell'integrazione degli aspetti ESG, in modo particolare la spinta normativa globale.
- **Capitolo 2:** Nel secondo capitolo si illustrano i concetti alla base dell'approccio adottato nella tesi. Dopo aver introdotto i numeri fuzzy, si procede ad una

descrizione del framework costituito dalla Possibility theory di Zadeh. A partire dal limite insito a tale teoria, si illustra la Credibility theory di Liu & Liu e le misure credibilistiche del rendimento atteso e del rischio che saranno necessarie per costituire la funzione obiettivo del modello di selezione di portafoglio sostenibile, descritta nel capitolo successivo.

- **Capitolo 3:** Nel terzo capitolo si presenta il modello di selezione di portafoglio socialmente responsabile da un punto di vista teorico. In dettaglio, dopo una breve review degli studi esistenti in letteratura, si procede alla descrizione delle singole componenti costituenti la funzione obiettivo del modello. Infine, si illustra la metodologia utilizzata per la risoluzione del problema di selezione di portafoglio, rappresentata dall'ottimizzazione a sciame di particelle (PSO).
- **Capitolo 4:** Nel quarto e ultimo capitolo si dimostra l'applicabilità e la validità dell'approccio utilizzato nella tesi mediante un'applicazione pratica basata sui dati dell'indice Eurostoxx50, scaricati da Bloomberg.

Capitolo I

L'investimento sostenibile

1.1 Socially Responsible Investment (SRI)

Gli investimenti socialmente responsabili (SRI) possono essere ampiamente e generalmente identificati come decisioni di investimento basate su standard ambientali, sociali e di governance. Il Social Investment Forum (SIF)² definisce gli SRI come un processo di investimento che considera le conseguenze sociali e ambientali degli investimenti, sia positivi che negativi, nel contesto di rigorose analisi finanziarie.

Questa definizione tenta di essere onnicomprensiva, senza fare specifico riferimento “all’investimento etico” in quanto, nonostante alcuni SRI si basino su standard etici che sono originariamente derivati da credenze religiose e/o valori fondamentali, morali e personali, i criteri SRI sono più obiettivi e standardizzati rispetto agli standard etici che sono più difficili da definire. Pertanto, “Social Responsible Investments” tende ad essere un termine più popolare che a volte può essere utilizzato per abbracciare quello di “investimenti etici”.

Mentre alcuni autori, ad esempio Beal et al. (2005) e Valor e De la Cuesta (2007), usano i termini investimento socialmente responsabile, investimento etico e fondi etici in modo intercambiabile, altri preferiscono adoperare il termine “investimento etico” al posto di SRI in quanto ritengono che l’investimento etico descriva meglio il processo in cui le organizzazioni, basate su questi valori, applicano i principi etici interni ad una strategia di investimento³. Per i mercati europei invece, investimento etico o fondi etici è un termine generico per descrivere i fondi SRI (Kreander et al., 2005). Per esempio, in Spagna, “fondi etici” si riferiscono a tre tipi di fondi SRI: fondi etici, fondi verdi (green funds) e fondi di condivisione (sharing funds) (Valor e De la Cuesta, 2007). I fondi etici

² Il Forum per gli investimenti sostenibili e responsabili è un'associazione con sede negli Stati Uniti, situata a Washington DC, che promuove investimenti sostenibili, responsabili e di impatto in tutte le classi di attività. Precedentemente noto come Social Investment Forum, ora è denominato US SIF.

³ Vedi: Schaefer, 2004; Sparkes e Cowton, 2004.

utilizzano criteri positivi o negativi per scegliere determinate società nel portafoglio, i green funds, invece, sono fondi ambientali (verdi) che escludono in modo specifico le aziende che non rispettano l'ambiente o che includono società a favore dell'ambiente, basti pensare al ramo delle energie alternative. Infine, i sharing funds donano parte delle loro commissioni di gestione a varie organizzazioni sociali (ad esempio enti di beneficenza, ONG e comunità) e sono più strettamente correlati agli investimenti della comunità che allo screening⁴, poiché non vengono utilizzati criteri (positivi e negativi) per guidare il loro investimento.

Con l'evoluzione dei SRI, l'approccio SRI abbraccia un concetto più ampio. L'ultima tendenza in questo campo è quella di selezionare aziende (screening positivo) con elevanti standard ambientali e di gestione, ossia la ricerca di **imprese sostenibili**, invece di escludere (screening negativo) investimenti collegati a tematiche sensibili come alcol, tabacco, armi, lavoro minorile e altro ancora. La logica di base sottostante per questo approccio di investimento "sostenibile" è che le società socialmente e ambientalmente responsabili saranno più proficue nel **lungo periodo**. Desmadryl (2007)⁵ si riferisce a tal proposito agli investimenti SRI come "investimento sostenibile e responsabile", definito come una strategia di investimento che tiene conto della performance di una società nei tre pilastri di sviluppo sostenibile, quando si selezionano e gestiscono portafogli di investimento. Questa definizione è focalizzata sul concetto di **sviluppo sostenibile**, un termine usato per descrivere la redditività economica nell'orizzonte a lungo termine che consente alle generazioni presenti di soddisfare i loro bisogni senza minacciare la capacità delle generazioni future di soddisfare i loro, come definito dal rapporto "Our common future" di Brundtland⁶.

Pertanto, la questione della sostenibilità per gli SRI è enfatizzata per coloro che investono a lungo termine e tiene conto dei rischi imposti dalle questioni ESG. Gli

⁴ Con il termine di screening si fa riferimento alla pratica di esclusione di alcune tipologie di investimento che non rispettano determinati criteri e/o valori (**screening negativo**), oppure all'inclusione di investimenti che rispettano determinati standard o che favoriscono determinate iniziative di carattere socio – ambientale (**screening positivo**).

⁵ Desmadryl (2007) ha presentato questa definizione più ampia di SRI ad una tavola rotonda alla United Nations Environment Program Finance Initiative (UNEP FI).

⁶ Nel 1987, Gro Harlem Brundtland, presidente della Commissione mondiale su Ambiente e Sviluppo (World Commission on Environment and Development, WCED) istituita nel 1983, presenta il rapporto «Our common future», formulando una linea guida per lo sviluppo sostenibile, ancora oggi valida.

investimenti sostenibili e responsabili si allontanano dagli approcci basati sui valori dell'investimento etico e si indirizzano verso un portafoglio sostenibile che **valorizza il valore**: in altri termini, sia SIF che Desmondryl descrivono l'SRI come un mezzo per “collegare” la performance sociale aziendale alla performance finanziaria. La convinzione sottostante è l'argomentazione "morale" della responsabilità sociale delle aziende (CRS)⁷ secondo cui le imprese, proprio come i singoli, hanno un dovere nei confronti della società e devono contribuire a proteggere gli interessi delle generazioni future. Il concetto di CSR è fortemente orientato verso gli aspetti globali ambientali e sociali, come una sorta di soluzione ai problemi dell'umanità (come porre fine alla povertà). Come tale, è strettamente legato agli investimenti verdi, alle energie rinnovabili e ai modelli di business sostenibili.

La sostenibilità aziendale rappresenta anche un forte incentivo economico. Ad esempio, ridurre l'impronta di carbonio⁸ di un'azienda riduce i danni ambientali, ma riduce anche gli sprechi, riduce i costi e rende l'azienda più efficiente. Allo stesso modo l'energia rinnovabile, rispetto ai combustibili fossili, non è migliore solo da un punto di vista del pianeta, ma è molto più spesso economica (Senge et al., 2008). In altri termini, vi è un vantaggio economico per le aziende ad essere sostenibilmente responsabili.

Dalla recessione economica degli ultimi anni, c'è stata una maggiore enfasi sulla sostenibilità economica poiché gli investitori socialmente responsabili cercano di imporre le loro richieste ai consigli di amministrazione e ai board delle società, influenzando così le pratiche aziendali con riferimento a questioni economiche, ambientali e sociali; il governo societario è diventato un criterio molto importante per le considerazioni degli investitori. Gli investitori socialmente responsabili sono più propensi ad investire in società in cui gli azionisti possono coinvolgere efficacemente la società attraverso il normale canale di governo societario senza ricorrere ad alcun approccio attivista ostile.

⁷ CRS è acronimo dell'espressione inglese “Corporate Social Responsibility”. Nel gergo economico-finanziario si riferisce all'ambito riguardante le implicazioni di natura etica all'interno della visione strategica d'impresa, ossia la volontà di gestire efficacemente le problematiche d'impatto sociale ed etico al loro interno e nelle zone di attività.

⁸ L'impronta del carbonio (in inglese “carbon footprint”) è un indicatore ambientale che misura l'impatto delle attività umane sull'ambiente ed in particolare esprime quantitativamente gli effetti prodotti sul clima globale da parte dei cosiddetti gas serra generati dalle varie attività umane.

Dopo queste considerazioni, è possibile considerare gli investimenti socialmente responsabili (SRI) come un ampio approccio agli investimenti che riconosce la responsabilità sociale d'azienda come parte imprescindibile della decisione di investimento. Gli SRI e il CSR possono essere intese come due facce della stessa medaglia. Mentre da un lato si affrontano le questioni ESG dal punto di vista dell'investitore, dall'altro si occupa anche di come i manager delle società cerchino di soddisfare le esigenze e le speranze degli investitori, nonché i propri. Pertanto gli obiettivi degli SRI sono di migliorare i profitti delle società e quindi la ricchezza degli azionisti a lungo termine, contribuendo nello sviluppo verso un mondo migliore e sostenibile e ottenendo allo stesso tempo rendimenti competitivi, sia oggi che nel lungo periodo.

1.2 Evoluzione storica degli SRI

1.2.1 Le radici nei movimenti religiosi

Gli investimenti socialmente responsabili non hanno né origine recente, né una data precisa; tuttavia le sue radici possono essere ricondotte a vari movimenti e convinzioni religiose. La prima intenzione di investimento etico può essere letta nella Bibbia, in base alla quale “è vietata l'imposizione di interessi contro i poveri (Esodo 22,2 e Levitico 25, 36-37) e si richiede l'annullamento di tale debito (Deuteronomio 15, 1-11)”⁹. Vi erano anche prove sia dal giudaismo che insegnava come utilizzare il denaro eticamente, sia dall'Islam che proibiva l'usura. Il tema dell'usura fu proibito nella chiesa cattolica nel 1139, mentre in Inghilterra la legge contro l'usura, che proibiva interessi eccessivi sui prestiti, prese effetto dal 1571 al 1624.

Tuttavia, la credenza comune è che gli investimenti etici iniziarono nel diciassettesimo secolo con i quaccheri¹⁰ che proibirono l'investimento in schiavitù e armamenti, poiché

⁹ P. Osthoff. *Socially Responsible Investment*. Logos Verlag Berlin, 2008.

¹⁰ I quaccheri sono i fedeli di un movimento religioso cristiano nato nel XVII secolo in Inghilterra che si concentra sul sacerdozio di tutti i credenti. Si diffuse nelle colonie americane e fu la prima comunità cristiana a combattere la schiavitù. I membri sono conosciuti come "amici" o comunemente come "quaccheri", anche se in origine si definivano "figli della Luce".

i loro principi erano basati sull'uguaglianza e sull'umiltà davanti a Dio. Se i quaccheri sono considerati come i pionieri di questa pratica, anche altri gruppi religiosi attivi nel mondo anglosassone adottarono un atteggiamento simile a partire dal XIX secolo.

I singoli investitori e successivamente intere congregazioni adottarono una politica di investimento consistente nell'esclusione dal portafoglio delle cosiddette "sin stocks"¹¹, ovvero società coinvolte nel gioco d'azzardo, nella produzione di alcolici, nella prostituzione e/o nel tabacco. Nel 1920, nel Regno Unito, la Chiesa metodista¹² fece la stessa cosa, iniziò a investire nel mercato azionario ma adoperando un approccio di screening negativo, evitando di investire in quel tipo di società che chiamavano "sinful companies" (società peccaminose).

Nel Regno Unito, le idee religiose hanno motivato i vittoriani a includere nelle loro decisioni di investimento questioni come la temperanza e condizioni di lavoro eque. Questa tendenza divenne così sempre più usuale e creò un dibattito che portò alla creazione del Pioneer Fund nel 1928; il primo fondo comune di investimento SRI che applicava lo screening negativo basato su credenze religiose. Nel 1973, fu fondato nel Regno Unito il Church Investors Group (CIG)¹³ per consentire lo scambio di opinioni e informazioni tra investitori di diverse confessioni religiose. Un'ultima considerazione del passato e delle radici religiose riguarda la tradizione islamica che impone di non mangiare carne di maiale, pertanto gli investitori islamici non investono in società che si occupano della produzione di carne di maiale.

1.2.2 I precursori

Durante il periodo delle due guerre mondiali, il tema dell'investimento etico non era così importante per gli investitori, ciò è dovuto al fatto che in questi periodi gli

¹¹ Il termine "sin stock" fa riferimento ad una società quotata in borsa che è coinvolta o associata ad un'attività considerata non etica o immorale.

¹² Dal termine "metodismo", è un'espressione del protestantesimo che diede vita ad una delle chiese evangeliche più diffuse nel mondo (circa 70 milioni di fedeli), caratterizzandosi ovunque per profonda spiritualità, dinamismo evangelico e marcata sensibilità verso i problemi etici, sociali e politici.

¹³ il Church Investors Group rappresenta gli investitori istituzionali di molte confessioni religiose e enti di beneficenza legati alla chiesa. Gli obiettivi che si propone il CIG sono di incoraggiare la formulazione di politiche di investimento basate sui principi etici cristiani, di incoraggiare pratiche commerciali responsabili attraverso l'impegno con i dirigenti aziendali e di condividere informazioni e opinioni su questioni etiche relative agli investimenti.

investimenti erano principalmente focalizzati sulle armi. Il fenomeno degli SRI si può dire che sia decollato a partire dalla fine degli anni '60, grazie ai movimenti che evitavano la guerra e il razzismo: la consapevolezza delle conseguenze sociali degli investimenti nelle armi ha portato gli investitori a pensare di più agli investimenti etici. Il PaxWorld Fund, primo fondo comune di investimento fondato negli Stati Uniti nel 1971 a seguito della guerra del Vietnam, rappresenta un importante esempio. Questo fu istituito per prevenire gli investimenti in armi durante la guerra ed era rivolto in particolare agli investitori che non volevano trarre profitto dalla guerra del Vietnam.

Un altro momento cruciale nell'evoluzione degli investimenti sostenibili è stato il fenomeno del sistema razzista dell'apartheid¹⁴ in Sudafrica, negli anni '70. Gli Stati Uniti e l'Europa fecero pressioni sulle società che trattavano con società del Sudafrica. Per esempio, il governo statunitense emanò statuti, come il Comprehensive Anti-Apartheid Act del 1986, che vietavano il compimento di nuovi investimenti in Sudafrica. A seguito di questo importante fenomeno dell'apartheid, fu fondato nel 1972 il Third Century Fund, cioè il primo fondo a considerare i criteri ambientali nelle decisioni di investimento in quanto non investe in società che intrattengono rapporti commerciali con il Sudafrica. Il fondo non ha solamente applicato uno screening negativo, ma anche uno screening positivo¹⁵.

In tutto il mondo si stavano svolgendo azioni simili. L'economia Sudafricana ha sofferto queste pesanti sanzioni, che hanno portato all'avvio del processo di riforma nel 1989.

1.2.3 Istituzionalizzazione del SRI

Le conseguenze della guerra del Vietnam, il movimento per la pace, i diritti civili e successivamente i gruppi di pressione antinucleare e ambientale hanno contribuito al crescente riconoscimento degli SRI. Inoltre, il verificarsi di numerosi disastri ambientali negli anni '70 e '80 aumentò la consapevolezza tra gli investitori

¹⁴ L'apartheid (in italiano, letteralmente “separazione”, “partizione”) era la politica di segregazione razziale istituita nel 1948 dal governo di etnia bianca del Sudafrica, e rimasta in vigore fino al 1991. Fu applicato dal governo sudafricano anche alla Namibia, fino al 1990 amministrata dal Sudafrica. L'anniversario della fine è il giorno 27 aprile, giorno festivo in Sudafrica, quando si festeggia la Festa della Libertà.

¹⁵ P. Osthoff. *Socially Responsible Investment*. Logos Verlag Berlin, 2008.

degli effetti ambientali negativi di un certo tipo di sviluppo industriale. Di particolare importanza sono stati l'esplosione nucleare di Chernobyl avvenuta il 25 aprile 1986 e la fuoriuscita di petrolio di Exxon Valdez nel 1989.

Per esempio, nel 1975 fu fondata Walden Asset Management (WAM) a Boston, società leader negli investimenti socialmente responsabili (SRI), poco dopo l'inizio del movimento moderno degli SRI spronato dagli accadimenti della guerra del Vietnam. Da allora, è diventato un attore importante nella comunità SRI. Le azioni salienti degne di nota di WAM includono la sua partecipazione alla creazione nel 1982 del primo fondo comune di investimento sociale della nazione, Calvert, con screening anti-apartheid sudafricani, e l'avvio nel 1992 di una politica per procura di voto contro i consigli di amministrazione senza donne e minoranze, successivamente adottata da molte altre società di investimento.

Assunto alla guida della gestione dei portafogli con criteri sociali, Robert Zevin è stato un leader negli investimenti socialmente responsabili da quando iniziò a gestire investimenti in modo professionale presso WAM. Robert Zevin è stato tra i primi investitori professionali a fare utilizzo pratico della moderna teoria di portafoglio, cercando di attuare la sua forte convinzione che il modo migliore per ottenere buoni rendimenti a lungo termine era di correre meno rischi. I suoi primi commenti sullo SRI sottolineano che una cattiva decisione di investimento dal punto di vista di un'analisi sociale confluirà anche in una pessima decisione finanziaria (Shapiro, 1992).

Questo è una delle tante evidenze empiriche che testimoniano la diffusione della consapevolezza dell'investimento socialmente responsabile.

Negli anni '90, gli SRI divennero un fenomeno che si stava diffondendo sempre più in Europa, negli Stati Uniti e in tutto il mondo; le persone erano più consapevoli delle questioni etiche e quindi preferivano acquistare prodotti realizzati da aziende che rispettassero determinati valori, come quelli che proteggono l'ambiente o quelli che si preoccupano delle condizioni dei lavoratori.

Negli ultimi anni l'enfasi si è spostata sempre più dall'esclusione del "bad" (screening negativo) alla preferenza consapevole per il "good" (screening positivo) e inoltre, per migliorare le prestazioni finanziarie. Questi approcci vengono spesso combinati per trovare gli investimenti migliori in base a criteri sociali ed ambientali. Accanto ai primi fondi socialmente responsabili, sono nati anche i primi indici di sostenibilità negli anni 2000, come il FTSE4GOOD e il Dow Jones Sustainability Index.

1.3 ESG Investing

Come è stato presentato precedentemente, gli investimenti socialmente responsabili iniziarono a svilupparsi negli anni settanta del secolo scorso, poiché gli investitori utilizzavano principalmente metodi di screening negativo per escludere tutti quegli investimenti in armi, tabacco, gioco d'azzardo, intrattenimento per adulti e altri vizi, ossia tutte quelle società viste come “cattive” o “socialmente irresponsabili”. La filosofia alla base di questa pratica era che il capitale doveva essere destinato a quelle imprese “moralmente buone”, eliminando o selezionando investimenti secondo specifiche linee guida etiche che possono essere religiose, di valori personali o credenze politiche. Questo concetto di base e questa filosofia ha subito negli anni alcune evoluzioni, declinazioni e critiche che vedono gli investimenti SRI come una visione ristretta dell'universo generale dell'investimento sostenibile. Vi sono infatti differenti categorie di investimenti sostenibili che includono impact investing, socially responsible investing (SRI), ESG investing ed altre ancora.

L'ESG investing, sebbene considerato sinonimo di SRI, in realtà non è perfettamente coincidente a quest'ultimo. Spesso sono usati in modo interscambiabile da clienti e professionisti, tuttavia l'investimento ESG è inteso da alcuni come una classe a sé stante di investimento sostenibile, da altri come una sua specifica classe di investimento in quanto il termine SRI racchiuderebbe al suo interno gli investimenti etici, l'ESG investing e l'impact investing.

L'investimento ESG è definibile come l'**integrazione** dei fattori ambientali, sociali e di governance all'interno del processo di investimento. Utilizzando questo approccio, gli investitori possono selezionare le società in cui investire in quanto i fattori ESG, come per esempio la compatibilità ambientale o la tutela dei diritti dei lavoratori, sono considerati fattori di longevità di una società. In altre parole, le aziende che seguono standard ambientali, sociali e di governance di alta qualità hanno maggiori probabilità di sovraperformare i propri competitor nel lungo periodo. Il termine ESG viene quindi adoperato per indicare un sottoinsieme di indicatori di performance non finanziari che includono questioni sostenibili, etiche e di governo societario e che possono avere un impatto materiale sulla performance dell'investimento.

L'integrazione dei fattori ESG viene utilizzata per migliorare l'analisi finanziaria tradizionale identificando potenziali rischi e opportunità oltre le valutazioni tecniche tradizionali. Nonostante esista una sovrapposizione di coscienza sociale, l'obiettivo principale delle valutazioni e integrazioni ESG rimane la performance finanziaria. Gli investimenti con buoni punteggi ESG hanno infatti il potenziale per generare rendimenti, mentre quelli con punteggi ESG bassi possono inibire i rendimenti.

La differenza sostanziale tra l'ESG investing e l'investimento SRI risiede proprio in questa specificazione. A differenza dell'analisi ESG che modella le prestazioni "sociali" delle società, l'investimento SRI applica screening negativi o positivi sull'universo di investimento, ad esempio un investitore potrebbe voler evitare qualsiasi fondo comune di investimento o exchange traded fund (ETF) che investe in società impegnate nella produzione di armi da fuoco perché detengono convinzioni anticonflittuali; oppure scegliere di allocare una parte fissa del proprio portafoglio a società che contribuiscono a cause benefiche. Gli investitori, tuttavia, sono sempre più interessati ad adottare approcci innovativi, che non si limitano solamente ad escludere settori, emittenti o titoli dai portafogli, ma che presuppongono un ruolo più "partecipativo"

La prassi dell'ESG investing sta acquisendo sempre più importanza, come testimoniato anche dalle dichiarazioni della Banca d'Italia in cui nella gestione degli investimenti finanziari dà valore alla sostenibilità¹⁶:

“La Banca d'Italia, per contribuire a uno sviluppo economico sostenibile, ha deciso di privilegiare, nelle proprie scelte di investimento, le imprese che impiegano metodi produttivi rispettosi dell'ambiente, che garantiscono condizioni di lavoro inclusive e attente ai diritti umani e che adottano i migliori standard di governo di impresa. A questo scopo ha modificato le modalità di gestione dei propri investimenti azionari attribuendo un maggior peso ai fattori che aumentano la sostenibilità (fattori ESG, acronimo di Environmental, Social and Governance). Una nota tecnica dettagliata è disponibile sul sito Internet della Banca¹⁷”

¹⁶ Banca d'Italia, Comunicato stampa del 15 maggio 2019: “La Banca d'Italia dà valore alla sostenibilità negli investimenti finanziari”.

URL: <https://www.bancaditalia.it/media/comunicati/documenti/2019-01/cs-20190515-esg.pdf>.

¹⁷ <https://www.bancaditalia.it/media/approfondimenti/2019/informativa-esg/index.html>.

1.3.1 Il CSR e la Triple Bottom Line

Il tema della sostenibilità sta diventando ancora più predominante negli ultimi anni non solo per gli investitori, ma anche per le società stesse che si preoccupano maggiormente dei problemi ambientali, dei cambiamenti climatici, del modo in cui vengono trattati i propri dipendenti. Nel gergo economico-finanziario, l'ambito riguardante le implicazioni di natura etica all'interno della visione strategica di impresa viene definita come **responsabilità sociale d'impresa (CSR)**.

La definizione di CRS è fornita dal Consiglio Mondiale delle Imprese per lo Sviluppo Sostenibile (World Business Council for Sustainable Development ¹⁸) in una pubblicazione di Holme e Watts¹⁹. Il CSR viene definito come il costante impegno delle imprese a comportarsi in modo etico e contribuire allo sviluppo economico, migliorando nel contempo la qualità della vita, della forza lavoro e delle loro famiglie, nonché della comunità locale e della società in generale.

La responsabilità sociale di impresa pone la sua particolare attenzione ad avere un buon governo societario con la tutela degli interessi degli azionisti e gli interessi degli stakeholder, come i dipendenti e la comunità locale. In alcune organizzazioni, il concetto di CSR è supportato da 3 parole che sono: sociale, economico e ambientale; tutte riunite nel concetto di **“triple bottom line”**.

L'espressione “triple bottom line” fu coniata per la prima volta nel 1994 da John Elkington, fondatore della organizzazione internazionale SustainAbility. Elkington elaborò questa teoria nel suo libro del 1997, “Cannibals With Forks: the triple bottom line of 21st century business”, in cui afferma che le società dovrebbero impostare la propria strategia aziendale “mescolando” tre variabili, le cosiddette 3P: **Profitto, Persone, Pianeta**; con il fine di generare risultati positivi e ottenere un vantaggio

¹⁸ Il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) è un'organizzazione gestita dai CEO di oltre 200 aziende internazionali. Il Consiglio è inoltre collegato a 60 consigli nazionali e regionali e organizzazioni partner. Il consiglio lavora su una varietà di questioni relative allo sviluppo sostenibile, in particolare per raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (OSS). Uno studio commissionato dalla World Bank/International Finance Corporation (IFC) del 2003 ha identificato il WBCSD come uno dei “forum più influenti” per le aziende in materia di responsabilità sociale delle imprese (CRS).

¹⁹ L. Holme and R.Watts. “Making good business sense”. The World Council for Sustainable Development, Geneva. 1999.

competitivo nel medio-lungo termine. Una volta entrato e implementato nel sistema centrale dell'azienda, il 3P sarebbe in grado di generare il successo dell'organizzazione.

La triple bottom line fa riferimento a tre aggregati che sono il pianeta, le persone e il profitto. Le persone sono sinonimo di *social* perché si concentrano sull'impiego e sulla loro situazione sul posto di lavoro, il pianeta è sinonimo di *ambiente*, in quanto fa riferimento ai problemi ambientali, e infine profitto sta per *economico* poiché si concentra sul lato finanziario di un'azienda.

Figura 1 - Triple Bottom Line



Alla luce di queste considerazioni, è possibile affermare che la triple bottom line è strettamente connessa con i fattori ambientali, sociali e di governance, definiti come **fattori ESG** (Environmental, Social, Governance). Un numero sempre maggiore di investitori richiedono che i loro portafogli tengano in adeguata considerazione questi valori, in quanto vogliono investire in società le cui attività siano compatibili con le questioni e le problematiche ESG, in maniera tale da supportare al meglio le loro decisioni di investimento a lungo periodo.

1.3.2 Il fattore *Environmental*

In questo paragrafo, si considera il fattore *environmental* che nella triple bottom line è strettamente collegato con la parola “pianeta”. Quando un investitore considera la questione *environmental* nella sua valutazione degli investimenti, il suo obiettivo è realizzare pratiche sostenibili che riducano l’impatto ambientale.

Gli aspetti ambientali dello sviluppo sono esaminati attraverso la transizione dall’economia tradizionale, centrata sulla pura crescita economica e accumulo di ricchezza, all’economia verde, che si basa su uno sviluppo responsabile ed è interessata agli impatti della crescita economica sulla società²⁰.

La componente ambiente include rischi associati a:

- **Cambiamenti climatici:** Uno dei maggiori imputati al cambiamento climatico sono gli effetti dei gas serra. Questo approccio viene utilizzato per la valutazione degli effetti di questi gas.
- **Inquinamento dell’aria:** Le emissioni di CO₂ (anidride carbonica) sono uno degli aspetti negativi dell’industrializzazione. Infatti, all’aumentare della produzione industriale, aumenta anche questa emissione. L’obiettivo è lavorare sulla riduzione e l’eliminazione di queste emissioni.
- **Inquinamento e consumo dell’acqua:** L’acqua è un elemento essenziale per la sopravvivenza sulla Terra e l’accesso all’acqua è considerato un diritto umano. Tuttavia, l’acqua dolce è una risorsa scarsa. Secondo Eurosif²¹, l’acqua dolce costituisce infatti solo il 3% dell’acqua della Terra ed è inoltre distribuita in modo disuguale. Inoltre, vi è una crescente domanda di acqua da parte di aziende industriali ed agricoltura. Il 20% di tutte le acque superficiali è minacciato dall’inquinamento. L’obiettivo è quindi di implementare pratiche e politiche per ridurre il consumo di acqua e l’inquinamento della stessa.

²⁰ J.F. F. Barata et al. “Multi-Criteria Indicator for Sustainability Rating in Suppliers of the Oil and Gas Industries in Brazil”. Sustainability 6.3 (2014), pp. 1107–1128.

²¹ Water theme report, Eurosif,

URL: http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2014/06/water_theme_report.pdf.

- **Biodiversità:** Questo termine è utilizzato per descrivere la diversità delle specie viventi sulla Terra. L'attività di molte aziende dipende dalla biodiversità e dai servizi eco sistemici. L'impatto della biodiversità comporta una serie di rischi diretti e indiretti quali rischi fisici, di mercato, di prezzo e legali. Il settore agricolo e alimentare, le industrie estrattive, il settore immobiliare e delle infrastrutture, l'industria della carta e del legno, il settore turistico sono tra i più esposti a tali rischi.
- **Deforestazione e rifiuti:** la deforestazione è un fenomeno preoccupante non solo per le persone interessate all'ambiente ma anche per il turismo e il paesaggio. La deforestazione è un fenomeno negativo poiché sfrutta alberi e vegetazione.

In sintesi, il fattore ambiente considera il contributo delle società ai cambiamenti climatici attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra, insieme alla gestione dei rifiuti e all'efficienza energetica. Dati i rinnovati e recenti sforzi per combattere il riscaldamento globale, la riduzione delle emissioni e la decarbonizzazione sono tra i più importanti.

1.3.3 Il fattore Social

L'universo *social*, che è associato alla bottom line tramite la parola "persone", si occupa principalmente di diritti umani, delle condizioni e del trattamento dei dipendenti sul posto di lavoro. Il fattore social richiede:

- **Diritti umani:** "tutti gli esseri umani nascono liberi ed eguali in dignità e diritti [...]"²². A seguito di questo articolo della dichiarazione universale dei diritti umani, ogni governo deve proteggere il proprio paese dagli abusi, e le aziende devono trattare tutti i dipendenti in modo uguale, per ridurre le disparità sul posto di lavoro e garantire azioni trasparenti, oneste ed egualitarie. È necessario che tutti i membri, come i lavoratori, manager, fornitori e dirigenti abbiano pari opportunità nell'azienda. Un esempio è l'iniziativa sostenibile di Mars chocolate

²² Articolo 1, Dichiarazione universale dei diritti umani, 1948.

North America che richiede ai suoi coltivatori di cacao di essere certificati dalle organizzazioni del commercio equo e solidale per garantire che seguano un codice di condotta che includa un trattamento equo di coloro che forniscono lavoro. In cambio della certificazione, Mars fornisce tecnologia per la produttività e acquista cacao a un prezzo eccezionale²³.

- **Salute e Sicurezza:** queste sono altre due questioni importanti all'interno delle aziende, poiché buone pratiche in materia di salute e sicurezza possono aiutare a ridurre gli incidenti nel luogo di lavoro. Pertanto vi è la necessità di ulteriori corsi di formazione con l'obiettivo di ottenere una maggiore sicurezza nel posto di lavoro.

I possibili risultati positivi, considerati dal fattore social, comprendono l'aumento della produttività e del morale, la riduzione del turnover e dell'assenteismo e il miglioramento della fedeltà al marchio.

1.3.4 Il fattore Governance

Il fattore di **governance**, che corrisponde alla parola "profitto" della bottom line, riguardano il modo in cui le società sono gestite, ovvero alle pratiche di governo societario, tra cui le pratiche retributive dei manager, la composizione del consiglio di amministrazione, le procedure di controllo e il comportamento dell'azienda in termini di conformità alle leggi e all'etica. I rischi nell'universo della governance sono:

- **Remunerazione:** è una questione chiave per le aziende, azionisti e stakeholder. La relazione tematica sulla remunerazione di Eurosif 2010²⁴ si concentra infatti sulla trasparenza della remunerazione che comprende la divulgazione delle politiche di remunerazione delle società, nonché il riconoscimento del diritto di voto agli azionisti sulla politica di remunerazione. La remunerazione è importante poiché una politica retributiva ben definita avrà effetti positivi

²³ Cocoa for generation, URL: <https://www.mars.com/sustainability-plan/cocoa-for-generations>.

²⁴ Remuneration theme report. 2010, URL: http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2015/03/Eurosif_remuneration-report-2010.pdf.

chiaramente in termini di performance e comportamento della strategia aziendale, della continuità e della creazione di valore stabile a lungo termine.

- **Corruzione:** è un fattore cruciale in un'azienda. La corruzione riguarda il luogo in cui vengono effettuate le operazioni e il settore in cui l'azienda opera. Nel 2010 Eurosif²⁵ ha condotto uno studio sulle migliori pratiche per evitare la corruzione. La cosa più importante che un'azienda deve implementare è la trasparenza delle attività svolta, delle relazioni, delle informazioni divulgate. È anche importante prevenire la corruzione con un chiaro impegno da parte dell'alta direzione e una collaborazione con gli stakeholder esterni.
- **Indipendenza:** l'indipendenza del consiglio di amministrazione dai dipendenti della società nel giudizio sugli affari dell'azienda.

I risultati positivi della governance comprendono l'allineamento degli interessi degli azionisti e dei dirigenti, evitando così possibili sorprese finanziarie.

1.4 I key driver dell'ESG investing

La sfida di garantire la crescita in un clima di investimento instabile è una delle principali forze trainanti dell'ESG.

Secondo un'analisi di Bloomberg Intelligence²⁶, questioni quali l'efficienza energetica, la scarsità di acqua, la sicurezza e la diversità hanno guadagnato un maggiore interesse da parte degli investitori nei fondi e negli investimenti ESG che, unitamente all'apprezzamento del mercato, hanno portato un aumento annuo del 37% delle attività a 445 miliardi di dollari nel 2017, superando il rendimento del 23% per l'indice MSCI World. Diversamente etichettato come investimento sostenibile, responsabile o etico, il settore comprende il 26% delle attività gestite a livello globale, quasi 23 trilioni di dollari secondo la Global Sustainable Investment Alliance. L'Europa guida i mercati

²⁵ Corruption theme report. 2010, URL:

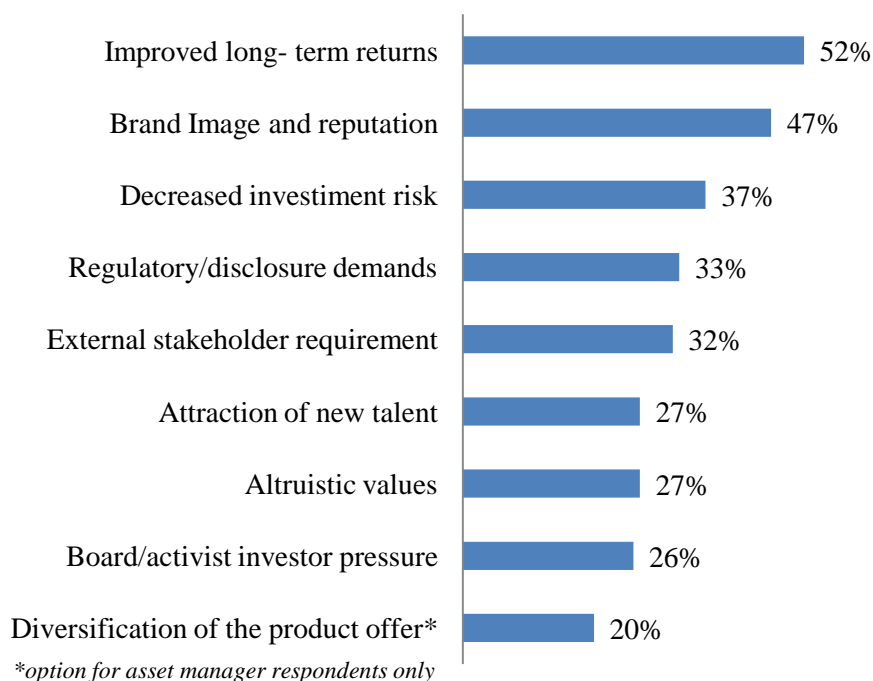
http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2014/06/eurosif_corruption_report_june2010.pdf.

²⁶ "Sustainable investing grows on pensions, millennials", Bloomberg Intelligence, 4 aprile 2018. URL: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/sustainable-investing-grows-pensions-millennials/>.

con circa la metà degli asset gestiti che considerano criteri di sostenibilità, tuttavia anche nel resto del mondo si sta diffondendo questa pratica, come evidenziato dall'interesse del Canada, Giappone e degli Stati Uniti che continua ad aumentare.

Secondo un sondaggio globale ESG di BNP Paribas ²⁷ in cui si illustrano i vantaggi e le motivazioni di una crescente attenzione alle questioni ESG, il principale motivo che spinge gli investitori a considerare gli aspetti ESG nelle strategie di investimento è rappresentato dalle performance e dai rendimenti a lungo termine. Oltre la metà (52%) degli intervistati classifica i “migliori rendimenti a lungo termine” tra le prime tre ragioni per incorporare i fattori ESG.

Grafico 1 - Drivers behind ESG integration



Fonte: “The ESG Global Survey 2019” – BNP Paribas

Per quanto riguarda il secondo fattore, il marchio e la reputazione, rappresenta il secondo motivo principale (47%) di considerare i fattori ESG, in quanto l'integrazione di tali aspetti all'interno delle aziende ne migliorano la reputazione e l'immagine del marchio. Il concetto di “marchio di fiducia” sta diventando centrale nelle strategie ESG dei gestori patrimoniali. Infatti, intraprendere un percorso che porti a considerare gli

²⁷ URL: https://cib.bnpparibas.com/sustain/esg-global-survey-2019-investing-with-purpose-for-performance_a-3-2900.html.

aspetti ESG, rappresenta per un'azienda un importante passo per garantire maggiore solidità in quanto il management sposta sempre più la propria attenzione dalla ricerca di guadagni a breve termine alla promozione della crescita a lungo termine. Incorporare una strategia di sostenibilità coerente per le aziende significa infatti creare benefici e valore significativi a lungo termine, in termini di rendimenti economici e prestazioni operative. Al contrario, le scarse performance ESG possono causare danni ad un'azienda in termini finanziari immediati e comportare rischi reputazionali e strategici che potrebbero danneggiare la sua posizione a lungo termine.

Più di un terzo degli intervistati (37%) nel sondaggio dichiara di incorporare gli aspetti ESG per ridurre il rischio dell'investimento, essendo strettamente connesso al punto precedente. Migliorare la stabilità e la fiducia delle imprese comporta inevitabilmente una maggiore sicurezza e quindi una riduzione del rischio dell'investimento.

È possibile affermare che le prime tre risposte presenti nel sondaggio di BNP Paribas sono strettamente connesse tra loro in quanto vi è una crescente fiducia nel legame tra l'incorporazione dell'ESG nel processo decisionale in materia di investimenti e migliori rendimenti aggiustati per il rischio. Questo importante collegamento è stato riconosciuto anche in studi chiave, come il "The PRI's ESG and alpha study"²⁸ pubblicato a marzo 2018. Questo studio, che si basa su un'analisi del portafoglio e sui dati ESG forniti da MSCI Research, ha testato che le informazioni ESG offrono un vantaggio in termini di alpha nei portafogli azionari di tutte le regioni geografiche analizzate che includono Stati Uniti, Europa e Giappone.

1.5 Spinta normativa all'integrazione degli aspetti ESG

Come è possibile notare dal Grafico 1, tra i driver menzionati alla base dell'integrazione degli aspetti ESG vi è anche la richiesta normativa e di trasparenza (regulatory/disclosure demands) subito dopo le prime tre componenti sopramenzionate. La maggior parte dei Paesi stanno implementando e adottando sempre più strategie che contribuiscono allo sforzo necessario per favorire la transizione del sistema economico mondiale verso il tema della sostenibilità.

²⁸ PRI, Principles for Responsible Investment - The PRI's ESG and alpha study". URL: <https://www.unpri.org/listed-equity/the-pris-esg-and-alpha-study-/2740.article>.

1.5.1 Il contesto europeo

Secondo un rapporto di PWC in tema di finanza sostenibile²⁹, al 2018 l'Europa conduce il primato nel mondo con 14 mila miliardi di dollari che rappresenta quasi il 50% degli investimenti complessivi improntati alla sostenibilità. La più grande spinta regolamentare in Europa deriva dal **piano di azione** della **Commissione europea** sulla finanza sostenibile³⁰. Presentato a marzo del 2018, il piano consiste in una “strategia per la realizzazione di un sistema finanziario che sostenga il programma dell'Unione per il clima e lo sviluppo sostenibile. [...] Per conseguire gli obiettivi dell'UE per il 2030 concordati a Parigi, in particolare la riduzione del 40% delle emissioni di gas a effetto serra occorrono investimenti supplementari dell'ordine di 180 miliardi di euro all'anno. [...] Da qui l'esigenza di rafforzare il ruolo della finanza nella realizzazione di un'economia efficiente che consegua anche obiettivi ambientali e sociali”.

Tra le azioni previste dal Piano, vi sono i seguenti obiettivi:

- Creazione di un linguaggio comune per la finanza sostenibile, ovvero un **sistema unificato di classificazione dell'UE o “tassonomia”** per definire ciò che è sostenibile e identificare gli ambiti in cui gli investimenti sostenibili possono incidere maggiormente;
- Creazione di **marchi UE** per i prodotti finanziari verdi sulla base di questo sistema di classificazione dell'UE, permettendo così agli investitori di individuare agevolmente gli investimenti che rispettano i criteri ambientali o di basse emissioni di carbonio.
- Chiarire **l'obbligo, per i gestori di attività e gli investitori istituzionali**, di tenere conto dei fattori di sostenibilità nel processo di investimento e di rendere più stringenti gli obblighi di comunicazione.

²⁹ PWC's Top trends – Financial Services. “Finanza sostenibile. L'evoluzione del quadro normativo europeo per favorire la transizione alla green economy a gli impatti per gli intermediari finanziari”.

³⁰ Homepage Commissione Europea, sezione notizie. URL: https://ec.europa.eu/italy/news/20180308_piano_di_azione_Ce_per_finanza_sostenibile_it.

- Imporre alle imprese di assicurazione e di investimento di consigliare i clienti in base alle loro preferenze in materia di sostenibilità.
- Integrare **la sostenibilità nei requisiti prudenziali**: le banche e le imprese di assicurazione sono una fonte importante di finanziamento esterno per l'economia europea. La Commissione esaminerà la fattibilità di una ricalibrazione dei requisiti patrimoniali delle banche (il cosiddetto “fattore di sostegno verde”) per gli investimenti sostenibili, quando si giustifica sotto il profilo del rischio, al tempo stesso assicurando la tenuta della stabilità finanziaria.
- Migliorare la trasparenza per quanto riguarda le **comunicazioni societarie**: si propone di rivedere le linee guida sulle informazioni non finanziarie per allinearle maggiormente alle raccomandazioni della task force del Consiglio per la stabilità finanziaria sull'informativa finanziaria collegata al clima (Task Force on Climate-related Financial Disclosures³¹).

Il nuovo regolamento intende dunque chiarire i ruoli e le responsabilità degli investitori, stabilire una tassonomia comune e standard di rendicontazione per contribuire a ridurre al minimo il greenwashing³² e studiare come i prodotti possono ottenere la certificazione "verde". Secondo il piano, tutte le istituzioni finanziarie che gestiscono gli investimenti per conto dei loro clienti o beneficiari dovranno informare la Commissione europea di come le loro attività incidono sul pianeta e sull'ambiente locale.

La Commissione inoltre, nel luglio 2018, ha richiesto all'Autorità europea degli strumenti finanziari e dei mercati (ESMA) e all'Autorità europea delle assicurazioni e delle pensioni aziendali e professionali (EIOPA) di fornire il proprio parere volto a supportare l'integrazione dei fattori ESG all'interno della normativa in materia di

³¹ In acronimo TCFD, è stata istituita nel 2015 dal Financial Stability Board (FSB) per aumentare la quantità di informazioni affidabili sull'esposizione degli istituti finanziari e società ai rischi e alle opportunità legati al clima da fornire alle parti interessate.

³² Termine composto dalle parole green (colore tradizionalmente associato all'ambiente) e whitewash (imbiancare e, in senso figurato, coprire o nascondere qualcosa). Il greewashing è una strategia abbastanza diffusa oggi ed è associata a quelle aziende che si servono della comunicazione per attribuire valenze di carattere ambientale alle proprie attività, nonostante nella realtà esse siano guidate solo in parte, o non lo sono affatto, da logiche di marketing sostenibile. Si trattano per lo più di campagne pubblicitarie ingannevoli per distogliere l'attenzione dell'opinione pubblica dagli effetti negativi per l'ambiente derivanti dalle attività.

servizi di investimento (MIFID II), assicurazioni (Solvency II e IDD), fondi comuni (UCITS e AIFMD) e relative norme di attuazione. Rispettivamente il 26 novembre 2018 e 19 dicembre 2018, EIOPA ed ESMA hanno pubblicato i rispettivi *consultation paper*³³.

Inoltre, ai sensi della nuova normativa approvata dal Dipartimento del Regno Unito del lavoro e delle pensioni (DWP) a settembre, i regimi pensionistici (con oltre 100 membri) del Regno Unito sono tenuti a divulgare i rischi per i loro investimenti, compresi quelli derivanti da considerazioni ESG, entro ottobre 2019³⁴.

Alla luce delle considerazioni normative riportate, è evidente che il livello di integrazione degli aspetti ESG nel settore sarà sempre maggiore, tanto nel breve quanto nel lungo periodo.

Per quanto riguarda l'**Italia**, il Paese si sta impegnando nello sviluppo di politiche sostenibili; tuttavia, pur avendo fatto passi in avanti, presenta ancora un ritmo di crescita moderato. Secondo il rapporto di PWC, ad oggi “l’asse portante degli investimenti sostenibili italiani è rappresentato dagli investitori istituzionali, ma è già in atto un trend positivo a favore del settore retail che sta trasformando gli investimenti sostenibili da strumento di nicchia a mainstream”. Secondo i dati riportati, dal 2014 al 2017, infatti, a livello europeo la quota di mercato del settore retail è passata dal 3,4 al 30%.

1.5.2 Il contesto dell’Asia del Pacifico

Anche i regolatori dell’Asia stanno iniziando ad implementare i propri framework ESG. Diverse politiche cinesi, per esempio, sono orientate agli sviluppi della “finanza verde”, rendendo più probabile la proliferazione dell’integrazione ESG.

³³ EIOPA consultation paper: “Consultation Paper on an opinion on sustainability within Solvency II”. URL: https://eiopa.europa.eu/Publications/Consultations/EIOPA-BoS-19-241_Consultation_Paper_on_an_opinion_%20on_sustainability_in_Solvency_II.pdf.

ESMA consultation paper: “Consultation Paper on integrating sustainability risks and factors in MiFID II”. URL: https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2018-esma35-43-1210-ipisc_cp_mifid_ii_sustainability.pdf.

³⁴ <https://www.ftadviser.com/pensions/2018/09/11/pension-schemes-mandated-to-disclose-esg-risks/>.

L'autorità monetaria di Singapore (MAS)³⁵ ha segnalato pubblicamente e presso il sito web il proprio impegno a favore di pratiche sostenibili, incoraggiando le istituzioni finanziarie ad adottare le migliori pratiche ESG:

“Building the capabilities in our financial sector to incorporate Environmental, Social and Governance (ESG) considerations into financing decision and drive long term sustainable economic growth.”³⁶.

A supporto di questa politica, il MAS ha sviluppato il “Green Finance Action Plan”, una strategia a lungo termine diretta a promuovere progetti sostenibili dal punto di vista ambientale, a mitigare i rischi dei cambiamenti climatici in Singapore e nella regione ed a favorire la crescita di un ecosistema forte e diversificato di capacità di finanziamento verde a Singapore.

L'SFC³⁷ di Hong Kong ha annunciato nel 2018 un framework strategico per contribuire allo sviluppo della finanza verde ad Hong Kong. Questo meccanismo migliorerà la trasparenza e la divulgazione delle informazioni ambientali da parte delle società quotate, con particolare attenzione ai rischi e alle opportunità legati al clima. L'SFC lavorerà anche sui modi in cui i gestori patrimoniali rivelano ai loro clienti la natura e la misura in cui tengono conto dei criteri ambientali nei loro processi di investimento e le valutazioni di tali rischi. In aggiunta, la strategia include anche lo sviluppo di un'ampia gamma di opportunità di investimento ecologico attraverso una guida alla divulgazione compatibile a livello internazionale per garantire la credibilità delle offerte di prodotti ecologici ad Hong Kong. Inoltre lavorerà a stretto contatto con Hong Kong Exchange and Clearing Limited³⁸ su come sviluppare e promuovere la quotazione e la negoziazione di prodotti finanziari verdi tra cui obbligazioni, indici e derivati.

Infine, l'Australia si attiene alle raccomandazione in tema di divulgazione del rischio climatico previste dal TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures). Il

³⁵ L'autorità monetaria di Singapore (MAS) è la banca centrale di Singapore e l'autorità di regolamentazione finanziaria. Gestisce i vari statuti relativi al denaro, alle banche, alle assicurazioni, ai titoli e al settore finanziario in generale, nonché all'emissione di valuta.

³⁶ Homepage MAS, Sustainable Finance. URL:

<https://www.mas.gov.sg/development/sustainable-finance>.

³⁷ La Securities and Future Commission, in acronimo SFC, è un organo statutario indipendente istituito nel 1989 per regolare i mercati dei titoli e dei futures di Hong Kong.

³⁸ Hong Kong EXchanges and Clearing Limited è una società possiede e gestisce la borsa valori e la borsa dei futures a Hong Kong.

governo nelle sue azioni tiene conto di queste raccomandazioni in modo da favorire la progressiva transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

Considerando la vulnerabilità delle economie dell'Asia del Pacifico agli impatti dei cambiamenti climatici, è possibile notare come queste stiano aumentando la propensione verso l'integrazione degli aspetti ESG, sia a livello di governo che a livello di impresa, spingendo gli investitori istituzionali di tali regioni verso questa sostenibilità e resilienza. Gli investitori dell'Asia del Pacifico hanno fatto un passo in avanti rispetto alle loro controparti globali nell'integrare le strategie ESG nelle loro decisioni di investimento, come rivelato dal sondaggio pubblicato a maggio 2018 dalla banca mondiale di titoli BNP Paribas Securities services in cui riferisce che l'84% dei 135 gestori e proprietari di attività istituzionali intervistati in Asia stanno attualmente integrando i fattori ESG nelle loro decisioni di investimento.

1.5.3 Il contesto statunitense

Nel contesto statunitense non risulta una legislazione del governo federale in questa direzione, tuttavia vi è una visione comune da parte dei singoli stati, delle imprese e degli investitori dell'importanza di considerare queste tematiche all'interno dei processi decisionali di investimento. Secondo un recente report di US SIF³⁹ negli Stati Uniti d'America, gli investitori ora considerano i fattori ambientali, sociali e di governance (ESG) per 12 trilioni di dollari di attività gestite professionalmente, un aumento del 38% dal 2016. Rispetto al 2016 infatti, le società di gestione patrimoniale e gli investitori istituzionali stanno affrontando una serie sempre più diversificata di preoccupazioni e minacce ambientali, sociali e di governance, come la discriminazione razziale e di genere, la violenza armata e il rollback⁴⁰ del governo federale nel tema delle tutele ambientali; per questo motivo utilizzano la selezione di portafoglio sostenibile e l'impegno degli azionisti verso investimenti sostenibili per affrontare questi problemi importanti.

³⁹ US SIF, "Report on US Sustainable, Responsible and Impact Investing Trends", 2018. <https://www.ussif.org/files/Trends/Trends%202018%20executive%20summary%20FINAL.pdf>.

⁴⁰ Termine utilizzato per indicare un arretramento, un "tornare indietro" o una riduzione dell'influenza e dell'attenzione nei confronti di una particolare tematica.

Secondo i dati forniti da un report di Pensions&Investments di settembre 2018⁴¹, a supporto alla crescita degli investimenti ESG negli Stati Uniti inoltre, un totale di 374 gestori di fondi statunitensi e altre organizzazioni legate agli investimenti hanno aderito ai Principi sostenuti dalle Nazioni Unite per gli investimenti responsabili (Principles for Responsible Investment)⁴² al 30 giugno 2018, da 303 alla fine di giugno 2017. Tramite questa adesione, i firmatari concordano di attuare sei principi per incorporare le questioni ESG all'interno delle loro pratiche di investimento.

Una nota interessante in questo tema, emersa dal sondaggio di maggio 2018 dalla banca mondiale BNP Paribas, evidenzia la ricerca di dati coerenti e di qualità superiore come una priorità fondamentale per i gestori patrimoniali negli Stati Uniti. In risposta a questa esigenza, le start-up di Fintech stanno sviluppando soluzioni che utilizzano l'intelligenza artificiale (AI) per analizzare le società ad un livello più granulare rispetto alle questioni ESG. Questo ecosistema Fintech, emerso soprattutto a causa della scarsa fiducia nelle informazioni comunicate dalle società, va oltre le fonti di dati riportate dall'azienda e sfruttano un arsenale di nuove tecnologie come big data basati su informazioni derivanti da impianti e centrali elettriche, oppure elaborazione del linguaggio naturale (NPL), Internet of Things (IoT), immagini satellitari, blockchain e robo-advisor⁴³.

Il BNP Paribas ESG Global Survey 2019 ha evidenziato infatti che i dati ESG rimangono il principale ostacolo all'integrazione ESG per gli investitori, ben prima dei costi e della mancanza di competenze analitiche avanzate. Con il 66% di tutti gli intervistati nel sondaggio, l'evidenza di questa sfida sui dati ESG nel 2019 è persino maggiore di quanto riportato nello stesso sondaggio effettuato nel 2017. Ciò significa e suggerisce che gli investitori sono diventati più sofisticati nella loro integrazione ESG, chiedendo una soluzione alle attuali sfide che devono affrontare relative ai dati.

⁴¹ Pensions&Investments, "More institutional investors putting money on ESG", 3 settembre 2018. URL: <https://www.pionline.com/article/20180903/PRINT/18090992/more-institutional-investors-putting-money-on-esg>.

⁴² I principi per gli investimenti responsabili supportati dalle Nazioni Unite (PRI) è un network internazionale di investitori che lavorano assieme per diffondere e mettere in pratica i sei principi che offrono una vasta gamma di azioni per incorporare le questioni ESG nel processo di investimento nelle asset classes. L'obiettivo di tale network è comprendere le implicazioni della sostenibilità per gli investitori e supportarli nell'incorporare questi problemi nelle loro decisioni di investimento.

⁴³ BNP Paribas Securities Services, "Fintechs and the ESG data challenge – Six case studies of emerging technologies", 20 novembre 2019. URL: <https://securities.bnpparibas.com/insights/fintechs-esg-data-case-studies.html>.

Secondo un articolo di ottobre 2019⁴⁴, attualmente, più che il governo federale, alcuni stati sono all'avanguardia nella regolamentazione procedurale e sostanziale volta a stimolare gli investimenti sostenibili, in quanto questi stati si stanno concentrando sulla crescente attenzione del mercato alla gestione del capitale utilizzando i fattori ESG e, a loro volta, facendo dell'ESG una considerazione ancora più importante per coloro che raccolgono e gestiscono fondi. **Le regolamentazioni degli stati** intervengono per lo più nei sistemi pensionistici, nei trust fund e nelle composizioni dei consigli di amministrazione. La più nota deriva dal sistema pensionistico dei dipendenti pubblici della California (CaIPERS) e il sistema pensionistico degli insegnanti statali della California (CaISTRS) che da oltre un decennio stanno integrando i fattori ESG nella gestione di questi fondi. Un altro esempio deriva dallo stato dell'Illinois che ha recentemente intrapreso nuove significative azioni legislative, come il Sustainable Investing Act, noto come HB 2460, che entrerà in vigore a partire da gennaio 2020 e richiede a tutti gli enti pubblici o governativi coinvolti nella gestione di fondi pubblici di sviluppare, pubblicare e attuare politiche di investimento sostenibili applicabili alla gestione di tutti i fondi pubblici sotto il loro controllo.

In conclusione, l'approccio normativo statunitense, per aumentare gli investimenti sostenibili, può sembrare insolito rispetto al contesto europeo e asiatico. Piuttosto che un unico quadro nazionale, gli Stati Uniti stanno assistendo ad uno sviluppo di un patchwork a livello statale: se l'esperienza internazionale riguardo alla tematica ESG è stata sistematica, negli Stati Uniti sembra un po' stocastica.

⁴⁴ Kirkland & Ellis, "States Take Lead on ESG Investment Regulations While Feds Stand Still", 4 ottobre 2019. URL: <https://www.kirkland.com/publications/article/2019/10/states-take-lead-on-esg-investment-regulations-ghi>.

Capitolo II

Numeri fuzzy e teoria della credibilità

2.1 Premessa

Gli investitori, per allocare la loro ricchezza, hanno a disposizione una varietà di strategie differenti che dipendono dall'orizzonte temporale di investimento. Coloro che hanno un obiettivo di breve termine adoperano principalmente l'analisi tecnica (Sobreiro et al., 2016; Zhu, Atri & Yegen, 2016) e l'analisi dei grafici (Gerritsen, 2016; Schmitt & Westerhoff, 2017), mentre gli investitori che sono orientati a strategie di investimento nel lungo periodo generalmente effettuano un'analisi fondamentale (De Oliveira, Nobre, & Zárate, 2013; Shen, Yan, & Tzeng, 2014) o strategie di investimento passive (García, Guijarro, & Moya, 2013; García, Guijarro, & Oliver, 2018).

La cosa importante da sottolineare è che tutte queste strategie, nonostante siano differenti tra loro, si concentrano su un elemento comune a tutte che è il **rendimento atteso** degli asset. Quest'ultimi inoltre, sono analizzati individualmente e non in un'ottica di portafoglio, pertanto i rendimenti delle attività sono considerati indipendenti gli uni dagli altri.

Nel 1952, il premio Nobel per l'economia Markowitz cambiò il focus dell'analisi degli investimenti e non si concentrò più nella selezione di asset valutati individualmente, ma indirizzò questa selezione in un'ottica più ampia di portafoglio, mettendo in luce il concetto di **diversificazione** che consiste nel considerare la dipendenza in forma di correlazione tra i rendimenti degli asset all'interno del portafoglio stesso. Il problema di **portafoglio** riguarda la selezione di attività all'interno di un insieme/gruppo di candidati in modo tale da realizzare la migliore combinazione, definita come portafoglio ottimale, che possa massimizzare gli obiettivi degli investitori in termini di diversi criteri.

Markowitz affrontò per la prima volta questo problema in termini quantitativi proponendo come criteri di selezione la media e la varianza dei rendimenti in modo da

tenere in considerazione il trade off rischio-rendimento, fondando il **modello media-varianza**. Sulla base di tale modello, l'investitore può ottenere quel portafoglio ottimale che, dato un certo livello di rendimento target, restituisce la combinazione di asset ottimale che minimizza la varianza. Questo modello elementare, tuttavia, fu presto oggetto di critiche per diversi motivi che portarono ad una sua evoluzione nel tempo.

In questo contesto, molti ricercatori e studiosi continuarono ad affrontare il problema di selezione di portafoglio principalmente da tre prospettive:

- i. Affrontare e gestire l'**incertezza** dei rendimenti degli asset;
- ii. Includere **nuovi criteri** e misure differenti dalla varianza per la valutazione del rischio di portafoglio;
- iii. Considerare **nuovi vincoli** al problema di selezione per captare meglio le esigenze degli investitori e rendere più realistico tale problema.

Con riferimento al primo punto, l'incertezza dei rendimenti sugli asset è generalmente modellizzata mediante la **teoria delle probabilità** con l'utilizzo di variabili casuali caratterizzate da distribuzioni di probabilità note, quali si presumono derivino dall'osservazione di eventi incerti o dati storici. Come osservato da Huang (2010), la casualità, tuttavia, non è l'unico tipo di incertezza nella vita reale, in particolar modo quando le persone sono coinvolte. Il mercato azionario, uno dei mercati più complessi al mondo, pare contenere molti tipi di non certezza in quanto i rendimenti dei titoli sono sensibili ad un'ampia varietà di fattori, come quelli economici, sociali, politici e, non di minor importanza, anche i fattori psicologici della gente. Tradizionalmente quindi, i modelli di selezione del portafoglio si basano sull'assunzione che gli investitori dispongano di informazione complete per il loro processo decisionale (Gupta et al., 2008, 2010, 2011). Tuttavia le informazioni disponibili nei mercati finanziari per supportare il processo decisionale in materia di investimenti sono spesso **incomplete**, **ambigue** e **vaghe** (Gupta, Mittal, & Mehlawat, 2013, 2014). Con riferimento all'incompletezza, per esempio è difficile disporre di una distribuzione di probabilità per la valutazione di un nuovo asset per il quale non vi è evidenza empirica, inoltre i mercati sono affetti da ambiguità e vaghezza generata dalla presenza di informazioni parziali o derivanti da espressioni del linguaggio naturale come "alto rischio", "basso profitto", "bassa liquidità" utilizzate con ricorrenza dagli investitori e dagli esperti.

Sulla base di queste considerazioni, l'utilizzo tradizionale delle distribuzioni di probabilità potrebbe non essere più adatto per affrontare e gestire il problema della non certezza nei rendimenti; per questo motivo, dagli anni 80-90, molti ricercatori e studiosi iniziarono ad interpretare la non certezza con altre teorie e approcci che includessero probabilità imprecise, possibilità e metodi intervallari; come la Prospect theory (Kahneman and Tversky 1979; Tversky and Kahneman 1992), la Possibility theory (Zadeh 1978, Georgescu 2009, 2012) e la Uncertainty theory (Liu 2002; Zhou et al. 2015).

Per quanto concerne invece i criteri per valutare le performance di un portafoglio, molti professionisti e accademici utilizzano la **varianza** come misura del rischio per risolvere il problema di selezione del portafoglio, nonostante sia evidente che presenti importanti limitazioni. La varianza è utilizzata per determinare lo scostamento dei rendimenti in entrambi i lati della distribuzione di probabilità rispetto alla media, cioè sia quando i rendimenti sono maggiori della media e sia quando i rendimenti ne sono minori; tuttavia questa misura ha un senso quando la distribuzione di probabilità è simmetrica, mentre non rappresenta una buona stima dello scostamento nel caso di distribuzioni asimmetriche (Chunhachinda, Dandapani, Hamid, & Prakash, 1997). È importante sottolineare inoltre che gli investitori sono maggiormente interessati ad un lato della distribuzione, ossia a minimizzare gli scostamenti negativi (le perdite) piuttosto che gli scostamenti positivi; per questo motivo furono proposte nuove **misure di rischio al ribasso** (downside risk measures) da Fishburn (1977), Morgan (1996), Markowitz (1959), Rockafellar e Speranza (1993) e Uryasev (2000), per considerare solamente le deviazioni negative. Tra queste, la **semivarianza** è probabilmente la misura di rischio al ribasso più popolare e appropriata in quanto, a confronto con la varianza, come sostenuto da Huang (2008) è diretta, chiara, e può facilmente riflettere l'intuizione degli investitori in merito al rischio, essendo maggiormente preoccupati a sotto performance piuttosto che sopra performance di portafoglio (Markovitz, Todd, Xu, & Yamane, 1993).

Infine, nel classico problema di selezione di portafoglio, i principali criteri decisionali utilizzati dagli investitori sono rendimento e rischio, tuttavia altri criteri possono generare un maggior livello di soddisfazione. Secondo Omidi, Abbasi e Nazemi (2017), quando si considerano altri criteri è possibile ottenere portafogli nei quali il minor

rendimento e il maggior rischio possono essere compensati con altri parametri che possono produrre maggiore soddisfazione agli investitori che cercano non solo di massimizzare il rendimento e minimizzare il rischio, ma considerano altre variabili importanti: per esempio, lo score ESG all'interno del modello è un ottimo indicatore per quel target di individui che sono particolarmente attenti alla tematica ambientale e socialmente sostenibile dei loro investimenti.

2.2 Possibility theory

“Tra gli approcci proposti in letteratura per affrontare i problemi di selezione del portafoglio, oltre ai metodi derivati dal ben noto modello di Markowitz, è interessante considerare la programmazione possibilistica in cui i tassi di rendimento, anziché essere descritti da variabili casuali, sono rappresentati da variabili possibilistiche. Diverso è in tal caso il significato dell'incertezza assegnato a tali variabili, che risulta caratterizzato da ambiguità piuttosto che da stocasticità.”⁴⁵.

La Possibility theory è stata introdotta da Lotfi Zadeh (1978) come un'estensione alla sua teoria degli insiemi e della logica fuzzy⁴⁶, e rappresenta una valida alternativa alla teoria delle probabilità per affrontare alcuni tipi di non certezza e trattare informazioni incomplete. Questo approccio è stato accettato gradualmente e impiegato con successo per gestire i casi in cui la distribuzione di **probabilità** degli eventi è **incerta** e **sconosciuta**, oppure si forma l'**incertezza dai pensieri umani**. Preferenze e incertezza si verificano infatti in molti problemi della vita reale e in questo contesto, la teoria delle possibilità è un modo non probabilistico per affrontare questo problema.

Negli ultimi anni tale teoria ha notevolmente cambiato il modo in cui questa ambiguità e imprecisione erano convenzionalmente considerate e ottenne un notevole sviluppo, consentendo di fornire una semantica graduale alle dichiarazioni del linguaggio naturale mediante un'integrazione con i numeri fuzzy e attraverso le distribuzioni di possibilità.

⁴⁵ Silvio Giove, Stefania Funari, Carla Nardelli: “Analisi intervallare per modelli di selezione del portafoglio”.

⁴⁶ Zadeh, L.A. Fuzzy sets. Inf. Control 1965, 8, 338–353.

La variabile fuzzy, o più comunemente noto come **numero fuzzy**, rappresenta la formalizzazione della capacità degli esseri umani di ragionare e prendere decisioni in un ambiente di incertezza, imprecisione, incompletezza delle informazioni e parzialità della conoscenza. In questo contesto, le variabili fuzzy consentono pertanto una maggiore aderenza dei modelli e dei problemi alla realtà. Nell'ambito della selezione del portafoglio pertanto è possibile utilizzare la logica fuzzy per rappresentare le preferenze degli investitori.

Sia S un insieme di stati delle cose (o descrizioni degli stessi) o spazio degli stati, una **distribuzione di possibilità** è definibile come una mappatura π da un insieme di stati delle cose S ad una scala totalmente ordinata L con estremo superiore 1 e inferiore 0, come l'intervallo unitario $[0,1]$. La funzione π rappresenta la **conoscenza di un agente** sullo stato attuale delle cose che distingue ciò che è plausibile da ciò che è meno plausibile, qual è il normale corso delle cose da ciò che non lo è oppure ciò che sorprende da ciò che ci si aspetta.

Mentre le distribuzioni di probabilità possono essere considerate come un elemento oggettivo, modellizzando le variabili fuzzy mediante distribuzioni possibilistiche, invece, è possibile introdurre elementi soggettivi nella misura, personalizzandola in base alla credenza e alla conoscenza soggettiva.

La distribuzione possibilistica rappresenta pertanto una “restrizione flessibile” su quale sia lo stato attuale delle cose, con le seguenti considerazioni:

- $\pi(s) = 0$, significa che lo stato s è ritenuto come impossibile;
- $\pi(s) = 1$, significa invece che lo stato s è totalmente possibile, plausibile, prevedibile o che non sorprende.

Se lo spazio degli stati S è esaustivo, almeno uno dei suoi elementi dovrebbe essere il mondo reale, in modo che almeno uno stato sia totalmente possibile, ossia $\exists s, \pi(s) = 1$ (normalizzazione). È bene evidenziare inoltre, che distinti valori possono avere **contemporaneamente** un grado di possibilità pari a 1.

Mediante l'utilizzo del framework possibilistico inoltre, è possibile catturare non solamente le forme estreme $\pi(s) = 0$ e $\pi(s) = 1$, ma consente di considerare anche **forme di conoscenza parziale**. Mentre la teoria della probabilità utilizza un singolo

numero, rappresentato dalla probabilità, per descrivere appunto la probabilità che si verifichi un evento o meno, la teoria delle possibilità utilizza due concetti, la misura di **possibilità** e quella di **necessità**.

Dato un insieme non vuoto $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$ che rappresenta lo spazio di campionamento, $P(\Theta)$ è l'insieme di potenza Θ che è l'insieme di tutti i sottoinsiemi di Θ . A ciascun evento A , è assegnato un numero $\text{Pos}\{A\}$ appartenente all'intervallo $[0,1]$ che indica il **grado di possibilità** che A si verifichi e rappresenta la misura di possibilità definita in Θ :

Per qualsiasi insieme di eventi in $P(\Theta)$, si ha:

$$\text{Pos}\{U_i A_i\} = \sup \text{Pos}\{A_i\} \quad (2.1)$$

che significa che il grado di possibilità di un insieme di eventi incerti è pari al **massimo** grado di possibilità tra tutti gli eventi incerti in quel dato insieme. Dall'altro lato, il **grado di necessità** $\text{Nec}\{A\}$ è anch'esso una misura di un evento fuzzy A , ed è definito come l'impossibilità dell'insieme complementare A^c , cioè:

$$\text{Nec}\{A\} = 1 - \text{Pos}\{A^c\} \quad (2.2)$$

Esempio 1: Per una semplice illustrazione delle definizioni (2.1) e (2.2), si considera un investimento A i cui risultati dopo un mese sono non certi, i cui valori possibili e i corrispondenti gradi di possibilità sono forniti nella Tabella 1.

Tabella 1 - Distribuzione di possibilità di un investimento incerto A

i	1	2	3	4	5
A_i	-100	-50	100	150	200
$\text{Pos}\{A_i\}$	0.5	0.7	1	0.6	0.2

L'insieme "l'investimento genererà profitti" è dato da $\{A_3, A_4, A_5\}$, e il suo grado di possibilità è uguale a $\text{Pos}\{A_3, A_4, A_5\}$. Secondo l'equazione (2.1), si ha che $\text{Pos}\{A_3, A_4, A_5\} = \sup_{i=3,4,5} \text{Pos}\{A_i\} = 1$.

In modo analogo, dall'equazione (2.2) si ha che il grado di necessità di un evento incerto “realizzare profitti” è dato da $Nec\{A_3, A_4, A_5\} = 1 - Pos\{A_1, A_2\} = 1 - \sup_{i=1,2} Pos\{A_i\} = 1 - 0.7 = 0.3$.

Sulla base della misura di possibilità è possibile fornire una definizione di **funzione di appartenenza** $\mu(x)$ che è utilizzata per rappresentare un numero fuzzy direttamente. Il valore $\mu(x)$ è definito, infatti, grado di appartenenza di x ad un dato insieme fuzzy.

Definizione 1: Sia ξ una variabile fuzzy che è definita sullo spazio di possibilità $(\Theta, P(\Theta), Pos)$, la sua funzione di appartenenza è derivata dalla misura di possibilità:

$$\mu(x) = Pos\{\theta \in \Theta \mid \xi(\theta) = x\}, \quad x \in \mathfrak{R} \quad (2.3)$$

dove \mathfrak{R} è l'insieme dei numeri reali. Un valore di 0 significa che x non è un membro (non appartiene) all'insieme fuzzy considerato, mentre il valore 1 indica che x è pienamente appartenente all'insieme fuzzy considerato. I valori compresi tra 0 e 1 indicano l'appartenenza parziale all'insieme fuzzy.

Con lo scopo di cercare una migliore sintesi della rappresentazione fuzzy dei dati storici, è necessaria una funzione di appartenenza più flessibile, come quella generata dai **numeri fuzzy L-R**. Di seguito, viene presentato il noto intervallo fuzzy L-R che è ampiamente utilizzato in applicazioni reali.

Definizione 2 (Dubois e Prade 2013): Una funzione di forma L (o in modo simile per R) è una funzione di $\mathfrak{R}^+ \rightarrow [0,1]$ tale che:

- (1) $L(0) = 1$;
- (2) $L(x) < 1, \forall x > 0$;
- (3) $L(x) > 0, \forall x < 1$;
- (4) $L(1) = 0$ [oppure $L(x) > 0, \forall x$ e $L(+\infty) = 0$];
- (5) $L(x)$ è decrescente nell'intervallo aperto $\{x \mid 0 < L(x) < 1\}$.

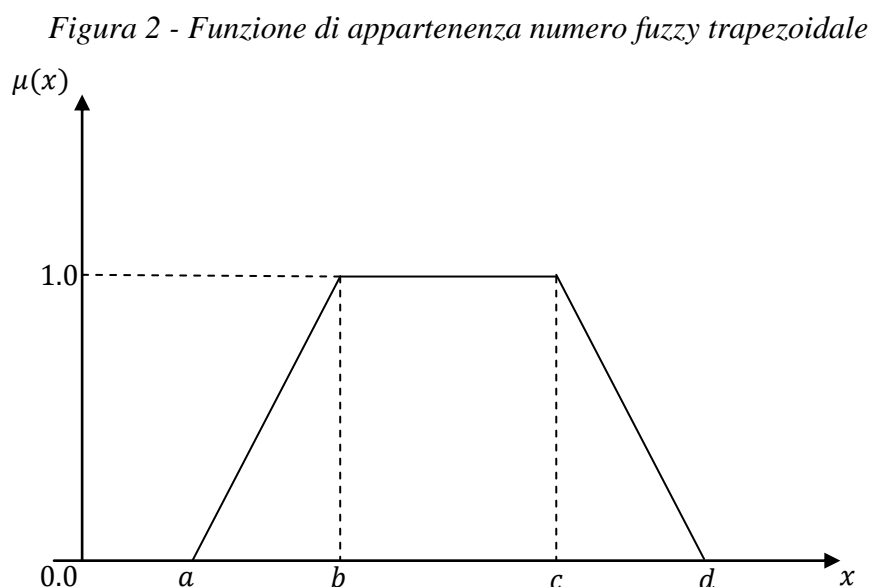
Definizione 3 (Dubois e Prade 2013): Un intervallo fuzzy \tilde{A} è di tipo L-R se esiste una funzione di forma L (per la sinistra), R (per la destra) e quattro parametri (a, b, c, d) , con funzione di appartenenza:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} L_p\left(\frac{b-x}{b-a}\right), & \text{se } a \leq x < b \\ 1, & \text{se } b \leq x \leq c \\ R_q\left(\frac{x-c}{d-c}\right), & \text{se } c < x \leq d \end{cases} \quad (2.4)$$

L'intervallo fuzzy è indicato da: $\tilde{A} = (a, b, c, d)_{LR}$, dove $(b-a)$ e $(d-c)$ sono noti come **spread sinistro** e **destro** di \tilde{A} mentre p e q , entrambi positivi, sono noti come **parametri di forma**. È possibile inoltre attribuire a tali parametri di forma i valori in base alle preferenze e alle credenze degli investitori e in base alla rappresentazione fuzzy prescelta. Seguendo Jalota et.al.⁴⁷, in questa tesi la forma sinistra e destra di un numero fuzzy L-R sono definite rispettivamente come $L_p(x) = 1 - x^L$ e $R_q(x) = 1 - x^R$.

Come già affermato in precedenza, un aspetto importante della modellizzazione fuzzy lo si riscontra nella selezione appropriata della funzione di appartenenza che si adatterà meglio ai dati storici. La letteratura è ben fornita di funzioni di appartenenza comuni, come lineari, triangolari e trapezoidali.

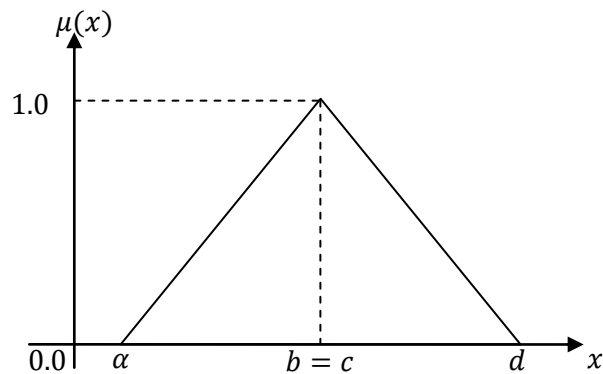
La Figura 2 illustra la funzione di appartenenza di un **numero fuzzy trapezoidale**.



⁴⁷ Jalota, H.; Thakur, M.; Mittal, G. Modelling and constructing membership function for uncertain portfolio parameters: A credibilistic framework. Expert Syst. Appl. 2017, 71, 40–56.

Nel caso in cui $b = c$, il **numero fuzzy** sarà **triangolare**, come raffigurato in Figura 3.

Figura 3 – Funzione di appartenenza numero fuzzy triangolare



2.2.1 Limiti all'uso

Con l'introduzione e lo sviluppo della teoria degli insiemi fuzzy e della possibilità, molti studiosi hanno cominciato ad utilizzare queste misure nel processo di selezione di portafoglio. Molti di questi lavori si sono concentrati nell'estendere il modello di selezione media-varianza di Markowitz sviluppando diversi modelli media varianza fuzzy, per esempio Watada (1997), Tanaka e Guo (1999), Tanaka et al. (2000), Arenas-Parra et al. (2001), Carlsson et al. (2002), Ida (2002), Leon et al. (2002), Zhang e Nie (2004), Bilbao-Terol et al. (2006), Lacagnina e Pecorella (2006), Zhang et al. (2007) e Gupta et al. (2008). In aggiunta, si menziona anche Vercher et al. (2007) che presentò una selezione di portafoglio fuzzy utilizzando come misura di rischiosità il rischio al ribasso⁴⁸, Tiryaki e Ahlatcioglu (2005) che svilupparono una metodologia fuzzy per la selezione dei titoli e Inuiguchi e Ramik (2000) che hanno rivisto i metodi di programmazione matematica fuzzy basati sulla misura della possibilità nell'applicazione del modello di selezione di portafoglio.

Come si nota dalla letteratura, la misura della possibilità è stata ampiamente utilizzata per i problemi di selezione, tuttavia ha un grande limite che riguarda il fatto di **non** essere **auto-duale** (self-dual). Si fornisce a tal proposito la definizione di una misura fuzzy auto-duale:

⁴⁸ Noto anche come downside risk, il rischio al ribasso è il rischio finanziario associato alle perdite, ossia il rischio che il rendimento effettivo sia inferiore al rendimento atteso.

Definizione 4: Una misura fuzzy μ è auto-duale se $\mu(A) + \mu(A^c) = 1$, per ogni evento di A .

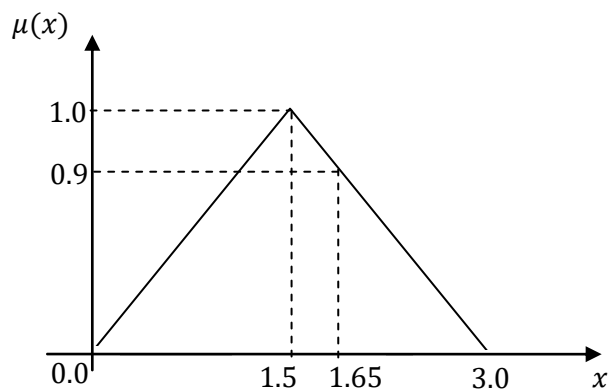
Adoperando tale misura che non rispetta la proprietà dell'auto-dualità (self-duality), è possibile trovare infatti che due eventi fuzzy caratterizzati da differenti possibilità che si verifichino possono avere lo stesso valore di possibilità (Gupta et.al 2013). Utilizzando questa misura, quando gli investitori conoscono il grado di possibilità di un portafoglio che raggiunge un rendimento target, non possono conoscere il grado di possibilità dell'evento opposto, ovvero l'evento che questo portafoglio non sia in grado di raggiungere il rendimento target.

In aggiunta, ogni volta che il valore di possibilità di un rendimento del portafoglio maggiore di un valore obiettivo è inferiore a 1, il valore di possibilità dell'evento opposto (ovvero il rendimento del portafoglio inferiore o uguale al valore obiettivo) è il valore massimo di 1. Dall'altra parte, ogni volta che il valore di possibilità di un rendimento di portafoglio inferiore o uguale ad un valore target è inferiore a 1, il valore di possibilità dell'evento opposto (ovvero il rendimento del portafoglio maggiore del valore target) è il massimo valore di 1. Ovviamente questi risultati sono piuttosto assurdi e possono decisamente confondere il decision maker.

Per meglio comprendere questo importante limite, si fornisce un esempio.

Esempio 2: Si ipotizza che i rendimenti di un portafoglio possano essere descritti da una variabile fuzzy triangolare $\xi = (0, 1.5, 3)$, come raffigurato in Figura 4. Quanto è alta la possibilità che si verifichi l'evento "il rendimento di portafoglio non sarà inferiore al valore di 1.5"?

Figura 4 - Funzione di appartenenza di un rendimento di portafoglio fuzzy



Utilizzando la misura di possibilità, può essere calcolato che l'evento per cui la variabile fuzzy assuma un valore maggiore o uguale a 1.5 è uguale a 1, ossia $\text{Pos}\{\xi \geq 1.5\} = 1$ che corrisponde al massimo valore di possibilità tra tutti gli eventi possibili. Questa considerazione sembra implicare che l'evento "il rendimento del portafoglio non sarà inferiore al valore 1.5" accadrà sicuramente. Tuttavia è ovvio che esiste il caso in cui l'evento non si avvererà, il che implica che quando si tratta il problema in oggetto, l'evento desiderato ($\xi \geq 1.5$) non si verificherà sicuramente anche quando il livello di confidenza è impostato su 1.

Inoltre, un altro caso irragionevole può essere ottenuto calcolando $\text{Pos}\{\xi \geq 1.65\} = 0.9$, mentre il grado di possibilità dell'evento opposto è pari al massimo grado degli eventi possibili, cioè $\text{Pos}\{\xi < 1.65\} = 1$. È plausibile affermare che questi risultati confonderanno sicuramente l'investitore su quale evento si verificherà con maggiore possibilità: l'evento che "il rendimento di portafoglio non sarà inferiore a 1,65" oppure l'evento opposto "il rendimento di portafoglio sarà inferiore a 1.65"?

La risposta a tale quesito è presentata nel successivo paragrafo.

2.3 Credibility Theory

La confusione generata dalla misura di possibilità deriva dalla sua caratteristica di non essere auto-duale. Per risolvere questo importante limite, B: Liu e Y.L. Liu (2002) proposero una misura di credibilità che, a differenza di quella possibilistica, è auto-duale.

Con riferimento alla definizione 4, vale pertanto la seguente condizione: $\text{Cr}\{A\} + \text{Cr}\{A^c\} = 1$, per qualsiasi evento A .

Con la misura di possibilità, un evento fuzzy con valore di possibilità 1 potrebbe ancora non verificarsi, mentre con la misura di credibilità l'evento fuzzy si verificherà sicuramente se il suo valore credibilistico è 1, in caso contrario non accadrà se il valore è 0 (Gupta, Mehlawat, Inuiguchi, & Chandra, 2014a). Ciò rende la misura di credibilità consistente con le valutazioni degli investitori, eliminando la confusione generata dalla misura di possibilità.

Considerando la erronea valutazione generata della misura di possibilità e di necessità di eventi incerti, Liu e Liu suggeriscono la loro **media** come soluzione più ragionevole (Liu & Liu, 2002) da attribuire alla misura di credibilità.

La tripletta (Θ, P, Cr) è definita come spazio di credibilità, dove Θ rappresenta un insieme non vuoto, P è l'insieme di potenza Θ e Cr è la **misura di credibilità**.

Definizione 5: Sia ξ una variabile fuzzy con funzione di appartenenza μ , per ogni insieme A di numeri reali, Liu e Liu definiscono la misura di credibilità di un evento incerto A come:

$$Cr\{\xi \in A\} = \frac{1}{2} (pos\{A\} + nec\{A\}) \quad (2.5)$$

Illustrata la misura di credibilità, è possibile definire la distribuzione di credibilità di una variabile fuzzy.

Definizione 6: La distribuzione di credibilità $\Phi : [-\infty, +\infty] \rightarrow [0,1]$ di una variabile fuzzy ξ è definita come:

$$\Phi(x) = Cr\{\theta \in \Theta \mid \xi(\theta) \leq x\}; \quad (2.6)$$

dove $\Phi(x)$ indica la credibilità che la variabile fuzzy ξ assuma un valore inferiore o uguale a x .

Per stabilire una connessione tra una variabile fuzzy e una misura di credibilità, entrambe definite nello spazio credibilistico (Θ, P, Cr) , è possibile vedere una variabile fuzzy ξ come una funzione da questo spazio credibilistico all'insieme dei numeri reali. Nella pratica, una variabile fuzzy è specificata dalla sua funzione di appartenenza che deriva dalla misura di credibilità come:

$$\mu(x) = \min\{2Cr\{\xi = x\}, 1\} \quad (2.7)$$

dove $x \in \mathcal{R}$. La funzione di appartenenza assume valore $\mu(x) = 0$ se x è un valore impossibile, mentre assume valore $\mu(x) = 1$ se x è il valore massimo possibile che ξ

può assumere. Utilizzando la funzione di appartenenza, è possibile calcolare la credibilità di un evento fuzzy mediante il teorema dell'inversione della credibilità:

Definizione 7 (Liu & Gao, 2007): Sia ξ una variabile fuzzy definita nello spazio di credibilità (Θ, P, Cr) con funzione di appartenenza μ , dal teorema dell'inversione della credibilità si ha che:

$$\Phi(x) = Cr\{\xi \leq r\} = \frac{1}{2} \left(\sup_{x \leq r} \mu(x) + 1 - \sup_{x > r} \mu(x) \right) \quad \forall r \in \mathfrak{R} \quad (2.8)$$

Mediante l'equazione (2.8) è possibile interpretare la credibilità in termini delle misure di possibilità e necessità, come definite rispettivamente dalle equazioni (2.1) e (2.2):

$$Cr\{A\} = \frac{Pos(A) + Nec(A)}{2} \quad (2.9)$$

Dall'equazione (2.8) e dalla definizione 6, è possibile notare come la distribuzione di credibilità di una variabile fuzzy sia non-decrescente in \mathfrak{R} con $\Phi(-\infty) = 0$ e $\Phi(+\infty) = 1$, pertanto i valori che la distribuzione può assumere appartengono all'intervallo $[0,1]$ (Liu, 2004). È agevole verificare a questo punto che la misura di credibilità è auto-duale, come affermato precedentemente.

Riprendendo l'Esempio 2, si verifica che utilizzando la misura di credibilità si supera il limite che generava confusione per gli investitori. Infatti, si può calcolare che $Cr\{\xi \geq 1.5\} = 0.5$ a differenza del risultato di 1 ottenuto utilizzando la misura di possibilità; il che significa che c'è solamente metà chance che il rendimento di portafoglio non sarà inferiore a 1.5. In aggiunta, secondo l'equazione (2.8), la $Cr\{\xi \geq 1.65\} = 0.45$ mentre la $Cr\{\xi < 1.65\} = 0.55$, ciò significa che l'evento "il rendimento di portafoglio è inferiore di 1.65" ha maggiore possibilità che si verifichi rispetto all'evento opposto "il rendimento di portafoglio è maggiore di 1.65". Per questo motivo, in questa tesi si adotta la credibilità come misura di un evento fuzzy e sarà applicata alla selezione di portafoglio fuzzy.

È possibile infatti affermare che la distribuzione di credibilità svolge un ruolo chiave nello studio di variabili fuzzy proprio come la distribuzione di probabilità per le variabili casuali.

Utilizzando la nozione di misura di credibilità e quella di numero fuzzy L-R, contenuta nell'equazione (2.4), è possibile derivare la misura di credibilità di un numero fuzzy L-R, come segue:

Caso 1 – Se $d \leq x$, si ha che:

$$Cr\{\xi \leq x\} = \frac{1}{2}(1 + 1 - 0) = 1$$

Caso 2 – Se $c \leq x < d$, si ha che:

$$Cr\{\xi \leq x\} = \frac{1}{2}\left(1 + 1 - \left(1 - \left(\frac{x-c}{d-c}\right)^R\right)\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \left(\frac{x-c}{d-c}\right)^R\right)$$

Caso 3 – Se $b \leq x < c$, si ha che:

$$Cr\{\xi \leq x\} = \frac{1}{2}(1 + 1 - 1) = \frac{1}{2}$$

Caso 4 – Se $a \leq x < b$, si ha che:

$$Cr\{\xi \leq x\} = \frac{1}{2}\left(\left(1 - \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^L\right) + 1 - 1\right) = \frac{1}{2}\left(1 - \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^L\right)$$

Caso 5 – Se $x < a$, si ha che:

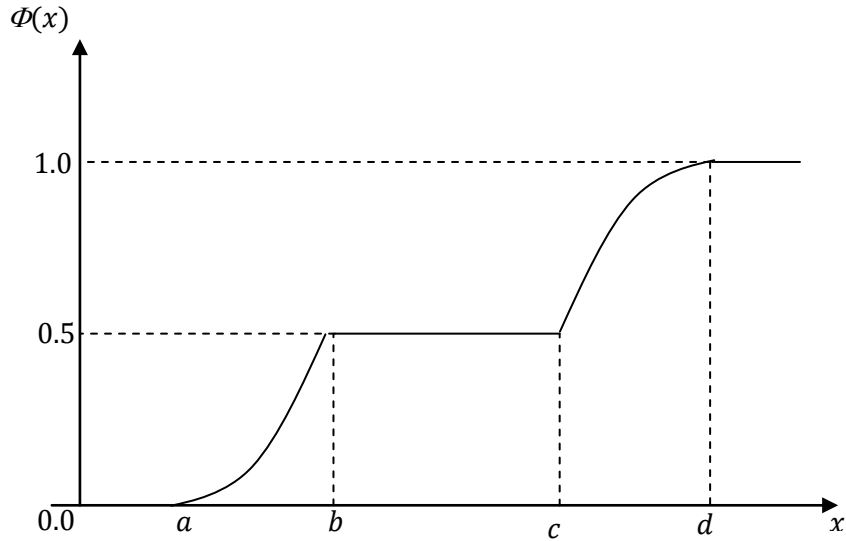
$$Cr\{\xi \leq x\} = \frac{1}{2}(0 + 1 - 1) = 0$$

Riassumendo si ha che:

$$Cr\{\xi \leq x\} = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{1}{2}\left(1 - \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^L\right), & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{1}{2}, & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{1}{2}\left(1 + \left(\frac{x-c}{d-c}\right)^R\right), & \text{se } c < x < d \\ 1, & \text{se } d \leq x \end{cases}$$

È possibile fornire la rappresentazione della distribuzione di credibilità di un numero fuzzy trapezoidale tramite la Figura 5.

Figura 5 – Distribuzione di credibilità di un numero fuzzy trapezoidale



In aggiunta, si ha che $Cr\{\xi > x\} = 1 - Cr\{\xi \leq x\}$; per cui:

$$Cr\{\xi > x\} = \begin{cases} 1, & \text{se } x \leq a \\ \frac{1}{2} \left(1 + \left(\frac{b-x}{b-a} \right)^L \right), & \text{se } a < x < b \\ \frac{1}{2}, & \text{se } b \leq x < c \\ \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{x-c}{d-c} \right)^R \right), & \text{se } c < x < d \\ 0, & \text{se } d \leq x \end{cases}$$

Illustrata la misura di credibilità di un numero fuzzy L-R, si introduce un'ulteriore specificazione della variabile fuzzy che sarà utile ai fini della rappresentazione del punteggio ESG, presentato nel terzo capitolo di questa tesi.

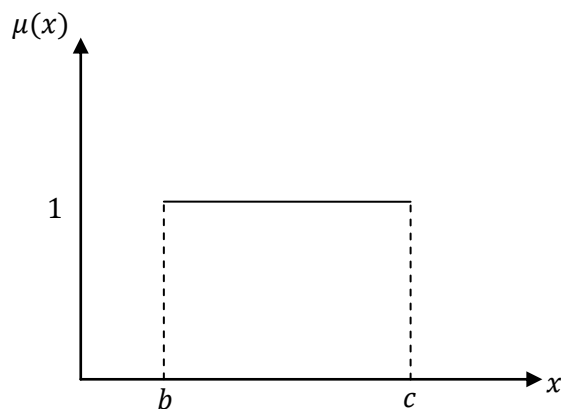
Definizione 8: Una variabile fuzzy ξ è definita come variabile fuzzy equipossibile se la sua funzione di appartenenza μ è data da:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{Altrimenti} \end{cases} \quad (2.10)$$

dove $b < c$.

La Figura 6 illustra la funzione di appartenenza di un numero fuzzy equipossibile, come definito dall'equazione (2.10) .

Figura 6 – Funzione di appartenenza di una variabile fuzzy equipossibile



2.3.1 Valore atteso

In questa sezione, si fornisce una forma equivalente di valore atteso per numeri fuzzy L-R regolari utilizzando la distribuzione di credibilità inversa. Prima di introdurre il valore atteso credibilistico pertanto, si fornisce la nozione di distribuzione di credibilità inversa.

Definizione 9 (Zhou & Zhao, 2016): sia $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$ un intervallo fuzzy LR con distribuzione di credibilità Φ , la funzione inversa Φ^{-1} con $\Phi^{-1}(0.5) = a$ è chiamata distribuzione di credibilità inversa di ξ .

Si noti che la distribuzione di credibilità inversa Φ^{-1} è definita nell'intervallo $(0,1)$. Se è richiesto, è possibile estendere inoltre il suo dominio mediante la seguente espansione:

$$\Phi^{-1}(0) = \lim_{\alpha \downarrow 0} \Phi^{-1}(\alpha) \text{ e } \Phi^{-1}(1) = \lim_{\alpha \uparrow 1} \Phi^{-1}(\alpha) \quad (2.11)$$

Il valore atteso, che rappresenta il valore medio di una variabile fuzzy, è definito in diversi modi. Per esempio, Dubois & Prade⁴⁹, Heilpern⁵⁰, Yager⁵¹ forniscono differenti

⁴⁹ D. Dubois and P. Prade, The mean value of a fuzzy number, *Fuzzy Sets and Systems* 24(3) (1987), 279–300.

⁵⁰ S. Heilpern, The expected value of a fuzzy number, *Fuzzy Sets and Systems* 47(1) (1992), 81–86.

⁵¹ R. Yager, A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval, *Information Sciences* 24(2) (1981), 143–161.

definizioni; tuttavia nel 2002 Liu e Liu⁵² introdussero una definizione generale di valore atteso per variabili fuzzy sulla base della loro misura di credibilità.

Definizione 10 (Liu & Liu, 2002): Sia ξ una variabile fuzzy, il valore atteso di ξ è definito come la differenza tra due integrali:

$$E[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{\xi \geq x\}dx - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq x\}dx \quad (2.12)$$

di cui almeno uno dei due integrali è finito.

Se ξ è un intervallo fuzzy L-R con distribuzione di credibilità Φ , l'Equazione (2.12) è equivalente a

$$E[\xi] = \int_0^1 \Phi^{-1}(\alpha) d\alpha \quad (2.13)$$

dove $\Phi^{-1}(\alpha)$ è la distribuzione di credibilità inversa di ξ .

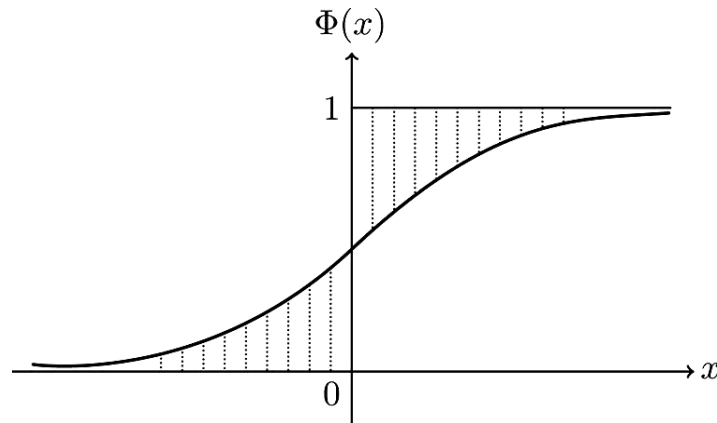
È possibile derivare l'equazione (2.13) tramite la sua derivazione direttamente dalla definizione di operatore valore atteso e dalla distribuzione di credibilità:

$$\begin{aligned} E[\xi] &= \int_0^{+\infty} Cr\{\xi \geq x\}dx - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq x\}dx \\ &= \int_0^{+\infty} (1 - \Phi(x))dx - \int_{-\infty}^0 \Phi(x)dx \\ &= \int_{\Phi(0)}^1 \Phi^{-1}(\alpha)d\alpha - \int_0^{\Phi(0)} \Phi^{-1}(\alpha)d\alpha \\ &= \int_0^1 \Phi^{-1}(\alpha) d\alpha \end{aligned} \quad (2.14)$$

Sulla base di questo risultato, sintetizzato dall'equazione (2.14), è possibile affermare che il valore atteso $E[\xi]$ è solamente l'area compresa tra la retta $\emptyset(x) = 0$ e $\emptyset(x) = 1$ e la curva della distribuzione inversa di credibilità, così come illustrato nella Figura 7.

⁵² B. Liu and Y. Liu, Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models, IEEE Transactions on Fuzzy Systems 10(4) (2002), 445–450.

Figura 7 – Interpretazione geometrica del valore atteso per numero fuzzy LR regolare



La derivazione del valore atteso credibilistico di una variabile fuzzy di potenza L-R, $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$, direttamente a partire dall'equazione (2.12), è presente in appendice A.

Il risultato è il seguente:

$$E[\xi] = \frac{1}{2} \left[b + c + \frac{(d - c)R}{(R + 1)} - \frac{(b - a)L}{(L + 1)} \right] \quad (2.15)$$

2.3.2 Misura di rischio

Molti studi in ambito credibilistico utilizzano la varianza come misura del rischio di portafoglio nonostante le sue proprietà indesiderabili come la mancanza di coerenza con il pensiero degli investitori, in quanto nelle decisioni della vita reale gli investitori sono maggiormente sensibili alle perdite al ribasso che ai guadagni, e la varianza non riflette le loro preoccupazioni riguardo a sotto performance di portafoglio. Pertanto, la semivarianza è utilizzata con maggiore ricorrenza come misura di dispersione di tutte le osservazioni al di sotto del valore medio, in coerenza con l'avversione al rischio al ribasso degli investitori. Di seguito si fornisce la definizione di semivarianza.

Definizione 11: Sia ξ una variabile con valore atteso finito $e = E[\xi]$, la semivarianza di ξ è definita da B. Liu e Y. K. Liu (2002) come:

$$SV[\xi] = E[(\xi - e)^-]^2 \quad (2.16)$$

dove:

$$[\xi - e]^- = \begin{cases} \xi - e, & \text{se } \xi \leq e \\ 0, & \text{se } \xi > e \end{cases}$$

L'equazione equivalente per il valore della semivarianza basata sulla misura di credibilità di un numero fuzzy L-R $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$ è derivata da Jalota et al., 2017b, presente in appendice A. Di seguito, mediante l'equazione (2.17) si riporta la misura della semivarianza di un numero fuzzy trapezoidale L-R:

$$SV[\xi] = \begin{cases} \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)} + \frac{(e-c)^{R+2}}{(d-c)^R(R+1)(R+2)}, & \text{se } c < e \leq d \\ \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} - \frac{(b-e)^{L+2}}{(b-a)^L(L+1)(L+2)} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } a < e \leq b \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (2.17)$$

In alternativa alla semivarianza, per risolvere le limitazioni indotte dalla varianza, vi è un'ulteriore misura di rischio al ribasso, la semi-deviazione assoluta dalla media.

Definizione 12: Sia ξ una variabile con valore atteso finito $e = E[\xi]$, la sua semi-deviazione assoluta al di sotto della media è definita come:

$$MASd(\xi) = E[(\xi - e)^-] \quad (2.18)$$

dove:

$$[(\xi - e)^-] = \begin{cases} e - \xi, & \text{se } \xi \leq e \\ 0, & \text{se } \xi > e \end{cases}$$

L'equazione equivalente per il valore della semi-deviazione assoluta dalla media, basata sulla misura di credibilità, di un numero fuzzy trapezoidale L-R $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$ è definita mediante l'equazione (2.19):

$$\text{MASd}[\xi] = \begin{cases} \frac{1}{2}(e - a) - \frac{1}{2} \frac{b-a}{L+1} \left(1 - \left(\frac{b-e}{b-a} \right)^{L+1} \right), & \text{se } a < e \leq b \\ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \left(c - b + \frac{(d-c)R}{(R+1)} - \frac{(b-a)L}{(L+1)} \right) \right), & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{1}{2}(d - e) - \frac{1}{2} \frac{d-c}{R+1} \left(1 - \left(\frac{e-c}{d-c} \right)^{R+1} \right), & \text{se } c < e \leq d \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (2.19)$$

Capitolo III

Il modello di selezione di portafoglio socialmente responsabile

3.1 Review della letteratura esistente

Questo capitolo presenta il modello matematico dell'investimento mediante un portafoglio socialmente responsabile; tuttavia prima della presentazione, si procede con una review degli studi esistenti. Una ricca letteratura cerca di includere criteri non finanziari per l'integrazione degli aspetti ESG nel problema di selezione di portafoglio.

Hallerbach et al. (2004), per esempio, propongono un framework per la gestione di un portafoglio di investimenti socialmente responsabili in cui le opportunità di investimento sono descritte in termini di un insieme di caratteristiche e attributi SRI che consentono di esprimere e misurare l'impatto di un'impresa sulla società. Date le descrizioni multi-attributo delle singole opportunità di investimento, gli autori mostrano come queste possono essere combinate, utilizzando strumenti decisionali multi criteriali, in portafogli con gli stessi attributi a livello aggregato di portafoglio. Per esempio si potrebbe iniziare con un elenco di impatti ambientali di un'azienda e combinarli in un attributo aggregato che rappresenta l'impatto ambientale complessivo dell'azienda. Successivamente, l'impatto aziendale di un portafoglio di singoli titoli può essere definito come una media ponderata degli impatti delle singole imprese, in cui i pesi sono le frazioni del portafoglio investito in ciascuno dei singoli titoli. Dopo di che, il framework proposto supporta il gestore di portafoglio nel trovare un equilibrio tra le diverse caratteristiche a livello di portafoglio mediante formulazione di un modello multi attributo.

Steuer et al. (2007), estendono il classico approccio di portafoglio, in cui si massimizza il rendimento atteso, aggiungendo ulteriori criteri come liquidità, dividendi, numero di titoli in portafoglio, responsabilità sociale e così via. In questo approccio viene valutato l'adeguatezza di ciascun criterio mediante un'analisi di sensibilità della frontiera efficiente.

Bilbao-Terol et al. (2012), sviluppano dei modelli di selezione di portafoglio per fondi comuni di investimento britannici convenzionali e socialmente responsabili, in base alle preferenze dell'investitore. Le informazioni incomplete sui parametri, inoltre, vengono modellizzate mediante numeri fuzzy che sono coerenti con le credenze del decisore sulle performance dell'asset. Gli autori affrontano la natura multidimensionale del problema utilizzando una tecnica MCDM (Multiple Criteria Decision Making), denominata Goal Programming (GP).

Ballestero et al. (2012), trattano nel loro lavoro un modello di selezione di portafoglio per investitori interessati alle politiche etiche. Nel set di opportunità ci sono beni etici e altri beni che non sono caratterizzati come etici, pertanto vengono considerati due obiettivi, il tradizionale obiettivo finanziario nella classica teoria dell'utilità attesa in condizioni di rischio e un obiettivo etico nello stesso framework di utilità attesa. Inoltre viene proposto un nuovo modello bi-criterio finanziario-etico con obiettivi e coefficienti di avversione al rischio differenti a seconda del profilo etico dell'investitore.

Utz et al. (2014), propongono invece un framework per l'ottimizzazione di un modello di portafoglio alla Markowitz che viene esteso per includere un terzo criterio rappresentato dallo score ESG. Il modello proposto viene applicato a fondi comuni di investimento socialmente responsabili.

Calvo et al (2016), presentano un modello fuzzy multi criterio per la selezione di portafogli, tenendo in considerazione un obiettivo secondario fuzzy non finanziario per consentire all'analista di offrire all'investitore non solamente le soluzioni finanziariamente ottime, ma anche alcune soluzioni alternative. Questo lavoro consiste in un metodo a due step: nel primo step si ottengono le soluzioni finanziarie efficienti in termini di rischio e rendimento, mentre nel secondo step viene preso in considerazione l'obiettivo secondario non finanziario e vengono offerte nuove soluzioni all'investitore. Questo metodo in due fasi garantisce che nessuna soluzione potenzialmente interessante dal punto di vista finanziario venga scartata a seguito dell'introduzione di vincoli non finanziari nella formulazione del modello.

Li et al. (2018) esaminano le reazioni del mercato azionario alle performance sociali aziendali mediante un approccio econometrico applicato ad un portafoglio ESG ponderato in base all'elenco delle 100 migliori società CSR nel mondo. A differenza di

altri documenti che testano l'efficienza del mercato attraverso lo studio degli annunci sugli utili e dei rendimenti anormali a breve termine, questo documento verifica l'efficienza del mercato da una prospettiva diversa, considerando il rendimento anormale di breve termine come una valutazione errata del prezzo che viene gradualmente corretta dal mercato. Tali rendimenti anormali diminuiscono con il passare del tempo in quanto il mercato, anche inizialmente inefficiente nell'elaborazione di informazioni non finanziarie come il CRS, apprende gradualmente il valore della performance sociale delle aziende.

Gasser et al. (2017) rivisitano la teoria di selezione di portafoglio di Markowitz e propongono una modifica, permettendo di incorporare non solo il rischio e il rendimento specifico di ciascun asset ma anche una misura della responsabilità sociale nel processo decisionale di investimento.

La maggior parte degli studi di selezione di portafogli socialmente responsabili sopramenzionati tuttavia, si concentrano sui fondi comuni di investimento anziché su asset considerati individualmente. La letteratura rivista fino ad ora indica che ci sono solo pochi studi di modelli di ottimizzazione di portafogli socialmente responsabili che si basano su asset individuali. Ciò nonostante, per gli investitori e per i gestori di portafogli è importante che esistano questo tipo di studi, in maniera tale da aiutarli a scegliere l'approccio più affidabile per prendere decisioni relative agli investimenti in questo tema.

Uno studio molto importante in materia, che sarà esteso in questa tesi, è quello di Garcia et al. (2019), che propongono un approccio multicriteriale fuzzy per la selezione di portafogli socialmente responsabili. Questo modello, per valutare un evento fuzzy, fa riferimento alla misura di credibilità di Liu & Liu per sfruttare la sua importante proprietà dell'auto-dualità, come descritto nel capitolo precedente. Molti ricercatori hanno adoperato le distribuzioni di credibilità per approssimare la non certezza nei rendimenti, tuttavia questo lavoro, che è il più recente, è l'unico che utilizza un approccio credibilistico per la selezione di portafoglio socialmente responsabile. In modo particolare, sia il rendimento che la performance ESG sono considerate come variabili fuzzy di tipo L-R i cui momenti sono valutati mediante utilizzo di distribuzioni di credibilità.

Molti degli studi in materia di teoria della credibilità utilizzano la varianza come misura di rischiosità nonostante i suoi limiti, pertanto gli autori utilizzano la semi-deviazione assoluta dalla media come misura di rischio al ribasso. Per l'ottimizzazione di questo modello multi obiettivo vincolato, viene utilizzato un algoritmo di risoluzione definito NSGA-II⁵³, i cui step procedurali sono descritti in Deb et al. (2002)⁵⁴.

Questa tesi propone una variante di tale modello, procedendo ad una trasformazione degli obiettivi da ottimizzare che non saranno più trattati singolarmente all'interno di un sistema multi obiettivo, bensì in modo aggregato all'interno di un'unica funzione obiettivo che sarà ottimizzata mediante utilizzo della Particle Swarm Optimization (PSO).

3.2 Funzioni obiettivo

Prima di entrare nel merito delle funzioni obiettivo da ottimizzare, si procede ad una breve descrizione dei parametri e delle variabili decisionali utilizzate nel modello matematico:

- ξ_{ri} : è il tasso di rendimento fuzzy dell'asset i-esimo espresso come numero fuzzy trapezoidale L-R, cioè $\xi_{ri} = (a_{ri}, b_{ri}, c_{ri}, d_{ri})_{L_i R_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$;
- ξ_{ESG} : è il punteggio ESG dell'asset i-esimo espresso come numero fuzzy intervallare equi possibile, cioè $\xi_{ESG_i} = (b_{ESG_i}, c_{ESG_i})$, $i = 1, 2, \dots, n$;
- ξ_{rp} : è il tasso di rendimento di portafoglio, cioè $\xi_{rp} = (a_{rp}, b_{rp}, c_{rp}, d_{rp})_{L_{pi} R_p}$;
- e : rendimento atteso di portafoglio;
- u_i : porzione massima investibile in un asset i-esimo;
- l_i : porzione minima investibile in un asset i-esimo;

⁵³ Il Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II, più comunemente noto come NSGA II, è un algoritmo evolutivo che ha le seguenti tre caratteristiche speciali: utilizza un principio elitario, ovvero alla élite di una popolazione viene data l'opportunità di essere trasportato alla generazione successiva, utilizza un meccanismo esplicito di conservazione della diversità (crowding distance) e illustra anche le soluzioni non dominate.

⁵⁴ Deb, K.; Agrawal, K.; Pratap, A.; Meyarivan, T. A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II. IEEE Trans. Evol. Comput. 2002, 6, 182–197.

- k : numero di asset compresi in portafoglio;
- ω_i : la porzione investita in ogni asset i -esimo.

Gli obiettivi del modello proposto sono tre:

- **Rendimento atteso**: come nei modelli di portafoglio tradizionali, l'obiettivo principale è rappresentato dal valore atteso dei rendimenti degli asset. Talvolta viene inserito all'interno della funzione obiettivo come parametro da ottimizzare, mentre nella maggioranza degli altri casi viene inserito all'interno del sistema dei vincoli come rendimento target a cui il portafoglio ambisce a raggiungere. Nel modello matematico proposto in questa tesi, il rendimento rappresenta una funzione obiettivo da massimizzare, e non sarà inserito come un parametro target all'interno del sistema dei vincoli di portafoglio.
- **ESG score**: il punteggio ESG rappresenta un'importante caratteristica in questo modello in quanto la sua rilevanza è di certo non inferiore rispetto al rendimento atteso degli asset. Questa componente non è considerata come un vincolo all'interno del problema, bensì come una variabile da ottimizzare. Infatti, è responsabile nel rendere il portafoglio socialmente e ambientalmente sostenibile, in quanto verranno selezionati quei portafogli che massimizzano il punteggio ESG accanto agli altri obiettivi principali.
- **Rischio**: La misura di rischio, a differenza dei primi due, è un obiettivo che deve essere minimizzato in quanto a parità di prestazioni finanziarie (rendimento atteso) e socialmente responsabili (punteggio ESG), il portafoglio migliore è quello che minimizza la rischiosità dell'investimento di portafoglio.

Nei successivi paragrafi saranno analizzate ciascuna delle tre funzioni obiettivo introdotte.

3.2.1 Rendimento atteso

La caratteristica più saliente del rendimento degli asset è la **non certezza**, che qualche volta è alta mentre altre volte è bassa; a volte è positiva e qualche volta

potrebbe essere negativa. Perciò non è possibile utilizzare un numero per descrivere e modellizzare l'incertezza sui rendimenti, bensì è ragionevole utilizzare una variabile. La variabile casuale è stata la prima ad essere utilizzata per descrivere il rendimento di un'attività e ancora oggi è ampiamente adoperata. Quando gli investitori affermano che il rendimento di un titolo A sarà 0.08 con probabilità 25%, 0.10 con probabilità 50% e 0.12 con probabilità del 15%, stanno utilizzando una variabile casuale per descrivere i rendimenti dei titoli. Come per il lancio dei dati, gli investitori ritengono che questi tre risultati, ossia che il rendimento sarà 0.08 o 0.10 o 0.12, appariranno casualmente e che le rispettive possibilità di accadimento saranno 25%, 50% e 15%. Normalmente il rendimento atteso di portafoglio, utilizzando la probabilità, è determinato a partire dal valore atteso di una variabile casuale. Utilizzando quindi una variabile casuale, deve essere soddisfatta un'assunzione che i dati storici dei rendimenti dei titoli siano in grado di riflettere i rendimenti futuri. Tuttavia, questo presupposto può non essere soddisfatto.

Quando si valuta un rendimento di un titolo, l'investitore dovrebbe tenere in considerazione tre tipi di fattori, cioè il fattore economico generale, il fattore di settore e il fattore specifico della società⁵⁵. Il primo è inerente alle politiche e a tutti gli eventi che influenzano, in maniera diretta e indiretta, la crescita macro economica. Tra queste, vi è la politica fiscale, quella monetaria, l'inflazione, la svalutazione monetaria internazionale, gli eventi politici nel paese e altro ancora. Il fattore di settore fa riferimento a quelle misure che influenzano un settore a prosperare o soffrire nel lungo periodo o nel breve; come per esempio quote o tasse di importazione/esportazione, eccesso di offerta o carenza di una risorsa oppure regolamentazioni imposte dal governo su un determinato settore. In ultima analisi, il fattore specifico della società si riferisce a performance passate e alle prospettive future del suo titolo che è quotato nel mercato.

In aggiunta, il mercato dei titoli è molto sensibile anche ad altri fattori non economici, come per esempio il successo di un'invenzione, un incidente o una dichiarazione, possono influire in modo importante.

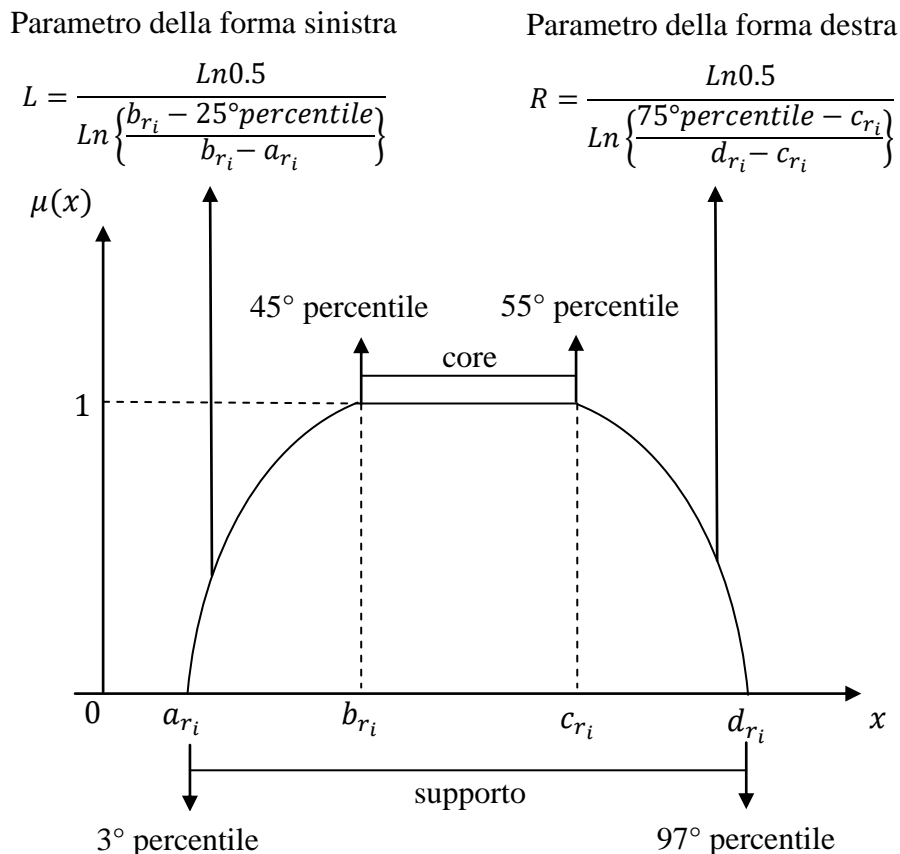
Nessuno di questi fattori influenza il rendimento del titolo in maniera casuale, bensì incidono attraverso la **psicologia** e il **pensiero delle persone**. È chiaro che l'incertezza sui rendimenti permane anche quando tutti i fattori che incidono sono noti. Riassumendo, il **fattore umano** contribuisce in maniera significativa alla non certezza

⁵⁵ Reilly, F.K., Norton, E.A.: Investments, (1999), 5th edn. Thomson Learning, New York.

nei rendimenti dei titoli perciò, in molte situazioni, gli investitori potrebbero pensare che i dati storici non riflettano in maniera corretta i rendimenti futuri. La soluzione proposta a tali dubbi sarebbe quella di rivolgersi ad un esperto e alla sua conoscenza ed esperienza personale per svolgere le valutazioni sui rendimenti futuri dei titoli.

In questo caso, la previsione è solitamente espressa in **forma fuzzy** in quanto la soggettività della valutazione del rendimento è di sfocatura attorno ad un determinato valore piuttosto che di casualità; in altri termini si ricorre all'espressione "il tasso di rendimento del titolo A è circa 0.12" piuttosto dell'affermazione "sarà con una certa probabilità 0.12". In questa situazione, il rendimento è considerato un numero fuzzy L-R trapezoidale per riflettere la sfocatura attorno all'incertezza del tasso di ritorno. Il core, il supporto e i parametri di forma del rendimento fuzzy di ogni asset possono essere determinati in differenti modi. In questa tesi, sono ottenuti a partire dai percentili empirici dei rendimenti storici (Vercher & Bermúdez, 2012, 2013, 2015), come in Figura 8. Un altro modo per ottenere i valori dei parametri menzionati proviene dall'esperienza di investitori professionali.

Figura 8 – Parametri della funzione di appartenenza di una variabile fuzzy utilizzando i percentili del campione dei rendimenti di ogni asset.



Una volta modellizzati i rendimenti di ciascuna società come numeri fuzzy L-R trapezoidali, è possibile procedere alla stima del rendimento atteso basato sulla misura di credibilità, utilizzando l'equazione (2.15).

La massimizzazione del **rendimento atteso di portafoglio**, espresso tramite l'equazione (3.1), è definita come somma ponderata dei rendimenti attesi di ciascun titolo, dove i pesi di portafoglio rappresentano l'incognita del modello:

$$MaxR_p = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \left[b_{ri} + c_{ri} + \frac{(d_{ri} - c_{ri})R}{(R + 1)} - \frac{(b_{ri} - a_{ri})L}{(L + 1)} \right] \omega_i \right] \quad (3.1)$$

3.2.2 Punteggio ESG

Negli ultimi anni, i gestori di portafoglio stanno incorporando i criteri ESG nella creazione di portafoglio. Attualmente ci sono numerosi istituti di rating specializzati che valutano e analizzano le pratiche commerciali, ambientali, sociali e di governance delle società in tutto il mondo. Alcuni tra i più importanti punteggi di valutazione ESG sono il Bloomberg ESG Disclosure Score, il Thomson Reuters ESG score, the MSCI ESG score e il Vigeo-Eiris ESG Score. In pratica, ciascuna agenzia di rating adopera le proprie metodologie di misurazione e i propri criteri di performance sociale, che sono caratterizzati da incertezza, vaghezza e imprecisione.

La maggior parte degli asset, inoltre, non ha disponibilità di dati storici in quanto il punteggio ESG è un dato piuttosto recente dell'ultimo decennio derivante dalla maggiore consapevolezza da parte delle imprese dell'importanza di implementare queste pratiche sostenibili. Per tale motivo, è difficile poter effettuare delle stime accurate e precise sulle prestazioni sostenibili e socialmente responsabili future attese, a causa della mancanza di dati.

Tenendo in considerazione queste motivazioni, è possibile considerare lo score ESG non come un numero crisp, ma come un intervallo di variazione entro il quale tale punteggio può variare per meglio incorporare l'incertezza; pertanto può essere

opportunamente modellato come una variabile fuzzy intervallare equi possibile, secondo quanto descritto dalla definizione 8.

Il numero intervallare equi possibile è una classe speciale di numeri fuzzy e un potente strumento per gestire l'incertezza, soprattutto quando non ci sono dati sufficienti per ottenere una densità di probabilità valida. Gli investitori in questo caso possono utilizzare i rapporti finanziari di una società e i dati storici disponibili, seppur limitati, per determinare l'intervallo di variazione del punteggio ESG.

Data la disponibilità limitata di dati relativi a questo indice per la maggior parte delle imprese, per determinare il range intervallare di ogni asset, su cui poi sarà costruito il valore atteso, si è tenuto conto della tendenza nei dati storici. Se i dati più recenti di un determinato asset sono aumentati è possibile credere e ritenere che il valore atteso futuro del punteggio ESG sarà superiore rispetto alla mera media aritmetica dei dati storici. D'altro canto, se i dati recenti mostrano una diminuzione della performance ESG in tale caso si assume che il valore atteso di tali dati sarà inferiore rispetto alla media aritmetica puramente basata sui dati storici. Solo mediante modellizzazione fuzzy intervallare è possibile incorporare queste aspettative future, aspettative che inoltre possono essere validate e integrate con un'analisi economica del settore di appartenenza dell'impresa in oggetto, per verificare se le prospettive future possano confermare le aspettative. Non solo il settore può essere analizzato, ma anche i report finanziari delle società sulle politiche future. Sulla base di queste considerazioni, come anticipato precedentemente, è possibile derivare il limite inferiore $b_{i_{ESG}}$ e il limite superiore $c_{i_{ESG}}$.

Considerando il punteggio ESG come una variabile fuzzy equi possibile intervallare $\xi_{ESG} = [b_i, c_i]$, è possibile procedere nella determinazione del punteggio ESG atteso, espresso mediante l'equazione (3.2)

$$E[\xi_{ESGi}] = \frac{1}{2} [b_{ri} + c_{ri}] \quad (3.2)$$

Una volta determinato il punteggio ESG atteso per ciascun asset, è possibile determinare lo score ESG atteso di portafoglio utilizzando la misura di credibilità, come espresso dall'equazione (3.3). In questo caso, il punteggio di portafoglio è definito come somma ponderata degli score attesi di ciascun titolo, dove i pesi di portafoglio rappresentano l'incognita del modello:

$$MaxESG_p = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} [b_{ri} + c_{ri}] \omega_i \right] \quad (3.3)$$

3.2.3 Misura di rischio

Sulla base del valore atteso dei rendimenti credibilistico, è possibile determinare la misura credibilistica di rischiosità del portafoglio. Da quando Markowitz pubblicò il suo lavoro⁵⁶ pionieristico, la metodologia basata sulla media e varianza per la selezione del portafoglio è servita come base per lo sviluppo della moderna teoria finanziaria degli ultimi cinquant'anni. Tuttavia, l'utilizzo della varianza all'interno del modello di selezione risulta "debole", poiché consiste in una media delle deviazioni dalla media, sia esse siano positive, sia esse siano negative. Gli investitori considerano rischiose le potenziali perdite e non i possibili guadagni e fin da subito è apparso evidente questo fenomeno, a tal punto che lo stesso ideatore Markowitz propose la sua sostituzione in favore di una misura di rischio al ribasso: la **semivarianza**.

Quest'ultima, infatti, considera solamente gli scarti negativi dei rendimenti attesi e non anche quelli positivi, rendendo la misura di rischio maggiormente coerente con il pensiero degli investitori. È evidente che qualsiasi tipo di investitore razionale non disdegnerebbe affatto possedere un portafoglio con un rendimento superiore alle attese e quindi la nozione di misura di rischio incorporata nel concetto di varianza non risulta idonea in quest'ambito poiché misura semplicemente quanto un fenomeno si discosta mediamente dalla media, senza tenere in considerazione il segno di tale scostamento.

La semivarianza è definita come la deviazione media delle deviazioni al di sotto della media (negative) al quadrato, ponendo uguali a 0 le deviazioni sopra la media (positive). La misura di semivarianza per ciascun asset, basata sulla misura di credibilità, è già stata definita nel capitolo 2 mediante l'equazione (2.17).

La misura della semivarianza di portafoglio, invece, è espressa mediante l'equazione (3.4):

⁵⁶ Markowitz, H.M.: Portfolio Selection. Journal of Finance 7 (1952) 77–91.

$$SV = \begin{cases} \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)} + \frac{(e-c_{rp})^{R+2}}{(d_{rp}-c_{rp})^R(R+1)(R+2)}, & \text{se } c < e \leq d \\ \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} - \frac{(b-e)^{L+2}}{(b_{rp}-a_{rp})^L(L+1)(L+2)} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } a < e \leq b \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (3.4)$$

In alternativa, in questa tesi si fa riferimento anche ad un'altra misura di rischio di tipo downside risk diffusa in letteratura e nella pratica: **la semi deviazione assoluta dalla media** (Mean Absolute Semi Deviation, MASD). La misura della semideviazione assoluta dalla media per ciascun asset, basata sulla misura di credibilità, è già stata definita nel capitolo 2 mediante l'equazione (2.19).

La misura della semideviazione assoluta dalla media di portafoglio, invece, è espressa mediante l'equazione (3.5):

$$MASD = \begin{cases} \frac{1}{2}(e - a_{rp}) - \frac{1}{2} \frac{b_{rp}-a_{rp}}{L+1} \left(1 - \left(\frac{b_{rp}-e}{b_{rp}-a_{rp}} \right)^{L+1} \right), & \text{se } a < e \leq b \\ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \left(c_{rp} - b_{rp} + \frac{(d_{rp}-c_{rp})R}{(R+1)} - \frac{(b_{rp}-a_{rp})L}{(L+1)} \right) \right), & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{1}{2}(d_{rp} - e) - \frac{1}{2} \frac{d_{rp}-c_{rp}}{R+1} \left(1 - \left(\frac{e-c_{rp}}{d_{rp}-c_{rp}} \right)^{R+1} \right), & \text{se } c < e \leq d \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (3.5)$$

Nel modello di selezione di portafoglio proposto in questa tesi verranno adoperate entrambe le misure di rischio proponendone così un confronto fra i relativi portafogli finali che saranno generati. I risultati e le conclusioni relative al loro utilizzo saranno commentate nel successivo capitolo.

3.3 Vincoli al problema di selezione

I gestori di portafoglio incorporano generalmente differenti tipi di vincoli nel problema di selezione di portafoglio, in maniera tale da considerare i parametri

desiderati degli investitori e rendere il problema più realistico. Sulla base di queste considerazioni, nel modello di portafoglio proposto in questa tesi vengono inclusi i seguenti vincoli al problema:

1. **Vincolo di bilancio del capitale:** assicura che tutto il capitale venga ripartito tra gli asset. È definito con la seguente uguaglianza:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \quad (3.6)$$

2. **Vincolo di cardinalità:** il numero di asset all'interno del portafoglio è spesso impostato ad un valore determinato. Sia “y” una variabile binaria che assume valore 1 se l'asset è presente all'interno del portafoglio e 0 in caso contrario, il vincolo di cardinalità è espresso nel modo seguente:

$$\sum_{i=1}^n y_i = k \quad (3.7)$$

con $y_i = \{0,1\}$ e $i = 1,2, \dots, n$.

Questo vincolo è spesso inserito all'interno del problema per facilitare la gestione del portafoglio e ridurre i costi di gestione e transazione.

3. **Vincolo di limite superiore:** massima percentuale di capitale che può essere investita in un singolo asset:

$$\omega_i \leq u_i y_i \quad (3.8)$$

con $i = 1,2, \dots, n$.

Questo vincolo evita un'eccessiva esposizione concentrata in un singolo asset e in alcuni casi è pure imposto dalla legge per far sì che i gestori di portafoglio diversifichino gli investimenti, consentendo una riduzione del rischio e una tutela nei confronti dei risparmiatori.

4. **Vincolo di limite inferiore:** minima percentuale di capitale che può essere investita in un singolo asset:

$$\omega_i \geq l_i y_i \quad (3.9)$$

con $i = 1, 2, \dots, n$.

Questo vincolo è utilizzato per evitare costi di gestione e transazione per porzioni molto piccole di capitale investito.

5. **Vincolo di interezza:** in termini matematici, il vincolo di interezza consiste nell'introduzione di una variabile intera z^i per ciascun titolo i :

$$z_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (3.10)$$

Il vincolo di interezza imposto su ogni singola azione ha delle conseguenze sulla formulazione del peso ottimale per ogni singolo titolo detenuto in portafoglio, in quanto con tale vincolo si stabilisce che le unità investite in ciascun titolo devono essere pari ad un numero intero poiché nella realtà non è possibile acquistare frazioni o parti molto piccole di azioni.

6. **Short sales non ammesse:** è prassi comune di solito vendere attività che non sono ancora di proprietà dell'investitore, in attesa per esempio di un calo del prezzo. Tuttavia, nel modello proposto in questa tesi non sono considerate vendite allo scoperto, pertanto la quota investita in ciascun asset deve essere non negativa:

$$\omega_i \geq 0 \quad (3.11)$$

Con $i = 1, 2, \dots, n$.

3.4 Il modello

Sulla base delle variabili costituenti la funzione obiettivo (rendimento atteso, punteggio ESG atteso e misura di rischio) e dei vincoli al problema di selezione, in questo paragrafo si presenta la formulazione analitica del modello di selezione di portafoglio socialmente responsabile, basato sulla misura di credibilità delle variabili fuzzy.

Il modello che adotta la semivarianza come misura di rischio è determinato nel modo seguente:

$$\begin{aligned}
 MaxR_p &= \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \left[b_{ri} + c_{ri} + \frac{(d_{ri} - c_{ri})R}{(R+1)} - \frac{(b_{ri} - a_{ri})L}{(L+1)} \right] \omega_i \right] \\
 MaxESG_p &= \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} [b_{ri} + c_{ri}] \omega_i \right] \\
 MinSV_p &= \begin{cases} \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)} + \frac{(e-c_{rp})^{R+2}}{(d_{rp}-c_{rp})^R(R+1)(R+2)}, & \text{se } c < e \leq d \\ \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{(e-a_{rp})^2}{2} - \frac{(e-a_{rp})(b_{rp}-a_{rp})}{L+1} - \frac{(b-e)^{L+2}}{(b_{rp}-a_{rp})^L(L+1)(L+2)} + \frac{(b_{rp}-a_{rp})^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } a < e \leq b \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Soggetto a: } \begin{cases} \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 & i = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n y_i = k & y_i = \{0, 1\} \text{ e } i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \leq u_i y_i & i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \geq l_i y_i & i = 1, 2, \dots, n; \\ z_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} & (i = 1, \dots, N) \text{ e } i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \geq 0 & i = 1, 2, \dots, n; \end{cases}$$

Il modello che adotta invece la semi deviazione assoluta dalla media come misura di rischio è determinato nel modo seguente:

$$\begin{aligned}
 MaxR_p &= \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \left[b_{ri} + c_{ri} + \frac{(d_{ri} - c_{ri})R}{(R+1)} - \frac{(b_{ri} - a_{ri})L}{(L+1)} \right] \omega_i \right] \\
 MaxESG_p &= \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} [b_{ri} + c_{ri}] \omega_i \right] \\
 MaxMASD_p &= \begin{cases} \frac{1}{2} (e - a_{rp}) - \frac{1}{2} \frac{b_{rp} - a_{rp}}{L+1} \left(1 - \left(\frac{b_{rp} - e}{b_{rp} - a_{rp}} \right)^{L+1} \right), & \text{se } a < e \leq b \\ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \left(c_{rp} - b_{rp} + \frac{(d_{rp} - c_{rp})R}{(R+1)} - \frac{(b_{rp} - a_{rp})L}{(L+1)} \right) \right), & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{1}{2} (d_{rp} - e) - \frac{1}{2} \frac{d_{rp} - c_{rp}}{R+1} \left(1 - \left(\frac{e - c_{rp}}{d_{rp} - c_{rp}} \right)^{R+1} \right), & \text{se } c < e \leq d \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\text{Soggetto a: } \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n y_i = k \quad y_i = \{0, 1\} \text{ e } i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \leq u_i y_i \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \geq l_i y_i \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ z_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad (i = 1, \dots, N) \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \omega_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n; \end{array} \right.$$

3.5 Metodologia di risoluzione

Il problema di selezione di portafoglio consiste molto spesso nel ridurre il rischio al minimo possibile o di ottenere i rendimenti più elevati possibili, o entrambi gli obiettivi. Di per sé questo è un problema di facile risoluzione. Tuttavia quando si considerano anche altri obiettivi, come la massimizzazione del punteggio ESG nel nostro caso, o si includono determinati vincoli al problema, inevitabilmente si innalza il livello di complessità affrontabile dai metodi di ottimizzazione standard. In questi casi, considerando le richieste del mondo reale e il tempo a disposizione del calcolo generalmente limitato, gli approcci tradizionali basati su metodi esatti di ottimizzazione non sono più adatti per affrontare problemi complessi di ottimizzazione vincolata. Ricercatori e professionisti, negli sviluppi più recenti, hanno iniziato pertanto a ricorrere ad algoritmi approssimati avvalendosi di metodi **euristici** e successivamente **metaeuristici** e tecniche ibride per meglio gestire questa complessità crescente dei problemi, affrontare casi sempre più realistici e vicini alle esigenze reali nonché svolgere i calcoli in tempi accettabili. Questi metodi, emersi da ambiti come l'intelligenza computazionale e da metodi di soft computing⁵⁷ evolutivi, forniscono algoritmi che non dimostrano l'ottimalità della soluzione proposta, ma di solito sono molto efficienti nel trovare soluzioni quasi ottimali.

I metodi **euristici** consistono in algoritmi iterativi, nei quali ad ogni iterazione l'algoritmo cerca la nuova migliore soluzione tra le migliori trovate fino a quel momento, ovvero “trovare” o “scoprire” per tentativi ed errori, ma seguendo un qualche

⁵⁷ La soft computing si occupa di modelli approssimati e offre soluzioni a problemi complessi. A differenza dell'hard computing, la soft computing tollera l'imprecisione, incertezza, verità parziale e approssimazioni.

tipo di regola “intelligente”. Ogni qualvolta viene soddisfatto un appropriato criterio di arresto dell’algoritmo, questo termina e fornisce la soluzione che è la migliore determinata in tutte le iterazioni eseguite. Il metodo euristico offre generalmente una buona soluzione ad un problema difficile di ottimizzazione in un tempo ragionevole, sebbene non vi sia alcuna garanzia che vengano raggiunte soluzioni ottimali. Questo è utile quando non si necessita la soluzione esatta ma piuttosto buone soluzioni che sono facilmente ottenibili. Tuttavia le euristiche sono caratterizzate da un forte limite che è quello di essere “**problem-dependent**” o meglio “problem-specific”, ossia sono legate pesantemente alle caratteristiche del problema. Il che significa che ogni metodo è sviluppato per risolvere una tipologia specifica di problemi piuttosto che un problema generale. Pertanto ripresentano lo stesso limite delle tecniche esatte, per cui a variazioni del problema non si riesce più ad applicare l’euristica.

Questo fu il motivo per il quale, dagli anni 80 si iniziò ad utilizzare le metaeuristiche per affrontare problemi complessi come quello proposto. Il termine metaeuristica fu coniato da Glover nel 1986, dove “meta” significa “oltre” o “livello più alto” e “euristica” significa “trovare” “scoprire” per tentativi ed errori. La metaeuristica può essere considerata come una strategia principale che guida altre euristiche a produrre soluzioni oltre a quelle normalmente generate nella ricerca dell’ottimalità locale.

Nella realtà quindi, le **metaeuristiche** sono uno sviluppo ulteriore delle euristiche e consistono in tecniche di risoluzione di alto livello i cui algoritmi approssimati risolvono problemi di ottimizzazione combinatoria⁵⁸. Inoltre le metaeuristiche, a differenza dei metodi euristici, sono tecniche “**problem-independent**” che forniscono una serie di linee guida o strategie per sviluppare metodi euristici che possono essere adottati per soddisfare le esigenze di un’ampia parte dei problemi di ottimizzazione del mondo reale. Le euristiche o le metaeuristiche sono pertanto sviluppate specificatamente per trovare una soluzione che sia “abbastanza buona” in un tempo che sia “abbastanza breve”. L’abilità di trovare buone soluzioni dove altri metodi falliscono ha fatto delle metaeuristiche il metodo di scelta per risolvere la maggior parte dei grandi

⁵⁸ I problemi di ottimizzazione possono essere suddivisi in due differenti categorie a seconda se le variabili del problema siano continue e discrete. Un problema di ottimizzazione combinatoria (OC) è un problema di ottimizzazione con variabili discrete, ovvero tutte le variabili decisionali sono vincolate ad assumere valori interi e quindi la sua risoluzione consiste nell’individuazione della combinazione ottimale dei valori delle variabili intere.

e complessi problemi di ottimizzazione della vita reale, sia in ambito di ricerca accademica che in applicazioni pratiche.

Vi sono differenti modi di classificare e descrivere gli algoritmi metaeuristici. A seconda delle caratteristiche scelte per differenziarle vi sono possibili diverse classificazioni, ognuna delle quali è il risultato di un punto di vista specifico. Le due maggiori componenti che determinano il comportamento di ogni algoritmo metaeuristico sono: intensificazione o diversificazione, exploitation o exploration.

Diversificazione significa generare diverse soluzioni in modo da esplorare lo spazio di ricerca su scala globale, mentre l'**intensificazione** significa concentrare la ricerca in una regione locale sapendo che in questa regione è stata trovata una buona soluzione.

Un buon equilibrio tra intensificazione e diversificazione dovrebbe essere trovato durante la selezione delle migliori soluzioni per migliorare il tasso di convergenza dell'algoritmo. La selezione della migliore garantisce che le soluzioni convergano all'ottimale e, allo stesso tempo, aumenta la diversità delle soluzioni. Una buona combinazione tra questi due componenti principali garantirà di solito l'ottimalità globale.

Una metaeuristica sarà di successo su un dato problema di ottimizzazione se può fornire un equilibrio tra exploitation ed exploration dello spazio di ricerca per identificare regioni con soluzioni di alta qualità, quasi ottimali, in un problema specifico. Infatti, tramite l'**exploitation** la metaeuristica è in grado di analizzare tutto lo spazio delle soluzioni ed effettua valutazioni globali, senza partire da un determinato valore, e individua una potenziale area dove potrebbe trovarsi la soluzione. Successivamente, ossia dopo che è stata individuata una potenziale area ottimale, mediante l'**exploration** la metaeuristica naviga per tutto questo spazio promettente per individuare la soluzione ottimale.

Con riferimento all'exploitation e l'exploration dello spazio di ricerca, un altro modo possibile per classificare le metaeuristiche è su come generare la soluzione. In questo caso si possono classificare in due categorie:

- Metaeuristiche **trajectory-based**: sono tecniche che cominciano con una soluzione iniziale singola e, ad ogni step, si sostituisce la soluzione attuale con

un'altra soluzione che spesso è la migliore rispetto a quella trovata nelle sue vicinanze finora. Questo tipo di metaeuristiche consentono di trovare una soluzione localmente ottimale, quindi sono metodi “**exploitation-oriented**” che promuovono l'intensificazione nello spazio di ricerca. Le famiglie di metaeuristiche più importanti e conosciute che appartengono a questa categoria sono: Simulated Annealing (SA), Tabu Search (TA) e la Variable Neighborhood Search (VNS).

- Metaeuristiche **population-based**: sono tecniche che fanno uso di una popolazione di soluzioni e non di una singola soluzione, come nel caso delle metaeuristiche trajectory-based. La popolazione iniziale è generata casualmente e quindi migliorata attraverso un processo iterativo. Ad ogni generazione del processo, l'intera popolazione o parte di questa è sostituita da individui di nuova generazione, spesso migliori. Queste tecniche sono definite come metodi “**exploration-oriented**” per la loro abilità principale di diversificazione nello spazio di ricerca. Le famiglie di metaeuristiche più importanti e conosciute basate sulla manipolazione della popolazione di soluzioni sono: Evolutionary Algorithms (EAs), Ant Colony Optimization (ACO), Particle Swarm Optimization (PSO), Artificial Bee Colony (ABC) e Differential Evolution (DE).

Questa tesi, per la risoluzione del problema di ottimizzazione del portafoglio socialmente responsabile, introduce e fa riferimento al metodo metaeuristico della **Particle Swarm Optimization (PSO)** che è uno tra i più recenti metodi di ottimizzazione evolutiva che si basa sulla metafora dell'interazione sociale presente negli stormi di uccelli o nei banchi di pesci.

3.5.1 Particle Swarm Optimization (PSO)

La **Particle Swarm Optimization** (tradotto, significa letteralmente “ottimizzazione a sciame di particelle”) è una tecnica di ottimizzazione globale population-based, sviluppata da Eberhart e Kennedy⁵⁹ nel 1995.

⁵⁹ Kennedy J, Eberhart RC. “Particle swarm optimization”. In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Network, IV, 1942–1948, 1995.

La particle Swarm Optimization è un algoritmo intelligente appartenente alla Swarm Intelligence (SI)⁶⁰ ed è ispirato al comportamento sociale e alla collaborazione presente negli stormi di uccelli o nei banchi di pesci. È una tecnica che è stata applicata in svariati campi grazie al suo concetto semplice e al suo esclusivo meccanismo di ricerca per trovare la soluzione ottimale, l'efficienza computazionale ed infine la facile implementazione.

Nella PSO un numero fisso di entità autonome, definito come **particelle**, sono generate casualmente all'interno dello spazio di ricerca. Ogni particella è una candidata soluzione al problema, ed è associata con una velocità e una posizione nello spazio di ricerca. In aggiunta, ogni particella esplora un'area specifica dello spazio di ricerca, mantiene traccia della migliore posizione raggiunta finora in memoria e condivide questa informazione ad una parte o all'intero sciame. Uno sciame consiste in N particelle (numero di possibili soluzioni di un dato problema) che “volano” in giro all'interno di uno spazio di ricerca di dimensione D (numero di variabili di un dato problema). La qualità della posizione delle particelle, considerate come una soluzione candidata al problema dell'ottimizzazione, è misurata da una **funzione di fitness** (o funzione obiettivo). Il concetto chiave su cui si basa la PSO risiede nel comportamento di condivisione dell'esperienza, in cui l'esperienza pregressa di ogni particella è continuamente comunicata ad una parte o all'intero sciame, conducendo così lo sciame complessivo verso le aree più promettenti e verso la migliore posizione globale rilevata finora nello spazio di ricerca. L'interazione e lo scambio di informazioni tra particelle di uno sciame dipendono da come sono collegate al loro vicinato, ovvero dalla tipologia di popolazione.

Nella fase di inizializzazione della PSO, le posizioni e le velocità degli individui vengono inizializzate casualmente. Nello step k-esimo dell'algoritmo, ogni particella è caratterizzata da 3 vettori di dimensione D:

- x_i^k , rappresenta la posizione corrente dell'i-esima particella allo step k;
- v_i^k , rappresenta la velocità corrente dell'i-esima particella allo step k;

⁶⁰ La Swarm Intelligence (SI) è un importante concetto di intelligenza artificiale. Il termine “swarm” tradotto significa sciame, ed è usato per esprimere l'aggregazione di animali come uccelli, pesci, insetti come le formiche, termiti ed api che svolgono tutti un comportamento collettivo. L'intelligenza di sciame è definita pertanto come un comportamento collettivo di sciami decentralizzati ed auto organizzati.

- p_i , rappresenta la miglior posizione personale ($pbest$) raggiunta finora dall' i -esima particella;
- p_g , rappresenta la miglior posizione globale ($gbest$) raggiunta finora da qualsiasi particella dello sciame.

Inoltre, $pbest_i = f(p_i)$ è il valore della funzione di fitness valutata nella migliore posizione personale visitata dalla i -esima particella, e $gbest = f(p_g)$ è il corrispondente valore di fitness di p_g . Ad ogni iterazione la posizione attuale x_i^k di ogni particella è considerata una possibile soluzione di un problema di ottimizzazione. Se una data posizione è migliore rispetto ogni altra che è stata trovata fino ad ora dalla stessa particella, questa viene memorizzata dal vettore p_i e il valore della funzione di fitness associata a questo è noto come $pbest$. Lo scopo è quello di trovare nuove e migliori posizioni che migliorino il valore della funzione di fitness.

Nel caso di un problema di minimizzazione si ha che:

$$p_i^{k+1} = \begin{cases} p_i^k, & \text{se } f(x_i^{k+1}) \geq f(p_i^k) \\ x_i^{k+1}, & \text{se } f(x_i^{k+1}) < f(p_i^k) \end{cases} \quad (3.12)$$

Il risultato desiderato è quello di ottenere un valore della funzione che sia il più piccolo possibile e viceversa nel caso di un problema di massimizzazione.

Ad ogni iterazione, una particella i aggiusta la sua posizione x_i^k e la sua velocità v_i^k , basata sulla migliore posizione p_i che ha visitato finora nel suo “volo” e la migliore posizione globale p_g trovata da ogni altra particella nel suo vicinato. Una struttura di generazione della PSO può essere esplicitata in pochi step:

1. **Inizializzazione** di una popolazione di particelle con posizione assegnata casualmente e velocità sulle dimensioni D nello spazio di ricerca;
2. **Inizio del ciclo di ricerca** (oppure il criterio di arresto non è soddisfatto):
 - Per ogni particella i viene valutata la funzione di fitness desiderata $f(x_i^k)$ nella posizione corrente;

- Si confronta il valore della funzione di fitness con il suo $pbest_i$. Se il suo valore corrente è migliore rispetto al $pbest_i$, si imposta il $pbest_i$ uguale al valore corrente, e p_i uguale alla posizione corrente x_i^k ;
- Si identifica la particella che ha il miglior valore di fitness. il valore della sua funzione di fitness è identificato come $gbest$ e la sua posizione come p_g ;
- La velocità e la posizione di tutte le particelle è aggiornata mediante la seguente equazione:

$$\begin{cases} v_i^{k+1} = v_i^k + U(0, \phi_1) \otimes (p_i^k - x_i^k) + U(0, \phi_2) \otimes (p_g - x_i^k) \\ x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \end{cases} \quad (3.13)$$

Dove:

- $U(0, \phi_1)$ e $U(0, \phi_2)$ sono due vettori con numeri casuali uniformemente distribuiti in $[0, \phi_1]$ e $[0, \phi_2]$ e generati casualmente ad ogni iterazione per ogni particella;
 - p_g è la miglior posizione globale dello sciame;
 - \otimes rappresenta la moltiplicazione tra i componenti;
- Se il criterio è soddisfatto (di solito una fitness sufficientemente buona o un numero massimo di iterazioni), si esce dal ciclo

3. Fine del ciclo.

Il primo termine v_i^k è la **velocità corrente**, responsabile di mantenere la particella in movimento nella stessa direzione in cui era diretta in origine.

Il secondo termine, $U(0, \phi_1) \otimes (p_i^k - x_i^k)$ è chiamato **componente cognitiva** e funziona come memoria della particella nonché da attrattore nel ritornare nelle regioni dello spazio di ricerca in cui ha sperimentato un'alta fitness individuale. $U(0, \phi_1)$ è un numero casuale con distribuzione uniforme nel range di $[0,1]$.

Il terzo e ultimo termine, $U(0, \phi_2) \otimes (p_g - x_i^k)$ è chiamato **componente sociale** e fa sì che la particella si sposti nella migliore regione trovata finora dallo sciame. $U(0, \phi_2)$ è un numero casuale con distribuzione uniforme nel range di $[0,1]$.

La versione originale della PSO ha un numero veramente limitato di parametri che necessitano di essere fissati. Il primo è il numero di particelle (la dimensione della popolazione). Questo è spesso impostato empiricamente e dipende dalla dimensione e dalla complessità del problema, ma i suoi valori più comuni ed utilizzati variano in un range di 20 – 50. Altri parametri che richiedono di essere fissati in modo da facilitare la convergenza dell’algoritmo compaiono nell’equazione dell’aggiornamento della velocità che vengono settati in base allo specifico problema.

3.6 Selezione dei parametri dello sciame di particelle

Ogni qualvolta si implementa questo tipo di algoritmo è necessario effettuare differenti considerazioni in maniera tale da facilitare la convergenza e prevenire “un’esplosione” dello sciame stesso. Queste considerazioni fanno specifico riferimento alla selezione dei parametri di accelerazione e alla limitazione della velocità massima.

3.6.1 Selezione dei parametri di accelerazione

Il comportamento della PSO cambia radicalmente a seconda dei valori assegnati ai due parametri di accelerazione, conosciuti come **coefficiente cognitivo** ϕ_1 e **coefficiente sociale** ϕ_2 . Questi parametri controllano il movimento di ciascuna particella verso la posizione del suo personal best p_i^k e global best p_g . Modificando i valori di ϕ_1 e ϕ_2 si può rendere infatti la PSO più o meno reattiva e persino instabile, con una velocità delle particelle che aumenta senza controllo. In questo caso, valori piccoli limitano il movimento delle particelle mentre numeri grandi possono farle divergere. In generale il valore massimo per questa costante dovrebbe essere $\phi = 4$, il che significa che $\phi_1 + \phi_2 = 4$. Quindi uno dei primi valori proposti inizialmente furono $\phi_1 = \phi_2 = 2$.

3.6.2 Selezione della velocità massima

La velocità della particella è una variabile stocastica ed è quindi soggetta a creare una traiettoria incontrollata, facendo seguire alla particella cicli più ampi nello spazio del problema. Per evitare di rendere instabile l'algoritmo, a causa di incrementi senza controllo della velocità delle particelle, la tecnica originalmente proposta è stata quella di limitare la velocità in un intervallo $[-V_{max}, +V_{max}]$.

I limiti superiore e inferiore, per la velocità v_i , possono essere definiti:

- Se $v_{id} > V_{max}$, si ha che $v_{id} = V_{max}$;
- Altrimenti se $v_{id} < -V_{max}$, si ha che $v_{id} = -V_{max}$.

Il metodo usuale per prevenire l'esplosione è semplicemente definire un parametro V_{max} e impedire che la velocità lo superi in ogni dimensione d per ciascun individuo i . Il più delle volte il valore di V_{max} è selezionato empiricamente secondo le caratteristiche del problema., tuttavia è importante notare che se il valore di questo parametro è troppo elevato, le particelle potrebbero andare oltre a una buona soluzione e divergere; d'altra parte se V_{max} è troppo piccolo, il movimento delle particelle è limitato e la soluzione ottimale potrebbe non essere raggiunta. Ciò consente alle particelle di oscillare entro i limiti fissati, sebbene senza alcuna tendenza alla convergenza o al collasso dello sciame verso un punto. Questa scelta tuttavia non è stata esente da critiche, infatti il parametro V_{max} richiedeva una certa attenzione in quanto sembrava influenzare l'equilibrio tra exploration e exploitation.

Un approccio al controllo del processo di ricerca è l'implementazione del cosiddetto "Inertia Weight Approach (IWA)", ossia dell'approccio che utilizza il **peso d'inerzia**.

3.6.3 Modifica della PSO: Inertia Weight Approach (IWA)

Nonostante sia uno degli algoritmi più promettenti nella ricerca di una buona soluzione in tempi più rapidi rispetto agli altri algoritmi esistenti, la PSO soffre della **convergenza prematura**. Potrebbe infatti non riuscire a trovare l'ottimo globale quando il problema è complesso. La proprietà di convergenza può causare l'intrappolamento dello sciame nell'ottimo locale e non essere in grado di esplorare altre

aree promettenti. Al fine di risolvere il problema della convergenza prematura e migliorare le prestazioni dell'algoritmo, è necessario modificare lo schema originale della PSO.

Con riferimento a V_{max} , si è notato come questo influenzi il bilanciamento tra esplorazione e sfruttamento. La velocità massima V_{max} viene infatti usata come limite per controllare l'abilità di esplorazione globale di una particella. Un V_{max} grande facilita l'esplorazione globale, mentre un V_{max} piccolo incoraggia lo sfruttamento locale. Motivati dal desiderio di controllare meglio l'ambito della ricerca e eliminare il ricorso a V_{max} , Elberhart e Shi proposero nel 1998 una modifica all'algoritmo originale della PSO introducendo un nuovo parametro w^k , definito come **peso d'inerzia**. Il peso d'inerzia è stato introdotto per controllare le capacità di esplorazione e sfruttamento dello sciame e per farlo convergere in modo più accurato ed efficiente rispetto al tradizionale aggiornamento della velocità della PSO secondo quanto illustrato dall'equazione (3.13).

Con l'introduzione del peso d'inerzia, l'equazione (3.13) viene modificata nel modo seguente:

$$\begin{cases} v_i^{k+1} = w^k v_i^k + U(0, \phi_1) \otimes (p_i^k - x_i^k) + U(0, \phi_2) \otimes (p_g - x_i^k) \\ x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \end{cases} \quad (3.14)$$

Il peso d'inerzia w^k può essere implementato o come un **valore fisso** oppure come un valore che **cambia dinamicamente**. Per quanto riguarda i valori da attribuire, è bene tenere conto le seguenti considerazioni:

- se $w \geq 1$, le velocità aumentano nel tempo e le particelle difficilmente cambiano direzione per tornare indietro verso l'ottimale e lo sciame diverge;
- se $w \leq 1$, si verificano rapidi cambi di direzione;
- se $w = 0$, la velocità delle particelle svanisce e tutte le particelle si muovono senza conoscere la velocità precedente in ogni passaggio.

Per valori fissi di w la PSO funziona bene. In alternativa, è possibile implementare un valore di w che cambia dinamicamente. In questo caso il cambiamento dei valori del

peso di inerzia è utile perché controlla l'equilibrio tra l'esplorazione globale e locale dello spazio di ricerca per ottenere una rapida convergenza. Generalmente, quando si seleziona un valore del peso d'inerzia che cambia dinamicamente, per raggiungere l'ottimo si utilizza un peso d'inerzia che decresce linearmente secondo l'espressione (3.15):

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{K} \times k \quad (3.15)$$

dove:

- w_{max} e w_{min} sono i valori massimi e minimi desiderati del peso d'inerzia;
- K è il numero massimo di iterazioni consentite che sono decise dall'utente;
- k è il numero di iterazione corrente.

Generalmente w decresce linearmente per valori che variano da 0.9 a 0.4 durante l'intero processo. Van den Bergh e Engelbrecht, Trelea (2007) hanno definito una condizione per cui $w > \frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2) - 1$ garantisce la convergenza⁶¹. Se questa condizione non è soddisfatta, nel processo possono verificarsi comportamenti divergenti o ciclici dello sciame.

Il metodo del peso inerziale è molto utile per garantire la convergenza. Tuttavia il metodo che decresce linearmente presenta uno svantaggio, cioè una volta diminuito il peso, questo non può aumentare se lo sciame ha bisogno di cercare nuove aree e pertanto il metodo non è in grado di recuperare la sua modalità di esplorazione⁶². Naturalmente, altre strategie possono essere adottate per aggiustare il peso d'inerzia. Per esempio, può essere utilizzato un sistema fuzzy per l'adattamento di w in modo tale da migliorare significativamente le prestazioni della PSO⁶³. Oppure, un'altra strategia efficace è quella di utilizzare un peso d'inerzia con componente stocastica piuttosto che decrescente nel tempo, come per esempio utilizzare $w = U(0.5, 1)$ ⁶⁴. Ci sono anche altri studi nei quali viene utilizzato un peso d'inerzia crescente per ottenere buoni risultati.

⁶¹ A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence: An introduction*. John Wiley and Sons, 2007.

⁶² G. Kumar, S. Mohagheghi, J. C. Hernandez, and Y. Del Valle, "Particle swarm optimization: Basic concepts, variants and applications in power systems," *IEEE*, vol. -, pp. 171-195, 2008.

⁶³ R. Poli, J. Kennedy, and T. Blackwell, *Particle swarm optimization*. 2007.

⁶⁴ R. Poli, J. Kennedy, and T. Blackwell, *Particle swarm optimization*. 2007.

Vi sono inoltre altre modifiche all'algoritmo originario della PSO, come la **Constriction Factor Approach (CFA)** proposta da Clerc nel 1999⁶⁵ e la **Fully Informed Particle Swarm (FIPS)** introdotta da Mendes⁶⁶ che ai fini di questa tesi non saranno trattate, in quanto l'approccio adottato è quello della PSO con il peso d'inerzia (IWA).

⁶⁵ M. Clerc, "The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization.," Proc. 1999 ICEC, vol. -, pp. 1951-1957, 1999.

⁶⁶ J. Kennedy and R. Mendes, "Neighbourhood topologies in fullyinformed- and best-of-neighbourhood particle swarms," in Proc. IEEE Int. Workshop Soft Computing in Industrial Applications, pp. 45-50, 2003.

Capitolo IV

Applicazione

4.1 Premessa

In questo capitolo è presentata un'applicazione empirica, basata su dati reali, del modello di selezione di portafoglio proposto in questa tesi. Tale modello, come già illustrato nei precedenti capitoli, modella la non certezza non con l'utilizzo di variabili casuali, bensì mediante ricorso a variabili fuzzy sulla base di un framework credibilistico.

Lo scopo principale di questa applicazione è quello di dimostrare l'applicabilità e la validità di tale framework come uno strumento alternativo al classico approccio probabilistico per la selezione di portafogli.

Saranno presentate due differenti applicazioni sugli stessi dati per confrontare due diverse misure di rischio: la **semivarianza** e la **semi-deviazione assoluta dalla media**.

Per l'esecuzione degli algoritmi, si è utilizzato il software MATLAB R2018b, eseguito su un computer Sony VAIO con processore Intel(R) Core(TM) i3 e CPU di 2.40 GHz.

4.2 Dati utilizzati

I dati utilizzati fanno riferimento all'indice **EUROSTOXX 50 (SX5E)** e sono stati ottenuti dalla piattaforma Bloomberg. La scelta di tale indice risiede fondamentalmente nella decisione di considerare una diversificazione geografica e settoriale maggiormente marcata rispetto a concentrarsi in un singolo indice di Paese o di uno specifico settore.

L'indice EuroStoxx50, il principale indice blue-chip in Europa, offre una rappresentazione delle aziende più rilevanti dell'Eurozona e comprende una vasta gamma di settori industriali dell'area. È composto dai 50 titoli più importanti degli 11 paesi dell'Eurozona: Austria, Belgio, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Italia,

Lussemburgo, Paesi Bassi, Portogallo e Spagna. La Tabella 2 offre una sintesi delle società componenti tale indice, il settore specifico di appartenenza nonché il Paese di riferimento.

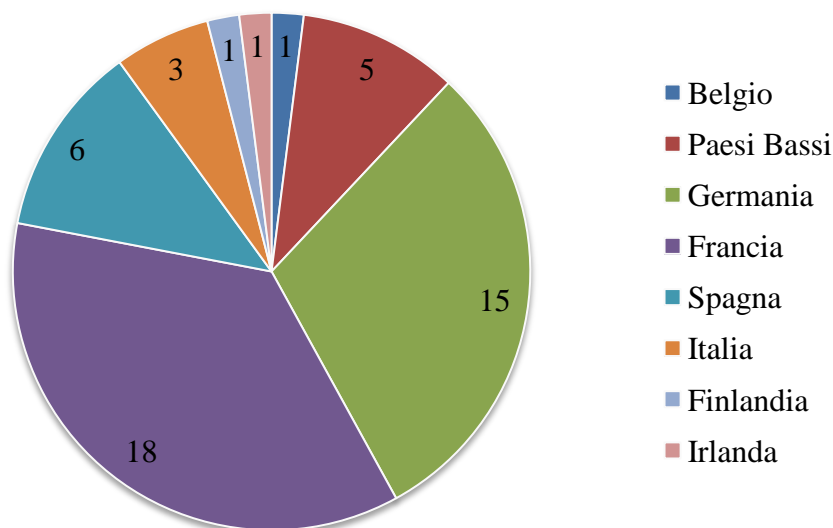
Tabella 2 – Composizione indice Eurostoxx50

Titolo	Società	Settore di appartenenza	Paese
ABI BB Equity	Anheuser-Busch InBev SA/NV	Food & Beverage	BE
AD NA Equity	Koninklijke Ahold Delhaize NV	Retail	NL
ADS GY Equity	Adidas AG	Personal & Household Goods	DE
AI FP Equity	Air Liquide SA	Chemicals	FR
AIR FP Equity	Airbus SE	Industrial Goods & Services	FR
ALV GY Equity	Allianz SE	Insurance	DE
AMS SQ Equity	Amadeus IT Group SA	Technology	ES
ASML NA Equity	ASML Holding NV	Technology	NL
BAS GY Equity	BASF SE	Chemicals	DE
BAYN GY Equity	Bayer AG	Health Care	DE
BBVA SQ Equity	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	Banks	ES
BMW GY Equity	Bayerische Motoren Werke AG	Automobiles & Parts	DE
BN FP Equity	Danone SA	Food & Beverage	FR
BNP FP Equity	BNP Paribas SA	Banks	FR
CRH ID Equity	CRH PLC	Construction & Materials	IE
CS FP Equity	AXA SA	Insurance	FR
DAI GY Equity	Daimler AG	Automobiles & Parts	DE
DB1 GY Equity	Deutsche Boerse AG	Financial Services	DE
DG FP Equity	Vinci SA	Construction & Materials	FR
DPW GY Equity	Deutsche Post AG	Industrial Goods & Services	DE
DTE GY Equity	Deutsche Telekom AG	Telecommunications	DE
EL FP Equity	EssilorLuxottica SA	Health Care	FR
ENEL IM Equity	Enel SpA	Utilities	IT

ENGI FP Equity	Engie SA	Utilities	FR
ENI IM Equity	Eni SpA	Oil & Gas	IT
FP FP Equity	TOTAL SA	Oil & Gas	FR
FRE GY Equity	Fresenius SE & Co KGaA	Health Care	DE
GLE FP Equity	Societe Generale SA	Banks	FR
IBE SQ Equity	Iberdrola SA	Utilities	ES
INGA NA Equity	ING Groep NV	Banks	NL
ISP IM Equity	Intesa Sanpaolo SpA	Banks	IT
ITX SQ Equity	Industria de Diseno Textil SA	Retails	ES
KER FP Equity	Kering SA	Retail	FR
LIN GY Equity	Linde PLC	Chemicals	DE
MC FP Equity	LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	Personal & Household Goods	FR
MUV2 GY Equity	Munich Re	Insurance	DE
NOKIA FH Equity	Nokia Oyj	Technology	FI
OR FP Equity	L'Oreal SA	Personal & Household Goods	FR
ORA FP Equity	Orange SA	Telecommunications	FR
PHIA NA Equity	Koninklijke Philips NV	Health Care	NL
SAF FP Equity	Safran SA	Industrial Goods & Services	FR
SAN FP Equity	Sanofi	Health Care	FR
SAN SQ Equity	Banco Santander SA	Banks	ES
SAP GY Equity	SAP SE	Technology	DE
SIE GY Equity	Siemens AG	Industrial Good & Services	DE
SU FP Equity	Schneider Electric SE	Industrial Good & Services	FR
TEF SQ Equity	Telefonica SA	Telecommunications	ES
UNA NA Equity	Unilever NV	Personal & Household Goods	NL
VIV FP Equity	Vivendi SA	Media	FR
VOW3 GY Equity	Volkswagen AG	Automobiles & Parts	DE

Come è possibile notare dal Grafico 2 che raffigura la distribuzione delle aziende per Paese relative all'indice Eurostoxx50, la maggior parte di queste appartengono alla Francia (18 su 50) e Germania (15 su 50) che assieme rappresentano il 66% delle società dell'indice.

Grafico 2 – Aziende per Paese indice Eurostoxx50

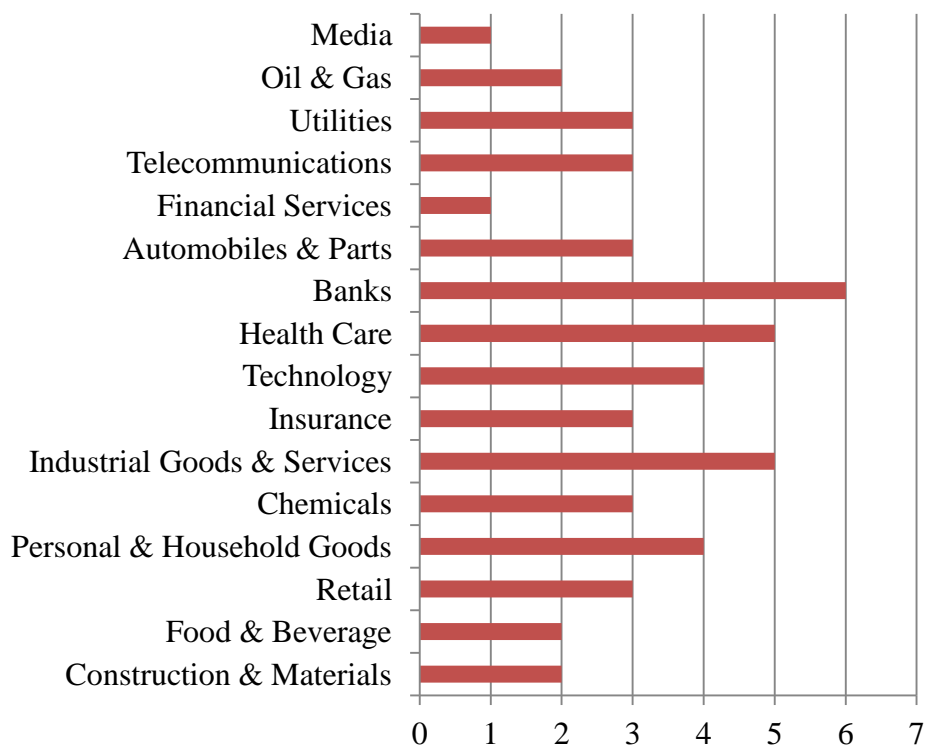


Per quanto riguarda i settori di appartenenza delle società di tale indice, come evidenziato dal Grafico 3, sono presenti in un numero elevato (16). I settori presenti in maggioranza all'interno dell'indice sono "Banks" (6), "Health care" (5) e "Industrial Goods & Services" (5).

Per quanto concerne il periodo temporale di riferimento, si è deciso di selezionare i dati relativi ad un ampio intervallo di tempo che intercorre dal 1 gennaio 2000 al 19 dicembre 2019. In questo modo è possibile considerare i cambiamenti nelle condizioni finanziarie delle società, i cambiamenti nei fattori macroeconomici ed intercettare anche il comportamento del mercato, cioè mercati bull (rialzisti) e bear (ribassisti).

Di ogni società appartenente all'indice sono stati utilizzati solamente i dati storici relativi i prezzi di chiusura e i punteggi ESG. Le variabili del problema, come il rischio e il rendimento, sono state determinate attraverso il modello proposto.

Grafico 3– Supersettori di appartenenza società Eurostoxx50



4.3 Problem setting

In questo paragrafo si procede alla specificazione dell'approccio risolutivo, ossia si definisce la metodologia generale e i termini per la risoluzione del problema di selezione di portafoglio proposto.

4.3.1 Settaggio del campione

Il primo settaggio fa riferimento alla suddivisione del campione in sottocampioni. L'intero periodo temporale è stato suddiviso in due sottocampioni definiti in-sample e out-of-sample. Il periodo **in-sample** utilizza un sottoinsieme dei dati disponibili per stimare i parametri del modello. Il periodo **out-of-sample**, invece, è definito come "periodo d'investimento" o "futuro virtuale" e serve per verificare l'efficacia del modello stesso.

Lo scopo di questa suddivisione in due periodi è quello di utilizzare i dati disponibili nella prima parte del campione per selezionare i portafogli con i quali investire nel periodo out-of-sample, in modo tale da valutare la capacità del modello di ben performare nel futuro virtuale.

Il campione di dati che intercorre dal 1 gennaio 2000 al 19 dicembre 2019 è stato suddiviso nel seguente modo:

- 4 **Periodo in-sample:** include 915 osservazioni settimanali, dal 1 gennaio 2000 al 14 luglio 2017. Complessivamente, si ha un periodo di stima di circa 16 anni e mezzo.
- 5 **Periodo out-of-sample:** include 126 osservazioni settimanali, dal 21 luglio 2017 al 13 dicembre 2019 che corrisponde all'ultima osservazione disponibile nel campione. Complessivamente, si ha un periodo di test del modello di 2 anni e mezzo.

L'idea sottostante nell'ambito della selezione di portafoglio è che il rischio e il rendimento atteso stimato di portafoglio nel primo periodo rimarrà più o meno lo stesso anche nel futuro virtuale. Ciò significa che la percentuale di investimento suggerita dall'analisi in-sample dovrebbe fornire il miglior portafoglio anche per il prossimo futuro virtuale.

4.3.2 Parametri specifici del problema

In questo sottoparagrafo vengono presentati e, quando necessario, settati i parametri relativi ai vincoli del problema di selezione di portafoglio. Il numero di vincoli prescelti è 6 e sono identici in entrambi i modelli, sia in quello con la semi-varianza, sia in quello con la semi-deviazione assoluta dalla media.

I parametri prescelti, la cui rappresentazione analitica è stata presentata nel capitolo 3 al paragrafo 3.3, sono i seguenti:

- **Vincolo di bilancio del capitale:** tutto il capitale è investito tra gli asset a disposizione in portafoglio. In questo caso è necessario che la somma delle quote investite in ciascun titolo risulti il 100%.

- **Vincolo di cardinalità:** Di solito gli investitori utilizzano tra i 3 e i 10 asset per diversificare il loro portafoglio, in quanto non è consigliabile avere né un numero troppo limitato né un numero troppo elevato di asset in portafoglio. Il piccolo investitore infatti, da una parte ha a disposizione un budget limitato, e dall'altro lato preferisce un portafoglio con pochi titoli, o meglio desidera avere un maggiore controllo sulla composizione del proprio portafoglio. Inoltre, investire in un numero non elevato di asset, riduce anche i costi di transazione del portafoglio. Per questo motivo, il numero massimo di titoli detenibili in portafoglio è stato fissato a $k = 8$.
- **Vincolo di limite inferiore** sulle quote di investimento: Si è deciso di limitare la quota minima investibile in ciascun asset, per questo la percentuale minima di capitale investibile in un singolo titolo è stata fissata a $l_i = 5\%$;
- **Vincolo di limite superiore** sulle quote di investimento: La percentuale massima di capitale investibile in un singolo asset è stata fissata a $u_i = 50\%$, in modo da aumentare la diversificazione e non investire una quota troppo elevata in un singolo titolo. Il piccolo investitore detiene infatti un budget limitato a disposizione e non può esporre il suo capitale a grandi rischi e quindi deve fissare un limite superiore alle esposizioni per ciascun titolo;
- **Vincolo di interezza:** Mediante questo vincolo si assicura che tutta la ricchezza a disposizione sia distribuita nei titoli selezionati dall'algoritmo, in maniera tale che non rimangano percentuali piccole tra i titoli non selezionati; dato che nella realtà non è possibile acquistare parti o frazioni molto piccole di azioni.
- **Short sales non ammesse:** Non sono ammesse vendite allo scoperto, pertanto la quota investita in ciascun asset è non negativa.

4.3.3 *Settaggio dei parametri della PSO*

Per quanto riguarda la PSO, si è deciso di utilizzare la versione modificata della PSO originale, quella con il peso d'inerzia (IWA). I parametri da settare sono quelli che

calcolano la velocità di aggiornamento di ogni particella che sono impostati secondo quanto è stato suggerito dalla letteratura e descritto nel precedente capitolo, ossia:

- **Peso d'inerzia:** $w = 0,7298$;
- **Coefficiente di accelerazione cognitivo:** $c_1 = 1,49618$;
- **Coefficiente di accelerazione sociale:** $c_2 = 1,49618$;
- **Numero di particelle:** Il numero di particelle comunemente adottato per lo sciame varia generalmente in un range di 20-100 particelle. Considerando la complessità del problema analizzato, si è deciso inizialmente di definire un numero di particelle pari al doppio della dimensionalità del problema: $p = 2 * numvar$, dove “*numvar*” è il numero di variabili del problema che nella selezione di portafoglio è possibile ricondurre al numero di titoli analizzati. Tuttavia, dopo una serie di prove effettuate con tale valore, si è notata una difficoltà di convergenza dello sciame verso soluzioni buone, nonostante il numero di iterazioni fosse elevato. Per tale motivo, si è deciso di aumentare ulteriormente il numero di particelle a tre volte la dimensionalità del problema: $p = 3 * numvar$;
- **Epsilon:** È definito come **fattore di penalità**. Generalmente Epsilon è un valore molto piccolo, nel modello in oggetto è definito come $e = 0,0001$ ed entra all'interno della funzione di fitness come parametro di penalizzazione dei vincoli. I vincoli del problema di selezione sono infatti divisi per tale valore; una violazione di tali vincoli subirà pertanto un'amplificazione dovuta a questo fattore;
- **Pesi** attribuiti alle quantità di interesse: Le tre quantità di interesse, costituenti la funzione obiettivo (rendimento atteso, rischio e punteggio ESG), sono pesate da tre fattori, λ_1 , λ_2 e λ_3 . Nel problema di selezione modellato, le tre variabili sono equi pesate e, in questo caso, i loro pesi sono identici e uguali a $\frac{1}{3}$;
- **Iterazioni:** Mentre i parametri sopradescritti sono fissi e non variano ad ogni test del modello, il parametro relativo al numero di iterazioni è variabile, in

quanto è modificato di volta in volta per favorire una convergenza dello sciame ad una soluzione migliore. In questo modello non è stato deciso un criterio di arresto dell'algoritmo iterativo, pertanto il ciclo continua la sua esecuzione secondo un numero predefinito. Al termine dell'esecuzione, si verifica la bontà dei risultati ottenuti e si procede a variare tale numero di iterazioni in maniera da favorire sempre più la convergenza dell'algoritmo ed avvicinarsi ad una soluzione che soddisfi le esigenze dell'operatore. Dopo una serie di tentativi e prove di convergenza, si è deciso di adottare un numero di iterazioni pari a 6500.

4.4 Analisi dei dati

Una volta settati tutti i parametri relativi alla PSO e ai vincoli del problema, questo paragrafo illustra l'analisi dei dati ed entra nel cuore dell'applicazione del problema di selezione. Lo scopo di questa analisi è di testare la capacità della PSO nella ricerca di un minimo globale per il problema di ottimizzazione e verificare l'efficacia del portafoglio ottenuto.

4.4.1 Prezzi e rendimenti

Per ciascuna società dell'indice è stato scaricato da Bloomberg il "PX-LAST" che corrisponde al prezzo di chiusura del titolo. Considerato l'ampio periodo temporale di riferimento, la frequenza adottata per i prezzi di chiusura dei titoli delle società è **settimanale**: si hanno a disposizione pertanto 1041 osservazioni settimanali. Tuttavia, non per tutte le società sono presenti i dati a partire dal 1 gennaio 2000, come nel caso delle seguenti otto che sono state escluse dall'applicazione: Amadeus It Group, Linde PLC, Industria de Diseno Textil SA, Engie SA, Anheuser-Bush Inbev SA/NV, Airbus SE, Deutsche Post AG e Deutsche Boerse AG. In questo caso, escludendo questi titoli, si riduce il numero di asset selezionabili da 50 a 42.

Per ciascun titolo si è calcolato la serie storica dei rendimenti utilizzando la formula del rendimento logaritmico che è definita dall'equazione (4.1):

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (4.1)$$

dove p_t è il prezzo di chiusura dell'asset i -esimo nella t -esima settimana, e p_{t-1} rappresenta il prezzo di chiusura dell'asset i -esimo nella settimana precedente.

Una volta determinati i rendimenti per ciascun asset nell'intero periodo di riferimento è possibile procedere alla modellizzazione dell'incertezza sui rendimenti futuri mediante l'utilizzo del numero fuzzy L-R trapezoidale $\xi_{ri} = (a_{ri}, b_{ri}, c_{ri}, d_{ri})_{L_i R_i}$. Come spiegato nel precedente capitolo, vi sono vari modi per determinare i parametri del numero fuzzy trapezoidale tuttavia, in questa tesi, tali parametri sono ottenuti a partire dai percentili empirici dei rendimenti storici (Vercher & Bermúdez, 2012, 2013, 2015). La Tabella 3 illustra i parametri ottenuti:

Tabella 3 – parametri di $\xi_{ri} = (a_{ri}, b_{ri}, c_{ri}, d_{ri})_{LR}$

Società	a_{ri}	b_{ri}	c_{ri}	d_{ri}
L'Oreal SA	-0.0584	-0.0008	0.0048	0.0570
Vinci SA	-0.0641	-0.0005	0.0062	0.0654
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	-0.0848	-0.0045	0.0053	0.0869
Banco Santander SA	-0.0852	-0.0029	0.0050	0.0796
ASML Holding NV	-0.1182	-0.0021	0.0080	0.1100
Koninklijke Philips NV	-0.0989	-0.0035	0.0050	0.0921
Telefonica SA	-0.0752	-0.0041	0.0039	0.0762
TOTAL SA	-0.0648	-0.0022	0.0052	0.0593
Air Liquide SA	-0.0560	-0.0006	0.0057	0.0528
AXA SA	-0.1067	-0.0039	0.0066	0.0976
BNP Paribas SA	-0.0951	-0.0028	0.0055	0.0850
Danone SA	-0.0571	-0.0025	0.0038	0.0569
Vivendi SA	-0.0890	-0.0032	0.0046	0.0784
EssilorLuxottica SA	-0.0561	-0.0005	0.0057	0.0599
LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SE	-0.0762	-0.0023	0.0062	0.0752
Kering SA	-0.0863	-0.0017	0.0061	0.0897
Safran SA	-0.0922	-0.0021	0.0065	0.0887
Koninklijke Ahold Delhaize NV	-0.0788	-0.0013	0.0062	0.0648
Unilever NV	-0.0632	-0.0007	0.0050	0.0608
Iberdrola SA	-0.0654	-0.0010	0.0060	0.0659
ING Groep NV	-0.1114	-0.0038	0.0055	0.0985
Intesa Sanpaolo SpA	-0.0956	-0.0025	0.0059	0.0931
Eni SpA	-0.0687	-0.0014	0.0064	0.0586
Orange SA	-0.0960	-0.0059	0.0036	0.0848
Sanofi	-0.0664	-0.0009	0.0055	0.0655
Societe Generale SA	-0.1168	-0.0049	0.0055	0.1084
Enel SpA	-0.0720	-0.0014	0.0065	0.0550
Nokia Oyj	-0.1342	-0.0065	0.0050	0.1048

Schneider Electric SE	-0.0860	-0.0028	0.0083	0.0826
Allianz SE	-0.0866	-0.0022	0.0061	0.0777
Bayer AG	-0.0822	-0.0027	0.0049	0.0737
Bayerische Motoren Werke AG	-0.0830	-0.0038	0.0054	0.0849
CRH PLC	-0.0807	-0.0028	0.0062	0.0875
BASF SE	-0.0737	-0.0012	0.0072	0.0706
Siemens AG	-0.0879	-0.0023	0.0065	0.0857
Volkswagen AG	-0.0895	-0.0030	0.0074	0.1038
Munich Re	-0.0736	-0.0019	0.0057	0.0711
Fresenius SE & Co KGaA	-0.0791	-0.0015	0.0057	0.0812
SAP SE	-0.0994	-0.0024	0.0067	0.0839
Adidas AG	-0.0687	-0.0003	0.0059	0.0764
Deutsche Telekom AG	-0.0857	-0.0029	0.0028	0.0717
Daimler AG	-0.0898	-0.0032	0.0067	0.0882

Sulla base di tali valori, è possibile determinare i parametri di forma L e R, noti anche come spread destro e sinistro del numero fuzzy trapezoidale, calcolati secondo quanto illustrato nel precedente capitolo in Figura 8. I valori relativi ai parametri L e R sono illustrati nella Tabella 4

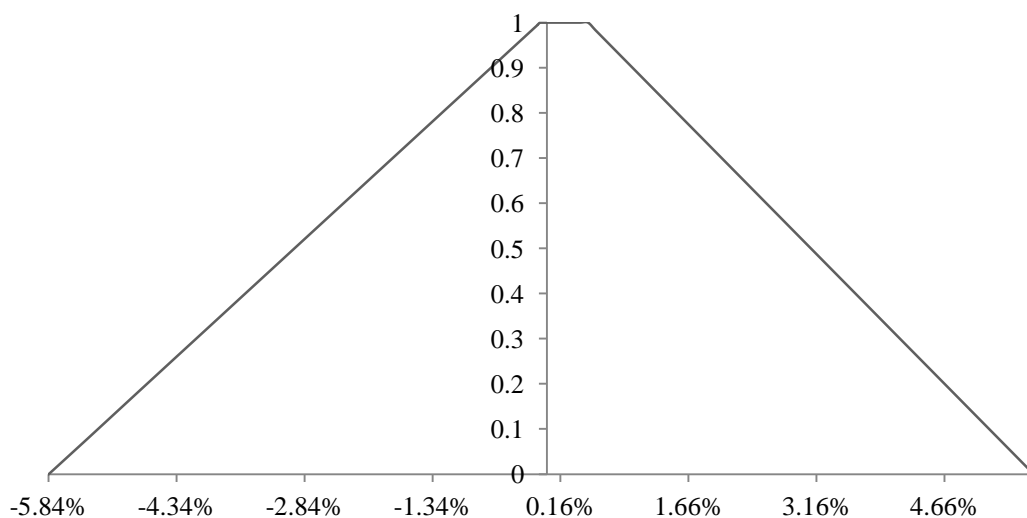
Tabella 4 – Parametri di forma L - R

Società	L	R
L'Oreal SA	0.491870452	0.505724906
Vinci SA	0.509048755	0.539927623
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	0.534793121	0.477029997
Banco Santander SA	0.544212790	0.512225779
ASML Holding NV	0.453769762	0.511685367
Koninklijke Philips NV	0.465360487	0.503207338
Telefonica SA	0.536614571	0.501684485
TOTAL SA	0.531199938	0.563232653
Air Liquide SA	0.529510433	0.554993437
AXA SA	0.460296194	0.477012143
BNP Paribas SA	0.495386864	0.511911061
Danone SA	0.495425447	0.507127829
Vivendi SA	0.432602433	0.459317830
EssilorLuxottica SA	0.514266082	0.489415222
LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SE	0.470183035	0.490749073
Kering SA	0.470907630	0.458119372
Safran SA	0.471586138	0.504665039
Koninklijke Ahold Delhaize NV	0.470114949	0.523880626
Unilever NV	0.475915653	0.473704103
Iberdrola SA	0.496964973	0.443079900
ING Groep NV	0.472326056	0.513816710
Intesa Sanpaolo SpA	0.492788964	0.472818360
Eni SpA	0.499891294	0.517992078
Orange SA	0.435243750	0.458645723

Sanofi	0.552400019	0.536243819
Societe Generale SA	0.456038267	0.500875414
Enel SpA	0.472293401	0.567825974
Nokia Oyj	0.416130416	0.497488067
Schneider Electric SE	0.509300853	0.476075954
Allianz SE	0.488894559	0.489124922
Bayer AG	0.486369735	0.604626020
Bayerische Motoren Werke AG	0.498497768	0.509029194
CRH PLC	0.556962821	0.505586684
BASF SE	0.538297006	0.528746366
Siemens AG	0.491120751	0.480131827
Volkswagen AG	0.549666407	0.487201896
Munich Re	0.487042583	0.494209174
Fresenius SE & Co KGaA	0.482121205	0.497676347
SAP SE	0.417643145	0.478249593
adidas AG	0.534596875	0.528803006
Deutsche Telekom AG	0.444129749	0.491129828
Daimler AG	0.532979333	0.471261771

Una volta determinato lo spread destro (R) e sinistro (L), è possibile rappresentare la funzione di appartenenza del numero fuzzy trapezoidale. Per esempio, in Figura 9, si fornisce la rappresentazione per il titolo l'Oreal, basato sulla misura di credibilità.

Figura 9 – Numero fuzzy trapezoidale di l'Oreal



Come è possibile notare dalla Figura 9, i valori storici dei rendimenti maggiormente frequenti, rappresentati dal core del numero fuzzy trapezoidale, sono stati rappresentati tra il 45° e il 55° percentile dei dati empirici, e sono caratterizzati da un grado di appartenenza pari a 1. I lati del trapezio indicano invece i valori con grado di

appartenenza inferiore a 1, fino ad intersecare l'asse delle ascisse dove il grado di appartenenza si riduce a 0, in corrispondenza dei valori meno frequenti che sono stati fissati con il 3° e 97° percentile dei dati empirici.

Definita la funzione di appartenenza del rendimento fuzzy L-R ξ_{ri} , si procede con la determinazione del rendimento atteso credibilistico di portafoglio, mediante utilizzo della misura di credibilità, come definita dall'equazione (3.1). Il risultato è riportato mediante l'equazione (4.2)

$$R_p = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \left[b_{ri} + c_{ri} + \frac{(d_{ri} - c_{ri})R}{(R+1)} - \frac{(b_{ri} - a_{ri})L}{(L+1)} \right] \omega_i \right]. \quad (4.2)$$

Sulla base del rendimento atteso di portafoglio, definito dall'equazione (4.2), è possibile procedere alla determinazione della misura di rischiosità, secondo quanto previsto dalle equazioni (3.4) e (3.5), rispettivamente per la semivarianza e la semi deviazione assoluta dalla media.

4.4.2 Punteggi ESG

I dati relativi allo score ESG delle 50 società che compongono l'indice sono stati scaricati da Bloomberg, dove sono presenti con la denominazione “ESG DISCLOSURE SCORE”.

Bloomberg ha a disposizione e fornisce dati ESG per oltre 9500 società per circa 83 paesi. Questi dati provengono da dichiarazioni e documentazioni pubbliche delle aziende come report CSR annuali, fonti online presenti nei loro siti web e sondaggi da parte di Bloomberg che richiedono i dati aziendali direttamente. Lo score ESG ha lo scopo di misurare la performance socialmente responsabile di una società con un punteggio che varia da un minimo di 0 ad un massimo di 100, quest'ultimo corrispondente al miglior rating ESG possibile. Per semplicità, in questa tesi il punteggio ESG viene diviso per 100, andando così a ridefinire la scala che varierà da un minimo di 0 ad un massimo di 1.

Per quelle società che non dispongono invece di un punteggio ESG, Bloomberg visualizza la parola “N/A” che indica l’assenza di tale valore.

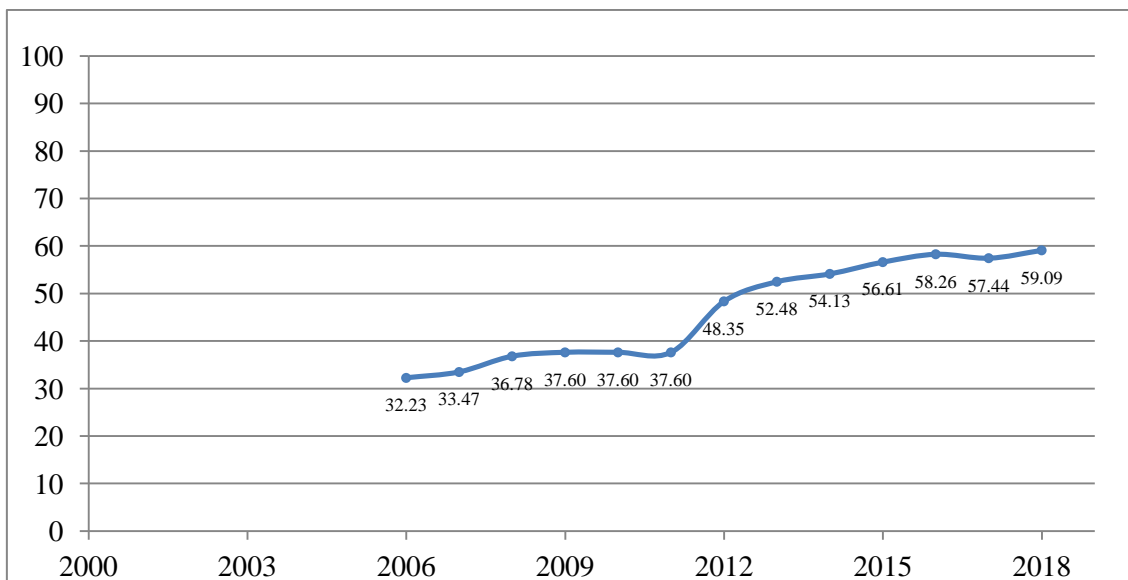
Per quanto concerne la frequenza di tali dati, non si ha a disposizione alcuna osservazione al di fuori del dato annuale, in quanto il punteggio è determinato come una media delle valutazioni derivanti da dichiarazioni e documentazioni pubbliche delle società. Per questo motivo, la scelta di utilizzare la frequenza annuale è stata obbligata. Il periodo temporale intercorre dal 2000 al 2018 che corrisponde all’ultima osservazione disponibile, in quanto non è ancora stato pubblicato il dato relativo all’anno 2019 e 2020. La maggior parte dei dati, tuttavia, è a disposizione solamente a partire dal 2004/2005 e, in alcuni casi, anche in epoche più recenti.

La mancanza dei dati e la loro presumibile non stazionarietà nel tempo genera incertezza ed ambiguità. I dati ESG di terze parti, derivanti da agenzie di rating ESG, che si basano fortemente sulla divulgazione volontaria delle società possono essere retroattivi e di portata limitata; in quanto utilizzare questi dati passati non rispecchierebbe la situazione attuale di una società che magari ha migliorato da molto tempo il suo score ESG e, utilizzando i dati passati, sarebbe penalizzata nella selezione. L'utilizzo di questi dati può rappresentare un valido punto di partenza, ma limitato nel suo uso assoluto. A causa delle limitazioni di qualità, divulgazione e altri pregiudizi inerenti i dati ESG, oggi non è possibile assumere che il dato storico possa valere anche per il futuro, data l’ampia variazione subita dallo score da un anno all’altro. In questo caso la modellistica fuzzy è molto utile per incorporare le opinioni degli esperti circa il possibile valore futuro che, in questa tesi, è modellizzato mediante un numero fuzzy intervallare equipossibile, come definito dalla definizione 8.

Nella stima dell’intervallo si è tenuto conto pertanto della situazione congetturale, del trend in corso, se crescente o decrescente, e dalle prospettive dell’azienda in termini socialmente responsabili, secondo quanto dichiarato dai report annuali. Ecco il motivo per il quale una semplice media aritmetica non è sufficiente come stima dello score atteso. I valori di stima dell’intervallo di variazione determinano gli estremi del numero fuzzy intervallare.

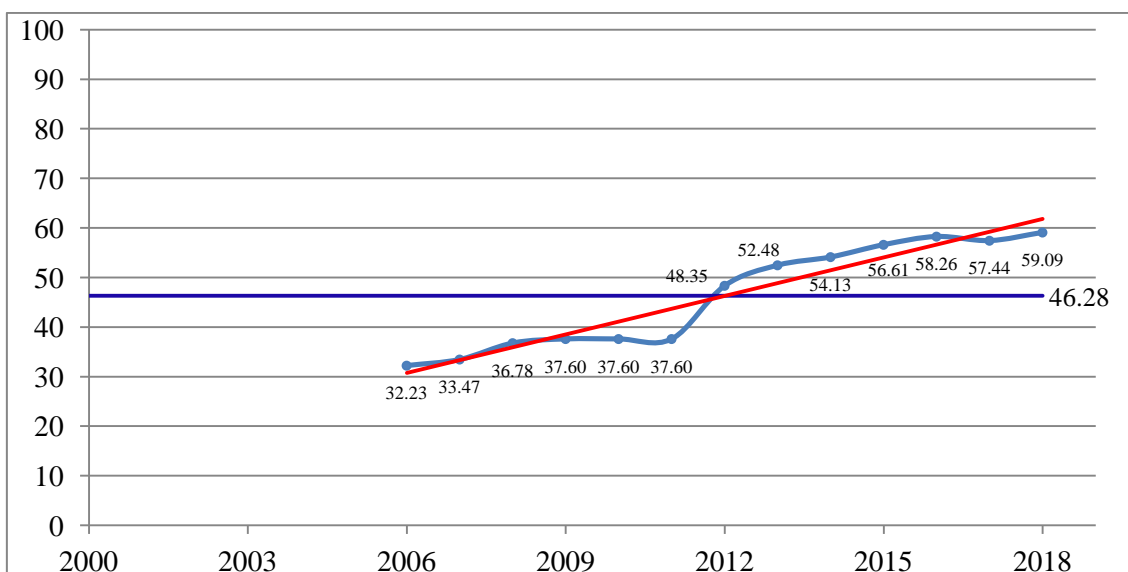
A fine esemplificativi, il Grafico 4 illustra l'andamento dello score ESG per la società Essilor Luxottica. Come è possibile notare, i punteggi ESG sono disponibili non dall'anno 2000, bensì solamente a partire dal 2006.

Grafico 4 – Serie storica score ESG Essilor Luxottica



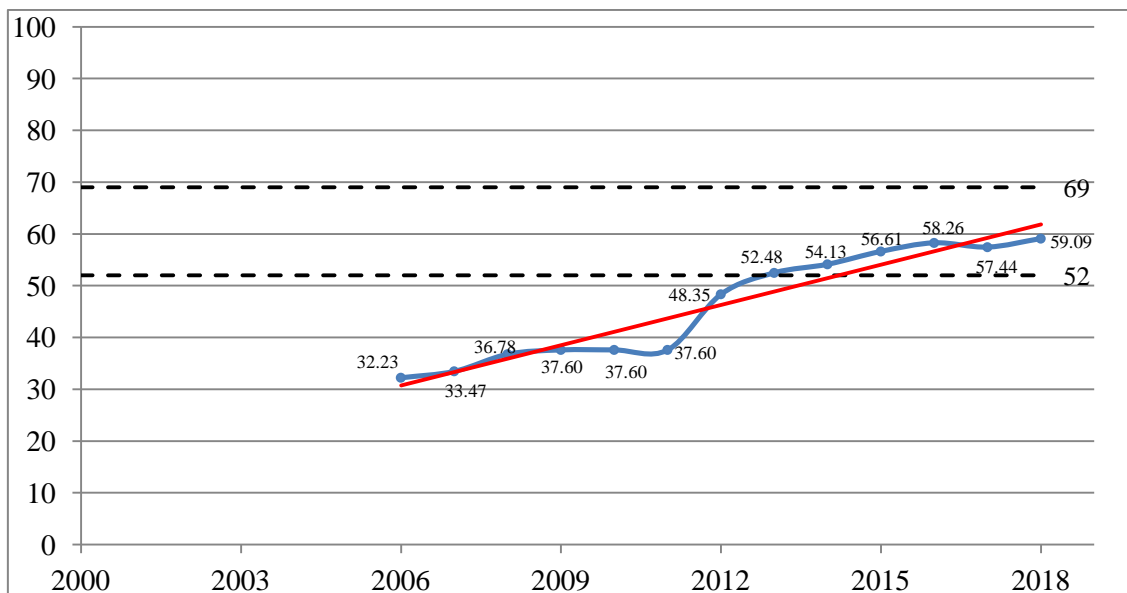
Il Grafico 5 inserisce all'interno del grafico dello score ESG storico (Grafico 4) anche la media delle osservazioni. Come è possibile notare dalla linea viola, la semplice media delle osservazioni non è un dato attendibile sullo score ESG atteso di Essilor Luxottica, visto l'attuale trend crescente che sta registrando, come evidenziato dalla linea di tendenza rossa.

Grafico 5 – Serie storica score ESG Essilor Luxottica con media



Sulla base di questa considerazione, il Grafico 6 illustra, mediante due linee nere tratteggiate, l'intervallo di variazione dello score ESG risultate dalla stima dell'esperto sulla base delle considerazioni effettuate.

Grafico 6 – Serie storica score ESG Essilor Luxottica con intervallo di variazione



All'interno del Grafico 6, le due linee nere tratteggiate definiscono gli estremi b_i e c_i del numero fuzzy intervallare equi possibile, i cui risultati sono illustrati in Tabella 5. Come spiegato nel precedente capitolo, le due linee nere tratteggiate derivano dalla stima degli esperti con riferimento all'intervallo delle possibili realizzazioni future dello score ESG. In questo caso, è stato adottato un numero fuzzy intervallare equiprobabile in quanto non si hanno a disposizione dati storici a sufficienza, quindi ogni scenario è equiprobabile. Inoltre, non avendo un'indicazione con riferimento alla frequenza delle osservazioni, non è possibile modellare un ramo sinistro e destro. Tuttavia, all'aumentare della conoscenza e con il diminuire della non certezza dell'esperto, è possibile procedere anche ad altre rappresentazioni dello score ESG, per esempio mediante il numero fuzzy trapezoidale, come utilizzato per i rendimenti degli asset.

Una volta modellizzato lo score ESG per ciascuna società è possibile determinare il valore dello score ESG atteso mediante l'utilizzo dell'equazione (3.2), i cui risultati sono illustrati nell'ultima colonna a destra della Tabella 5.

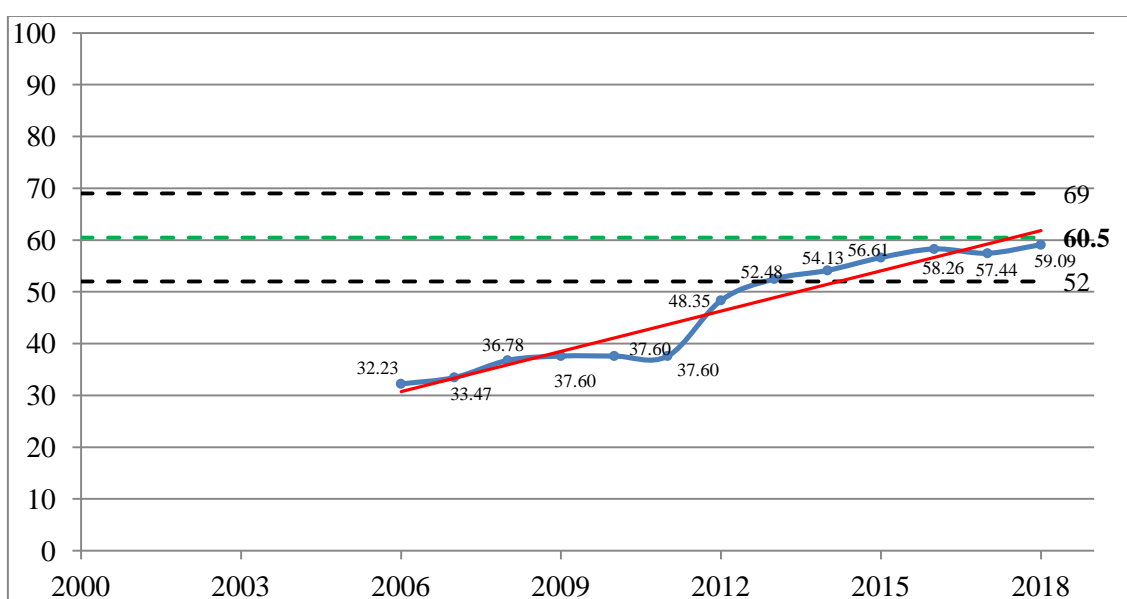
Tabella 5 – Fuzzy ESG score e ESG score atteso

Società	b_i	c_i	$E[\xi_{ESG}]$
L'Oreal SA	50	66	58
Vinci SA	45	55	50
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	52	65	58.5
Banco Santander SA	50	60	55
ASML Holding NV	40	50	45
Koninklijke Philips NV	50	65	57.5
Telefonica SA	46	60	53
TOTAL SA	60	70	65
Air Liquide SA	50	65	57.5
AXA SA	45	55	50
BNP Paribas SA	50	65	57.5
Danone SA	45	60	52.5
Vivendi SA	49	65	57
EssilorLuxottica SA	52	69	60.5
LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SE	53	66	59.5
Kering SA	52	63	57.5
Amadeus IT Group SA	40	55	47.5
Safran SA	38	45	41.5
Koninklijke Ahold Delhaize NV	40	50	45
Unilever NV	50	60	55
Iberdrola SA	60	75	67.5
ING Groep NV	49	65	57
Linde PLC	45	65	55
Industria de Diseno Textil SA	47	58	52.5
Intesa Sanpaolo SpA	60	80	70
Eni SpA	55	70	62.5
Engie SA	50	63	56.5
Orange SA	45	60	52.5
Anheuser-Busch InBev SA/NV	35	55	45
Sanofi	55	70	62.5
Societe Generale SA	48	65	56.5
Enel SpA	60	70	65
Nokia Oyj	50	65	57.5
Schneider Electric SE	55	70	62.5
Allianz SE	50	65	57.5
Airbus SE	45	60	52.5
Bayer AG	53	68	60.5
Bayerische Motoren Werke AG	55	70	62.5
CRH PLC	55	70	62.5
BASF SE	57	68	62.5
Siemens AG	47	60	53.5
Volkswagen AG	55	70	62.5
Munich Re	55	70	62.5
Fresenius SE & Co KGaA	20	45	32.5
SAP SE	60	25	42.5
adidas AG	38	52	45

Deutsche Telekom AG	38	55	46.5
Deutsche Post AG	44	56	50
Daimler AG	60	45	52.5
Deutsche Boerse AG	40	60	50

Riprendendo il grafico contenente la serie storica di Essilor Luxottica, il Grafico 7 illustra l'andamento storico dello score ESG includendo anche l'intervallo di stima e il valore atteso corrispondente a tale intervallo, rappresentato dalla linea tratteggiata verde.

Grafico 7 – Serie storica score ESG Essilor Luxottica con valore atteso



Come è possibile notare dal Grafico 7, le attese sullo score ESG derivanti dalla stima dell'esperto, rappresentate dalla linea tratteggiata in verde, sono maggiormente coerenti con l'andamento attuale dello score ESG del titolo Essilor Luxottica.

Determinato il punteggio ESG atteso, è possibile procedere all'implementazione del modello di selezione di portafoglio socialmente responsabile, come definito nel paragrafo 3.4 del capitolo 3.

4.5 Risultati dell'analisi

Determinate tutte le quantità del problema e settati tutti i parametri necessari, è possibile procedere all'esecuzione dell'algoritmo della PSO. Come accennato in precedenza, i modelli testati sono due e fanno riferimento a due misure differenti di rischio, la **semivarianza** e la **semideviazione** assoluta dalla media. Per ragioni di praticità, i modelli saranno indicati con **SV** per quello contenente la semivarianza come misura di rischio, e **MASD** per quello che utilizza la semideviazione dalla media.

È bene precisare che per ogni iterazione sono stati eseguiti più run⁶⁷ del codice, in maniera tale da confrontare differenti soluzioni e selezionare la migliore: una soluzione è considerata buona se rispetta determinati parametri che saranno descritti successivamente. Per la risoluzione di entrambi i modelli, in primis è stato fissato un valore di lambda pari a $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{3}$, cosicché tutte e tre le variabili della funzione obiettivo (rendimento, rischio e punteggio ESG) siano pesate allo stesso modo. Questo caso può essere interpretato come il profilo di un investitore che voglia integrare la componente ESG all'interno del proprio processo di investimento ma è neutrale circa la preferenza di un parametro in particolare: in questo caso rischio, performance finanziaria e performance sostenibile hanno la stessa importanza.

In secondo luogo, è stato inizialmente fissato un numero di iterazioni di partenza pari a 500.

Già a partire dal primo run, tale numero si è rivelato inadeguato. Per motivare questa inadeguatezza, la Figura 10 e la Figura 11 mostrano rispettivamente le funzioni di fitness generate da un'esecuzione dell'algoritmo dei modelli SV e MASD, effettuati con 500 iterazioni.

⁶⁷ Con il termine “run” si fa riferimento al comando di esecuzione dell'algoritmo del software.

Figura 10 – Funzione di fitness del modello MASD con 500 iterazioni

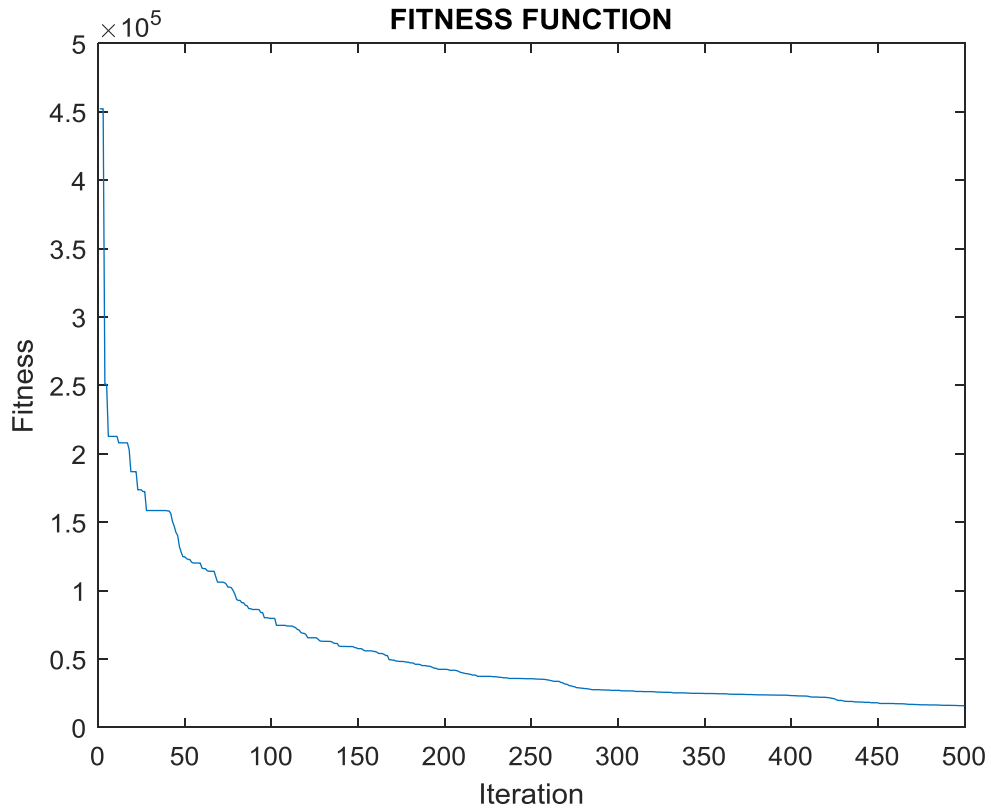
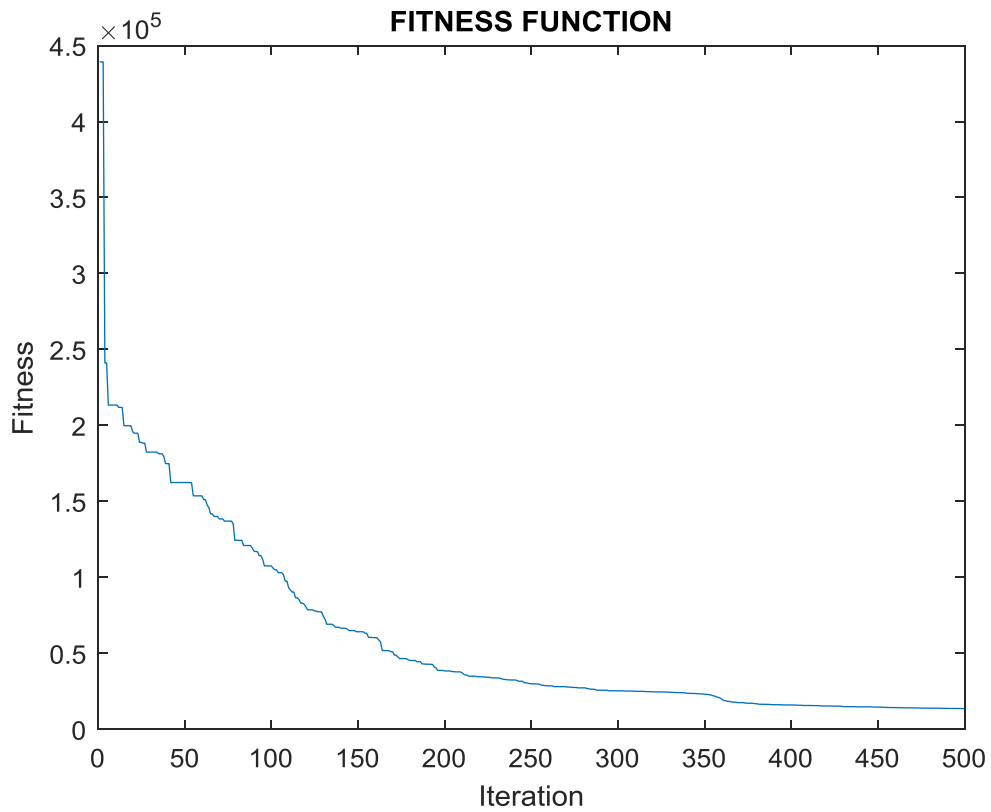


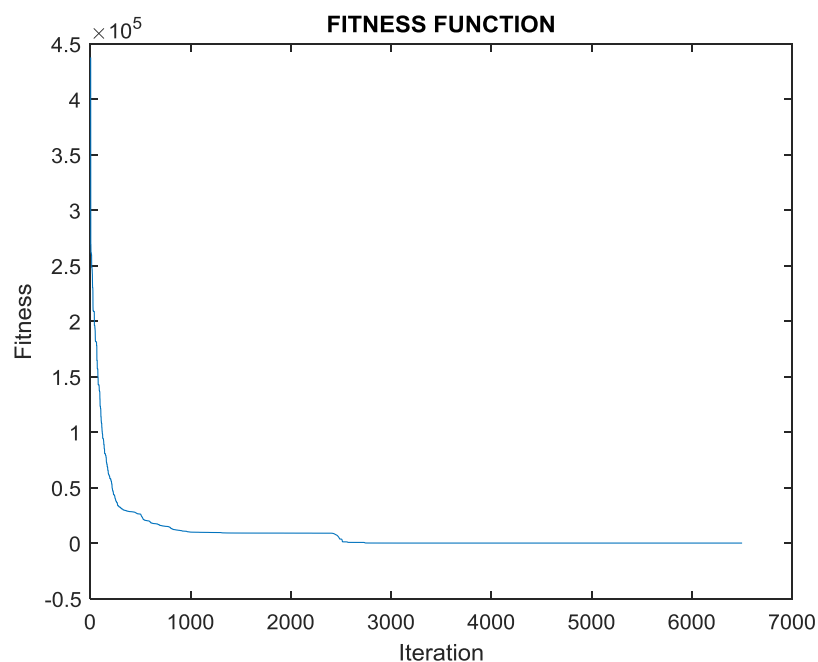
Figura 11 – Funzione di fitness del modello SV con 500 iterazioni



La Figura 10 e la Figura 11 illustrano l'andamento decrescente della funzione di fitness ed indicano che l'algoritmo risolutivo sta effettivamente minimizzando la funzione di fitness. Tuttavia, è possibile notare come in corrispondenza dell'ultima iterazione (la numero 500) presente nell'asse delle ascisse, la funzione non assuma dei valori particolarmente piccoli. Il significato da attribuire, in questo caso, è che lo sciame non è converso in una soluzione che sia la più buona possibile; l'ampiezza della parte finale del grafico indica che la funzione di fitness non è stata completamente minimizzata e che sono necessarie ulteriori iterazioni per far sì che vi sia un avvicinamento verso lo zero. Questo è dovuto principalmente alla complessità del modello generata dalla presenza di un numero considerevole di parametri, vincoli e dati da analizzare.

Alla luce di queste considerazioni, sono stati effettuati differenti run con un numero crescente di iterazioni osservando il comportamento della funzione di fitness. In corrispondenza di ogni numero di iterazione fissato, sono stati eseguiti circa 3-4 run prima di procedere ad un numero di iterazione differente. Il numero ottimale è stato scelto quando la funzione di fitness ha raggiunto valori vicini allo zero; in tal caso le iterazioni sono state considerate sufficienti e non è stato necessario procedere ad altre prove. In questo caso, i risultati ottenuti sono considerati attendibili. Come anticipato precedentemente nel paragrafo 4.3.3, il valore di iterazioni ottimale è stato fissato a 6500, sia per il modello SV che per quello MASD; come mostrato in Figura 12.

Figura 12 – Funzione di fitness con 6500 iterazioni



Per valutare la bontà della soluzione restituita dall'algoritmo è stato tenuto conto, come già spiegato precedentemente, dell'andamento decrescente della funzione di fitness fino alla sua conversione nel valore 0. In secondo luogo, sono state considerate le violazioni dei vincoli. Il valore di violazione ottimale è 0, indicante l'assenza assoluta di violazione. Maggiore è tale valore dallo 0, maggiore sarà il grado di violazione del vincolo in esame. Questi sono i due criteri a cui è stata attribuita maggiore importanza nella valutazione del modello, dopodiché si è valutato il rendimento, non tanto in termini di grandezza ma in termini di segno: valori negativi del portafoglio sono stati considerati come una combinazione non buona dei pesi di portafoglio generata dall'algoritmo e soprattutto non coerente con lo scopo del modello di portafoglio che è quello di generare una selezione di asset su cui investire che garantiscano un minimo di prestazione finanziaria e non assorbano ricchezza. Nella valutazione della bontà e delle performance dei portafogli proposti, si è tenuto conto del rendimento settimanale medio di portafoglio e della relativa misura di rischio corrispondente. Si è generata inoltre una misura del rendimento medio annuo.

4.5.1 *Modello SV*

Con riferimento al modello SV, si sono effettuati 10 run con 6500 iterazioni ciascuno. I risultati ottenuti, riportati in appendice C, presentano tutti un rendimento positivo e nessuna violazione dei vincoli. Il risultato migliore, derivante dai portafogli ottenuti dal modello SV, è un rendimento del **14,3%** medio annuo. Ai fini della comparabilità dei portafogli tuttavia, il rendimento non è una misura confrontabile in quanto il maggior ritorno può essere giustificato da un grado maggiore di rischio assunto. È necessario individuare la selezione di asset in cui il maggior rendimento rispetto ad un altro portafoglio si è verificato a parità, se non addirittura in concomitanza, di una diminuzione del rischio. Si deciso a tal proposito di rapportare il rendimento settimanale medio alla rispettiva misura di rischiosità, in tal caso è possibile misurare il rendimento ottenibile a parità di unità di rischio. La combinazione ottimale di asset che presenta un rapporto rendimento/rischio più elevato, ha generato un rendimento medio annualizzato del **12,18%**. La Tabella 6 riporta il risultato ottenuto da questa selezione.

Tabella 6 – Migliore portafoglio ottenuto dal modello SV

	Analisi in-sample	Analisi out-of-sample
Rendimento medio settimanale	0.001026606	0.002211972
Semivarianza	0.000266482	0.000113823
Rendimento medio annualizzato	0.054805242	0.121756257

La Tabella 7 illustra gli asset corrispondenti a tale selezione. Nell'ultima colonna della Tabella 7, sono riportati inoltre i punteggi ESG attesi corrispondenti a ciascun asset selezionato. Sulla base di tali punteggi si è deciso di generare un punteggio ESG medio ponderato di portafoglio come misura della **performance sociale** del portafoglio stesso.

Tabella 7 – Asset selezionati dal miglior portafoglio SV

Società	Percentuale investita	ESG atteso
L'Oreal SA	14.78%	58.00
Banco Santander SA	9.73%	55.00
Vivendi SA	5.41%	57.00
EssilorLuxottica SA	12.95%	60.50
Kering SA	7.88%	57.50
Iberdrola SA	26.63%	67.50
Eni SpA	14.02%	62.50
Adidas AG	8.60%	45.00
Totale	100.00%	
ESG medio ponderato		59.98

Il punteggio ESG medio ponderato di portafoglio è circa 60 ed indica una selezione che ha tenuto conto in maniera considerevole, accanto alla minimizzazione del rischio e alla massimizzazione del rendimento, del punteggio ESG atteso dei titoli. Questo risultato conferma la validità e l'applicabilità del modello proposto nel considerare sia la performance sociale che la performance finanziaria nel processo decisionale di investimento.

Per quanto concerne i vincoli del modello, è possibile notare l'assenza di violazione dei suddetti. Il **vincolo di bilancio** è stato perfettamente rispettato in quanto la somma delle quote investite negli asset è il 100%, il che significa che tutta la ricchezza è stata ripartita tra i titoli selezionati dal modello. Anche il **vincolo di cardinalità**, impostato a $k=8$, non è stato violato in quanto le società selezionate sono esattamente pari a 8. I vincoli relativi al **limite inferiore** del 5% e al **limite superiore** del 50% sono stati

anch'essi rispettati in quanto non vi sono quote singole di investimento che violano tali vincoli. Sempre con riferimento alle quote di investimento, anche il **vincolo di interezza** risulta pienamente rispettato in quanto non vi sono frazioni o parti residue di quote che sono rimaste diffuse tra gli altri titoli non selezionati. Infine, anche il **vincolo di non negatività** dei pesi di portafoglio (vendite allo scoperto non ammesse) è stato rispettato, in quanto non sono stati selezionati titoli con pesi negativi ma solamente positivi. La Tabella 8 riporta i valori relativi a tali violazioni, a conferma dei risultati ottenuti.

Tabella 8 – Violazione dei vincoli portafoglio ottimo SV

Violazione del vincolo	Valore
Vincolo di bilancio	0.0000000000377
Vincolo di cardinalità	0.0000000000048
Vincolo di limite inferiore	0.0000000000285
Vincolo di limite superiore	0.0000000004268
Vincolo di interezza	0.0000000008439
Vincolo di non negatività	0.0000000000323

Risulta evidente, sulla base dei valori riportati in Tabella 8, che le violazioni dei vincoli riportati sono insignificanti e l'algoritmo ha ottimizzato le variabili del problema rispettando i limiti imposti dal decision maker.

4.5.2 Modello MASD

Anche per quanto concerne il modello MASD si sono effettuati 10 run con 6500 iterazioni ciascuno. I risultati ottenuti, riportati in appendice C, presentano tutti un rendimento positivo e nessuna violazione dei vincoli. Il risultato migliore, derivante dai portafogli ottenuti dal modello MASD è caratterizzata da rendimento del **14,3%** medio annuo. Con riferimento alle considerazioni effettuate nel precedente sottoparagrafo, ai fini della confrontabilità del rendimento si è deciso anche in questo caso di riportare il rendimento settimanale medio alla rispettiva misura di rischiosità, in maniera tale da poter misurare il ritorno ottenibile a parità di unità di rischio. La combinazione ottimale

di asset che presenta un rapporto rendimento/rischio più elevato ha generato un rendimento medio annualizzato del **5,05%**. Si riporta anche un'altra combinazione il cui rendimento medio annualizzato ammonta a **7,27%**. Però, nonostante sia caratterizzata da un profilo rendimento/rischio leggermente inferiore, presenta una migliore performance sociale. La Tabella 9 riporta i risultati ottenuti da queste due selezioni. La selezione A fa riferimento alla combinazione che genera il 5,05% medio annuo, mentre la selezione B fa riferimento a quella caratterizzata da un 7,27% medio annuo.

Tabella 9 – Migliore portafoglio ottenuto dal modello MASD

	Analisi in-sample	Analisi out-of-sample
Soluzione A		
Rendimento medio settimanale	0.000276967164	0.000948021761
Semideviazione assoluta dalla media	0.000731389293	0.000319146575
Rendimento medio annualizzato	0.014504482197	0.050507918355
Soluzione B		
Rendimento medio settimanale	0.001562834548	0.001350520784
Semideviazione assoluta dalla media	0.001136333083	0.000889002867
Rendimento medio annualizzato	0.084592086147	0.072700930263

La Tabella 10 e la Tabella 11 illustrano rispettivamente i titoli scelti dalle due selezioni. Nell'ultima colonna della Tabella 10 e 11, sono riportati inoltre i punteggi ESG attesi corrispondenti a ciascun asset selezionato. Sulla base di tali punteggi, come per il modello SV, anche per i modelli MASD si è deciso di generare un punteggio ESG medio ponderato di portafoglio come misura della **performance sociale** del portafoglio stesso.

Tabella 10 – Soluzione A del modello MASD

Società	Percentuale investita	ESG atteso
Telefonica SA	8.83%	53.00
AXA SA	16.55%	50.00
Danone SA	24.06%	52.50
Vivendi SA	18.15%	57.00
Iberdrola SA	7.82%	67.50
Intesa Sanpaolo SpA	12.40%	70.00
Allianz SE	5.09%	57.50
Bayer AG	7.09%	60.50
Totale	100%	
ESG medio ponderato		57.11

Tabella 11 – Soluzione B del modello MASD

Società	Percentuale investita	ESG atteso
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	12.55%	58.50
BNP Paribas SA	6.57%	57.50
Danone SA	5.78%	52.50
EssilorLuxottica SA	6.27%	60.50
Kering SA	20.19%	57.50
Bayerische Motoren Werke AG	9.97%	62.50
Volkswagen AG	33.16%	62.50
Adidas AG	5.51%	45.00
Totale	100%	
ESG medio ponderato		58.99

Secondo quanto emerge dalla Tabella 10 e dalla Tabella 11, la soluzione B presenta un punteggio ESG medio ponderato di portafoglio di 59, più elevato rispetto alla soluzione A che ammonta a circa 57. Nonostante la soluzione B sia caratterizzata da un profilo rendimento/rischio leggermente inferiore rispetto alla soluzione A, complessivamente presenta un rendimento medio annuo superiore (assumendosi un maggior rischio) e una performance sociale superiore, motivo per il quale la soluzione B è considerata migliore della soluzione A. Anche questo risultato conferma la validità e l'applicabilità del modello MASD nel considerare sia la performance sociale che la performance finanziaria nel processo decisionale di investimento. Un'evidenza empirica, derivante dai risultati ottenuti, del perfetto mix tra componente finanziaria e componente sostenibile del modello è ravvisabile osservando la Tabella 11 e la Tabella 7 relativa alle migliori selezioni, rispettivamente dei modelli MASD e SV. È bene osservare che entrambi i modelli, caratterizzati da un punteggio ESG medio ponderato di portafoglio molto elevato (59.8 per il modello SV e 59 per il modello MASD), considerano nella selezione anche il titolo Adidas (si veda a tal proposito l'ultima riga di entrambe le tabelle) nonostante sia caratterizzato da un punteggio ESG basso, pari a 45. Entrambi i modelli, nonostante il punteggio ESG di Adidas non sia tra i migliori, investono una quota anche in tale titolo (8.60% per il modello SV e 5.51% per il modello MASD). Il motivo di questa selezione risiede infatti nelle performance finanziarie di Adidas che consentono al portafoglio complessivo di innalzare la performance finanziaria senza avere peggioramenti rilevanti nella performance sostenibile. Questo è un importante risultato del perfetto mix tra minimizzazione del rischio e massimizzazione del rendimento e della componente ESG effettuata dai modelli, in coerenza con la politica di investimento adottata dell'**ESG investing**. Come spiegato nel primo capitolo di

questa tesi, la specificità della classe di investimento sostenibile dell'ESG investing risiede infatti nel considerare la sostenibilità dell'investimento senza rinunciare nel contempo alla performance finanziaria; a differenza di altre classi di investimento sostenibile in cui si adotta un approccio di screening nella selezione dei titoli e non di integrazione degli aspetti ESG nel modello di portafoglio tradizionale.

Procedendo con l'analisi dei risultati del modello MASD, si analizza infine il rispetto o meno dei vincoli imposti al modello. Da una prima lettura delle Tabelle 10 e 11, è possibile notare l'assenza di violazione nei vincoli.

Il **vincolo di bilancio** è stato perfettamente rispettato in quanto la somma delle quote investite negli asset è il 100%, il che significa che tutta la ricchezza è stata ripartita tra gli asset selezionati dal modello. Anche il **vincolo di cardinalità**, impostato a $k=8$, non è stato violato in quanto le società selezionate sono esattamente pari a 8. I vincoli relativi al **limite inferiore** del 5% e al **limite superiore** del 50% sono stati anch'essi rispettati in quanto non vi sono quote singole di investimento che violano tali vincoli. Sempre con riferimento alle quote di investimento, anche il **vincolo di interezza** risulta pienamente rispettato in quanto non vi sono frazioni o parti residue di quote che sono rimaste diffuse tra gli altri titoli non selezionati. Infine, anche il **vincolo di non negatività** dei pesi di portafoglio (vendite allo scoperto non ammesse) è stato rispettato in quanto non sono stati selezionati pesi negativi di investimento ma solamente positivi. La Tabella 12 riporta i valori relativi alle violazioni dei vincoli nelle soluzioni A e B, a conferma dei risultati ottenuti.

Tabella 12 – Violazione dei vincoli delle soluzioni A e B modello MASD

Violazione del vincolo	Soluzione A	Soluzione B
Vincolo di bilancio	0.000000000000	0.000000000000
Vincolo di cardinalità	0.000000000000	0.000000000001
Vincolo di limite inferiore	0.000000000001	0.000000000748
Vincolo di limite superiore	0.000000006544	0.000000001713
Vincolo di interezza	0.000000000049	0.000000001369
Vincolo di non negatività	0.000000000001	0.000000000748

Risulta evidente, sulla base dei valori riportati in Tabella 12, che per entrambe le soluzioni A e B del modello MASD le violazioni dei vincoli riportati risultano insignificanti.

4.6. Benchmarking

In questo paragrafo, mediante il benchmarking si procede ad un confronto dei risultati ottenuti per mezzo di un parametro oggettivo e trasparente di riferimento, definito **benchmark**.

Un benchmark spesso utilizzato sia in teoria che in pratica consiste nella **Naive Diversification** (ND), conosciuta meglio come portafoglio naive o **equally weighted**. Un portafoglio si definisce **naive** quando l'investimento viene suddiviso in N parti uguali, dove N indica il numero totale di titoli considerati, che nel nostro caso ammontano a 42.

Secondo De Miguel et al. (2009), un benchmark basato su questo tipo di regola sembrerebbe essere valido e utile in confronto ad una vasta gamma di approcci di ottimizzazione. Gli autori dimostrano infatti che nessuno dei 14 modelli da loro testati è costantemente migliore della regola 1/N in termini di Sharpe ratio, rendimento equivalente certo⁶⁸ per l'utilità attesa di un investitore a media-varianza e in termini di turnover (volume di trading) per ogni strategia di portafoglio; il che indica, secondo la loro opinione, che il guadagno derivante dall'accurata diversificazione delle tecniche di ottimizzazione testate è più che compensato dall'errore di stima.

Vi sono due motivi principali per adoperare il portafoglio equally weighted come benchmark. Prima di tutto, è un approccio di facile implementazione in quanto non si basa né sulla stima dei momenti dei rendimenti degli asset, né sull'ottimizzazione. In secondo luogo, nonostante lo sviluppo dei modelli teorici sofisticati negli ultimi 50 anni e i progressi nei metodi di stima dei parametri di questi modelli, gli investitori

⁶⁸ Nella pratica professionale, l'equivalente certo corrisponde all'ammontare che un investitore è disposto ad accettare rinunciando nel contempo ad un guadagno più alto, ma incerto. E' facile intuire che il significato di equivalente certo è fortemente correlato a quello di avversione al rischio in quanto, in ambito finanziario, un investitore prudente è disposto a evitare situazioni rischiose preferendo un guadagno minore, ma certo, a fronte di uno maggiore, ma solo potenziale.

continuano ad utilizzare queste semplici regole di allocazione per allocare la loro ricchezza tra gli asset⁶⁹.

Sulla base di queste considerazioni pertanto, si è deciso di adoperare il benchmark basato sul portafoglio naive o equally weighted. Avendo a disposizione la serie storica dei rendimenti logaritmici out-of-sample, non è stato necessario applicare alcun algoritmo di ottimizzazione per la ricerca dei pesi ottimali di investimento. In questo modo, si è calcolata la serie storica dei rendimenti out-of-sample ponderata per la quota di investimento di ciascun titolo, che ammonta a 1/42. Mediante utilizzo di tale serie storica, si è generata la misura di rendimento atteso di portafoglio naive credibilistica, secondo quanto è stato effettuato in precedenza nei modelli SV e MASD, descritta dall'espressione (4.2). Sia nel caso di utilizzo della semivarianza (SV) che nel caso di utilizzo della semideviazione assoluta dalla media (MASD) come misura di rischio, il rendimento atteso medio settimanale di portafoglio è il medesimo in entrambi i modelli equally weighted SV e MASD e ammonta a -0.000204541, che annualizzato corrisponde a un rendimento medio annuo negativo dell'1.06 % circa. Ciò che è differente è la misura di rischio nei due modelli che ammontano rispettivamente a 0.007449 nel modello MASD e 0.00018356 in quello SV.

Come emerge dai dati, il ritorno di questo portafoglio è negativo. Ciò indica che i portafogli dei modelli SV e MASD, generati mediante ottimizzazione e selezione con i pesi ottimi risultanti dall'algoritmo, hanno performato meglio rispetto ad una tecnica di diversificazione equally weighted basata anch'essa sulla misura fuzzy credibilistica del rendimento atteso e rischio di portafoglio. Questo è un risultato importante in quanto investire utilizzando l'approccio adoperato in questa tesi permette non solamente di ottenere una buona performance finanziaria e sostenibile, ma anche di ottenere un ritorno finanziario superiore rispetto ad una tecnica classica e sistematicamente adoperata dagli investitori che è la naive diversification.

Come sostenuto da DeMiguel et al. (2009), la complessità metodologica dei modelli sofisticati non portano necessariamente l'ottimalità degli investimenti nella pratica e questo è generato dalla complessità dei mercati finanziari, vista la mescolanza di fattori economici, politici e umani che rendono vulnerabili i modelli complessi. Questi

⁶⁹ Per esempio, Benartzi e Thaler (2001) documentano che gli investitori allocano la loro ricchezza tra gli asset usando la regola naive 1/N.

modelli, pertanto, possono subire significative variazioni a seguito di shock imprevedibili o a combinazioni di fattori che non possono essere integrati in modo efficace nel modello. In questo contesto, l'approccio fuzzy, nella selezione di portafoglio, riveste un ruolo fondamentale nell'incorporare le aspettative e le credenze degli esperti o degli investitori nel processo decisionale di investimento. In questo caso è possibile modellare le attese dei soggetti a seconda degli scenari futuri, pessimisti o ottimisti, variando le funzioni di appartenenza del numero fuzzy. Questo è uno strumento importante e alternativo rispetto ai classici metodi di ottimizzazione, soprattutto laddove la non certezza nei rendimenti o nelle variabili in generale è molto elevata. Questo spiega anche la sovra performance del portafoglio generato rispetto al benchmark adoperato. Lo stesso DeMiguel e i suoi co-ricercatori ammettono infatti che gli approcci complessi tradizionali sono seriamente vincolati da problemi di stima e in questo caso i veri momenti dei rendimenti delle attività sono sconosciuti, portando a errori di stima potenzialmente elevati. Di conseguenza, un portafoglio sensibilmente costruito come nel caso trattato in questa tesi, che viene regolarmente monitorato e ribilanciato in termini di ciò che sta accadendo in quel momento o in previsione futura, permette di superare la non certezza con strumenti pienamente validi, la cui applicabilità è stata dimostrata anche mediante questa applicazione pratica.

Conclusioni

Una delle innovazioni più rilevanti nella finanza moderna è la teoria di selezione del portafoglio. Harry Markowitz, fondatore di questo importante contributo pionieristico, applicò la nota teoria delle probabilità al problema di selezione, e sviluppò la formulazione matematica del modello media-varianza; dove il valore atteso e la varianza sui tassi di rendimento degli asset rappresentano i due criteri primari di selezione, che furono assunti rispettivamente come ritorno e rischio dell'investimento. Il noto modello media-varianza si occupa quindi della selezione di titoli da includere nel portafoglio, in modo da ottimizzare la rendita degli investimenti e minimizzare nel contempo il rischio assunto dagli individui. A partire dai precetti teorici del lavoro fondamentale di Markowitz, un gran numero di modelli di selezione di portafoglio sono stati sviluppati e sono stati proposti, inoltre, approcci differenti per risolvere le limitazioni derivanti dal modello originario. In tutti questi contributi, il tasso di rendimento di un titolo è generalmente trattato come una variabile casuale e il problema di selezione di portafoglio è formulato in termini di un problema di programmazione stocastica.

Dall'altro lato, basati sulla Possibility theory, un gran numero di ricercatori come Carlsson, Fullér e Majlender, Inuiguchi e Tanino, Tanaka, Guo e Türksen e León, Liern e Vercher hanno dedicato i propri sforzi ai problemi di selezione fuzzy del portafoglio. Generalmente, i modelli di selezione presuppongono che le condizioni future del mercato azionario possano essere accuratamente previste dai dati storici senza prestare attenzione all'accuratezza dei dati precedenti (Chen e Huang, 2009). Tuttavia, la maggior parte dei problemi del mondo reale si svolgono in un ambiente impreciso e i ricercatori in ambito fuzzy ritengono che il classico approccio a volte potrebbe non essere adeguato, in quanto i mercati finanziari, in determinati contesti, sono caratterizzati da un'elevata volatilità e quindi da imprecisione nei dati storici. Non avendo certezza dell'accuratezza dei tassi di ritorno e delle altre variabili nella fase decisionale, gli investitori faranno ricorso alla conoscenza degli esperti per una stima che aderisca maggiormente alle aspettative e alle credenze degli individui. A tal fine, la variabile fuzzy rappresenta uno strumento appropriato e idoneo per incorporare le opinioni e le credenze degli investitori e degli esperti, ai quali si rivolgono. Di

conseguenza, il problema di selezione di portafoglio è formulato come un problema di programmazione fuzzy. Dal momento che la conoscenza degli esperti è molto preziosa in un processo decisionale, i modelli di selezione fuzzy del portafoglio sono utili in un problema di investimento reale in un contesto di non certezza.

Tradizionalmente, la misura di possibilità derivante dalla Possibility theory è considerata come la controparte della misura di probabilità, ed è stata ampiamente utilizzata in letteratura e nella pratica. Tuttavia, è la misura di credibilità che svolge il ruolo di misura di probabilità nei sistemi di decisione fuzzy. Di conseguenza, una nuova teoria, chiamata Credibility theory, è stata sviluppata a seguito del limite evidente della Possibility theory e descritto nel capitolo 2 di questa tesi, che riguarda il fatto di non essere auto-duale. La misura di credibilità è adottata in quanto rispetta questa proprietà ed è quindi adoperata per misurare il grado in cui si verifica un determinato evento fuzzy. Sulla base della misura di credibilità, Liu e Liu hanno definito inoltre il valore atteso e la varianza di una variabile fuzzy, che sono utilizzate per applicare la Credibility theory allo studio dei problemi di selezione di portafoglio.

Nel problema di selezione di portafoglio trattato in questa tesi, si è deciso di utilizzare il framework credibilistico, in alternativa al classico approccio probabilistico, per caratterizzare la non certezza dei mercati finanziari. In questo caso, utilizzando un modello di ottimizzazione finanziaria basata su un approccio fuzzy credibilistico, permette di integrare al meglio l'analisi quantitativa, l'analisi qualitativa e le conoscenze degli esperti e delle opinioni soggettive dei gestori.

Considerata la crescente sensibilità del mondo finanziario verso obiettivi socialmente responsabili, si è deciso inoltre di estendere il modello in questa direzione, considerando accanto alla tradizionale analisi finanziaria, anche un'integrazione degli aspetti socialmente responsabili degli investimenti. Talvolta, come evidenziato nel primo capitolo di questa tesi, non vi è solamente una consapevolezza tra la massa degli individui dell'importanza di questi temi, ma molto spesso è la spinta normativa, o le istituzioni stesse, che richiedono di tenere in adeguata considerazione questi fattori. Una testimonianza dell'importanza di questo trend verso la sostenibilità è ravvisabile anche dalle dichiarazioni della Banca d'Italia, che nella gestione dei propri investimenti dà

valore alla sostenibilità, attribuendo un peso maggiore ai fattori che favoriscono una crescita sostenibile, attenta alla società e all'ambiente.

Gli investimenti sostenibili sono in continua crescita in Europa e nel mondo; a supporto di tale sviluppo vi sono differenti metodi di selezione e gestione di portafoglio che tengono conto di queste migliori prassi ambientali, sociali e di governance. L'approccio adottato in questa tesi si definisce ESG Investing o integration, e consiste nell'inclusione sistematica ed esplicita, da parte dei gestori di portafogli, dei fattori ambientali, sociali e di governance all'interno dell'analisi finanziaria. L'integrazione materiale degli indicatori ESG consente di fornire delle informazioni supplementari con riferimento ai rischi e alle opportunità di un investimento; in quanto le aziende che performano bene da un punto di vista sostenibile sono destinate a crescere e sopravvivere nel lungo periodo e in un futuro che richiede standard sempre più elevati in termini ESG.

Il vantaggio principale dell'ESG integration, nell'ambito della selezione del portafoglio, risiede infatti nel considerare la performance sostenibile senza rinunciare nel contempo alla performance finanziaria. Per dimostrare l'applicabilità e la validità dell'ESG integration, utilizzando un approccio fuzzy credibilistico, nel capitolo 4 è presentata un'applicazione pratica basata sui dati forniti dall'indice Eurostoxx50. L'applicazione consiste in due modelli caratterizzati da due diverse misure di rischio, la semivarianza e la semideviazione assoluta dalla media; in modo da testare in maniera differente la validità del framework adottato. I modelli proposti sono caratterizzati dalla presenza di tre variabili fondamentali da ottimizzare: il rischio, il rendimento e la componente ESG. In aggiunta, per rendere il problema maggiormente realistico e aderente alla realtà, sono stati considerati vincoli al problema di selezione, in particolare sono stati stabiliti vincoli di bilancio, di cardinalità, di lower e upper bound, di interezza e di positività dei pesi di portafoglio. Per la risoluzione di questo problema complesso NP-hard, si è reso necessario l'utilizzo di un particolare algoritmo di ottimizzazione che si ispira al comportamento degli animali in natura, come gli stormi di uccelli o i branchi di pesci: la Particle Swarm Optimization.

I risultati ottenuti, presentati nel paragrafo 4.5 e nei rispettivi sottoparagrafi 4.5.1 e 4.5.2, confermano la validità delle aspettative e dimostrano l'applicabilità

dell'approccio adottato. In entrambi i modelli, sia per quello che utilizza la semivarianza, sia per quello che utilizza la semi deviazione assoluta dalla media, si sono ottenuti rendimenti positivi e un punteggio ESG medio ponderato di portafoglio elevato. Questo risultato conferma il bilanciamento della performance finanziaria con quella sostenibile dei portafogli ottenuti. È un importante traguardo, in quanto investire applicando i criteri ESG non compromette la performance di un portafoglio di investimento, anzi secondo una ricerca accademica commissionata dalla Lyxor Dauphine Research Academy e pubblicata da Lyxor Asset management, “una strategia di selezione basata sui punteggi ESG può migliorare il profilo ESG dei portafogli di investimento sia attivi sia passivi, senza necessariamente ridurne i rendimenti”⁷⁰.

A conferma di questo importante risultato, si è testato il modello proposto in questa tesi senza considerare la componente socialmente responsabile dell'investimento, escludendo pertanto dall'ottimizzazione finanziaria dell' algoritmo la componente ESG. Dalle prove risultanti, si sono ottenuti profili di rendimento/rischio circa equivalenti ai modelli in cui si considera la componente ESG, quindi si ribadisce ciò che è affermato in letteratura e che è stato affrontato in questa tesi, ossia che non vi sono peggioramenti nelle performance finanziarie dei modelli studiati.

Infine, per ottenere un parametro oggettivo di riferimento confrontabile, per la valutazione delle performance derivanti dai modelli socialmente sostenibili trattati, si è generato un portafoglio naive equally weighted. Così facendo, si è creato un portafoglio equipesato caratterizzato dall'uguaglianza dei fattori di ponderazione per tutti i titoli che compongono l'indice Eurostoxx50. Le prove derivanti da questo benchmark mostrano come il portafoglio socialmente responsabile, basato sull'approccio fuzzy credibilistico, sovraperformi il portafoglio naive offrendo risultati promettenti in termini socialmente responsabili e finanziari.

In sintesi, entrambi i modelli analizzati in questa tesi, sia per quello con la semivarianza che per quello con la semideviazione assoluta dalla media come misura di rischio, presentano profili di rischio/rendimento e performance, sia finanziarie che sostenibili, molto simili. Essendo caratterizzate da misure di rischio differenti, non è possibile procedere ad un confronto diretto tra i due modelli mediante, per esempio, indice di

⁷⁰ Roma Lorenza (2019), *Gli investimenti ESG non compromettono la performance dei portafogli*, Milano Finanza, 17/09/2019.

Sharpe; in quanto si otterrebbero rendimenti per unità di rischio basati su un denominatore espresso in una misura differente. Ciò che è rilevante ai fini dell'analisi è che non si è registrata alcuna anomalia nei risultati ottenuti in termini di rendimento e punteggio ESG medio ponderato di portafoglio.

Possibili sviluppi futuri del modello proposto possono riguardare sicuramente differenti variazioni nell'approccio adottato. Per esempio, per quanto riguarda le misure di rischio, per l'applicazione pratica sono state utilizzate la semivarianza e la semideviazione assoluta dalla media; tuttavia è possibile adoperare ulteriori misure di rischiosità, basate sempre sull'ambiente fuzzy con il framework credibilistico. Si veda, a tal proposito Li Li et al. (2013)⁷¹, che propongono un'estensione del tradizionale Conditional Value At Risk ad un ambiente fuzzy, basato sulla misura di credibilità. Inoltre, in questo paper gli autori propongono un'illustrazione dell'applicabilità di questa misura di rischio per i numeri fuzzy trapezoidali, triangolari e normali.

Inoltre, il numero fuzzy consente la modellizzazione differente delle variabili trattate, come il rendimento, a seconda delle credenze e delle opinioni soggettive degli esperti. In tal caso, uno sviluppo possibile consiste nel considerare differenti rappresentazioni della funzione di appartenenza della variabile fuzzy; non solamente tramite numero fuzzy trapezoidale o equipossibile ma anche per mezzo di numeri fuzzy gaussiani, triangolari e cauchy⁷², soprattutto per modellare la variabile rendimento.

Per quanto concerne l'orizzonte temporale prescelto per l'applicazione pratica, è stato prelevato un campione uniperiodale di dati che comprende circa un ventennio di osservazioni settimanali, dal 2000 al 2019. E' bene considerare che in questo lasso temporale potrebbe essere presente della variabilità spuria nei dati dovuta alla grave crisi economico-finanziaria degli anni 2008-2010. Possibili evoluzioni future dell'esperimento pratico consistono nel considerare una rolling window della serie storica in maniera tale da suddividere il ventennio di osservazioni in differenti

⁷¹ Li Li, Jingpeng Li, Quande Qin, Shi Cheng, (2013), "Credibilistic Conditional Value at Risk under Fuzzy Environment", *Sixth International Conference on Advanced Computational Intelligence*, Hangzhou, China, 19-21 ottobre 2013.

⁷² Si veda, a tal proposito: Jian Zhou, Fan Yang e Ke Wang, (2016), "Fuzzy arithmetic on LR fuzzy numbers with applications to fuzzy programming", *Journal of intelligent & fuzzy Systems*, 30, pp. 71-87.

sottocampioni, e osservare il comportamento dell'algoritmo di ottimizzazione nei vari periodi storici testati.

Una difficoltà riscontrata nella tesi è stata la reperibilità dei dati storici in un orizzonte temporale così esteso, soprattutto per quanto concerne il punteggio ESG delle singole imprese. In questo caso, la modellizzazione dello score ESG atteso mediante numero fuzzy rappresenta un importante ausilio per incorporare le credenze degli esperti, in quanto si tratta di un dato piuttosto recente e di frequenza esclusivamente annuale. Possibili sviluppi futuri, per aumentare la precisione e l'affidabilità dell'indicatore ESG, consistono nel considerare non solamente il punteggio ESG fornito dalla piattaforma Bloomberg, ma anche quelli derivanti da altre indici di rating ESG come il Thomson Reuters ESG score, l'MSCI ESG score e il Vigeo-Eiris ESG score. In questo caso è possibile anche mediare i vari punteggi forniti e costruire una funzione di appartenenza per il numero fuzzy caratterizzante il punteggio ESG.

Il vantaggio che si ottiene dal modello, mediante la rappresentazione fuzzy, è proprio quello di considerare funzioni di appartenenza maggiormente aderenti alle credenze e alle opinioni soggettive degli esperti. Tuttavia l'unico ostacolo a questo vantaggio è rappresentato dal fatto che la logica fuzzy necessita di esperti che conoscano molto bene il sistema in concreto e che siano in grado di scrivere le regole sottostanti, in quanto vi è difficoltà nella rappresentazione degli insiemi fuzzy che descrivono le variabili del sistema.

In generale, come appena descritto, è possibile procedere ad altre variazioni del modello, non solamente in termini di rappresentazione delle funzioni di appartenenza, ma anche in termini di vincoli del problema. È possibile infatti considerare variazioni al modello in esame, come ammettere le vendite allo scoperto oppure variare le percentuali di upper e lower bound. Possibili estensioni potenziali possono anche includere ulteriori vincoli a quelli considerati, come i costi di transazione, per sviluppare un modello ancora più realistico e aderente ai casi reali.

L'ultima considerazione conclusiva riguarda la metaeuristica utilizzata per la risoluzione dell'algoritmo: la PSO. Le difficoltà principali riscontrate sono state le numerose prove per favorire una convergenza dell'algoritmo verso il rispetto dei vincoli e alla minimizzazione della funzione di fitness. Uno svantaggio derivante dall'utilizzo

della PSO per la selezione dei portafogli è inerente all'assenza di una frontiera efficiente dove si illustrano i portafogli lungo tale frontiera, in maniera tale da selezionare quello più adeguato a seconda delle esigenze del cliente o a discrezione del decision maker. Tuttavia, tale limite è in parte superabile, in quanto basta solamente procedere a più prove dell'algoritmo, in quanto genererà buone soluzioni ma con profili di rendimento/rischio differenti. In questo caso sarà necessario solamente selezionare la prova che offre un profilo rendimento/rischio e una performance sostenibile desiderata.

Concludendo, è possibile affermare, ed è sotto gli occhi di tutti, l'importanza vitale degli impatti dei fattori ESG all'interno del portafoglio di investimento. Oggigiorno, gli investitori non possono più ignorare questi aspetti nelle loro decisioni di investimento, in quanto indirizzare i capitali verso attività che non solo generino un plusvalore economico, ma che siano al contempo utili alla società, rappresenta un forte presupposto per non compromettere la capacità delle risorse stesse di continuare a produrre valore nel tempo. Pianificare un'allocazione di titoli considerando gli aspetti ESG permette agli investitori istituzionali non solo di ridurre l'esposizione ai rischi sociali e di governance non identificati dall'analisi tradizionale, ma anche di spingere le imprese in questa direzione, ad adottare pratiche e standard ESG sempre più elevati, i cui benefici si verificano soprattutto nel lungo periodo.

Appendice A

Derivazione valore atteso credibilistico

Derivazione del valore atteso credibilistico di una variabile fuzzy di potenza L-R, $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$, a partire dall'equazione (2.12).

$$E[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{\xi \geq x\}dx - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq x\}dx \quad (2.12)$$

Caso 1 – se $0 \leq a < b < c < d$, $cr\{\xi \leq x\} = 0$, si ha che:

$$E[\xi] = \int_0^a Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_a^b Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_b^c Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_c^d Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_a^\infty Cr\{\xi \geq x\}dx - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq x\}dx$$

$$E[\xi] = a + \frac{1}{2}(b-a) + \frac{(b-a)}{2(L+1)} + \frac{1}{2}(c-b) + \frac{1}{2}(d-c) - \frac{(d-c)}{2(R+1)}$$

$$E[\xi] = \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}d + \frac{(b-a)}{2(L+1)} - \frac{(d-c)}{2(R+1)} = \frac{1}{2}\left[a + b + \frac{(b-a)}{(L+1)} - \frac{(d-c)}{(R+1)}\right]$$

Caso 2 – se $a < 0 \leq b < c < d$, si ha che:

$$E[\xi] = \int_0^b Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_b^c Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_c^d Cr\{\xi \geq x\}dx + \int_a^\infty Cr\{\xi \geq x\}dx - \int_{-\infty}^a Cr\{\xi \leq x\}dx - \int_a^0 Cr\{\xi \leq x\}dx$$

$$E[\xi] = \int_0^b \frac{1}{2} \left(1 + \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^L\right) dx + \int_b^c \frac{1}{2} dx + \int_c^d \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{x-c}{d-c}\right)^R\right) dx - \int_a^0 \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{b-x}{b-a}\right)^L\right) dx$$

$$E[\xi] = \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}d + \frac{(b-a)}{2(L+1)} - \frac{(d-c)}{2(R+1)}$$

Una valutazione dei casi rimanenti, cioè quando $a < b < 0 \leq c < d$, $a < b < c < 0 \leq d$, e $a < b < c < d < 0$, si traduce in un'espressione simile per esprimere il valore

atteso di un numero fuzzy $(a, b, c, d)_{LR}$ in una configurazione credibilistica; perciò si ha che:

$$E[\xi] = \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}d + \frac{(b-a)}{2(L+1)} - \frac{(d-c)}{2(R+1)} \quad (\text{A.1})$$

che può essere riscritto come:

$$\begin{aligned} E[\xi] &= \frac{1}{2} \left[a + d + \frac{(b-a)}{(L+1)} - \frac{(d-c)}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[a + d + \frac{(b-a)}{(L+1)} - \frac{(d-c)}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[a + d + \frac{b}{(L+1)} - \frac{a}{(L+1)} - \frac{d}{(R+1)} + \frac{c}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{La}{(L+1)} + \frac{a}{(L+1)} + \frac{Rd}{(R+1)} + \frac{d}{(R+1)} + \frac{b}{(L+1)} - \frac{a}{(L+1)} - \frac{d}{(R+1)} + \frac{c}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{La}{(L+1)} + \frac{b}{(L+1)} + \frac{Rd}{(R+1)} + \frac{c}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{(a-b)L}{(L+1)} + \frac{b(L+1)}{(L+1)} + \frac{(d-c)R}{(R+1)} + \frac{c(R+1)}{(R+1)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[b + c + \frac{(d-c)R}{(R+1)} - \frac{(b-a)L}{(L+1)} \right] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Derivazione semi-varianza credibilistica

La misura di semi-varianza in una configurazione credibilistica è definito come (B. Liu e Y. K. Liu, 2002):

$$SV[\xi] = E[(\xi - e)^{-2}] \quad (2.16)$$

Dove: $e = E[\xi]$ e, $[\xi - e]^- = \begin{cases} \xi - e, & \text{se } \xi \leq e \\ 0, & \text{se } \xi > e \end{cases}$

Ora si deriva l'espressione equivalente per il valore di semi-varianza, basato sulla misura di credibilità, di una variabile fuzzy L-R $\xi = (a, b, c, d)_{LR}$.

$$SV[\xi] = E[(Sv[\xi - e])^2]$$

$$= \int_0^\infty Cr \{(Sv[\xi - e])^2 \geq x\} dx$$

$$= \int_0^\infty Cr \{\xi \leq e - \sqrt{x}\} dx$$

$$= \int_{-\infty}^e 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx$$

Caso 1 – se $a < e \leq b$, si ha che:

$$SV[\xi] = \int_{-\infty}^a 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx + \int_a^e 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx$$

$$= \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} - \frac{(b-e)^{L+2}}{(b-a)^L(L+1)(L+2)} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}$$

Caso 2 – se $b < e \leq c$, si ha che:

$$SV[\xi] = \int_{-\infty}^a 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx + \int_a^b 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx + \int_b^e 2(e - x) Cr\{\xi \leq x\} dx$$

$$= \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}$$

Caso 3 – se $c < e \leq d$, si ha che:

$$\begin{aligned}
 SV[\xi] &= \int_{-\infty}^a 2(e-x)Cr\{\xi \leq x\} dx + \int_a^b 2(e-x)Cr\{\xi \leq x\} dx + \int_c^e 2(e-x)Cr\{\xi \leq x\} dx \\
 &= \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)} + \frac{(e-c)^{R+2}}{(d-c)^R(R+1)(R+2)}
 \end{aligned}$$

Riassumendo si ha che:

$$SV[\xi] = \begin{cases} \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)} + \frac{(e-c)^{R+2}}{(d-c)^R(R+1)(R+2)}, & \text{se } c < e \leq d \\ \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } b < e \leq c \\ \frac{(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)(b-a)}{L+1} - \frac{(b-e)^{L+2}}{(b-a)^L(L+1)(L+2)} + \frac{(b-a)^2}{(L+1)(L+2)}, & \text{se } a < e \leq b \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Appendice B

In questa appendice B è presente il codice Matlab relativo ai modelli SV e MASD.

Modello SV

```
% MODELLO SV

clear all;
close all;
clc;

format short

%Vettore dei punteggi ESG attesi
punteggi_ESG =
[0.58,0.50,0.59,0.55,0.45,0.58,0.53,0.65,0.58,0.50,0.58,0.53,0.57,0.61
,0.60,0.58,0.42,0.45,0.55,0.68,0.57,0.70,0.63,0.53,0.63,0.57,0.65,0.58
,0.63,0.58,0.61,0.63,0.63,0.63,0.54,0.63,0.63,0.33,0.43,0.45,
0.47,0.53];

%caricamento dati
Price = xlsread('Price.xlsx');
[n,numvar] = size(Price);
rend = log( Price(2:end,:) ./ Price(1:end-1,:) ); %log-returns storici
per_out_of_sample = 126; %number of return for out-of-sample analysis
before = per_out_of_sample + 1;
rt1 = rend(1:n-before,:);
rt2 = rend(n-before+1:(n-1),:);
dim1 = size(rt1); %matrix dimensions for the means, variances and
covariances estimation
dim2 = size(rt2); %matrix dimensions for the out-of-sample analysis

%inizializzazione parametri PSO
P = 3*numvar; %numero particelle
niter = 6500; %numero iterazioni
K = 8; %numero massimo di titoli detenibili
perc_min = ones(1,numvar)*0.05; % quota minima
perc_max = ones(1,numvar)*0.50; % quota massima
c1 = 1.49618;
c2 = 1.49618;
w = 0.7298;
vmaxx = zeros(1,numvar);
vmaxz = zeros(1,numvar);

%inizializzazione altri parametri
lambda = 1/3;
epsilon1 = 1.0e-004;

%vettori di appoggio per la funzione obiettivo (Rischio, Media, ESG,
Vincoli)
```

```

var_port = zeros(P,1); %Risk of portfolio
med_port = zeros(P,1); %mean of portfolio
esg_port = zeros(P,1); %ESG of portfolio
vinc_1 = zeros(P,1); %vincolo di bilancio
vinc_2 = zeros(P,1); %vincolo sul numero max di titoli (K)
app_1 = zeros(P,numvar);
vinc_3 = zeros(P,1); %x >= perc_min
app_2 = zeros(P,numvar);
vinc_4 = zeros(P,1); %x <= per_max
app_3 = zeros(P,numvar);
vinc_5 = zeros(P,1); %z è 0 o è 1
app_4 = zeros(P,numvar);
vinc_6 = zeros(P,1); % x >= 0

% 1) inizializzazione posizioni, velocità, funzione obiettivo
x = rand(P,numvar);
vx = rand(P,numvar);
z = rand(P,numvar);
vz = rand(P,numvar);
f = ones(P,1)*1.0e+015;
x1 = zeros(P,numvar);
for p = 1:P
    for i = 1:numvar
        x1(p,i) = x(p,i)*z(p,i); %vettore di appoggio (x*z)
    end
end

% pb = pbest (nell'ultima colonna c'è funzione obiettivo associata
alla migliore posizione assunta)
pbx = [x f];
pbz = z;

% g=gbest, vettore che rappresenta la migliore posizione globale e il
valore della funzione obiettivo associata
gx = zeros(1,numvar+1);
gz = zeros(1,numvar);

tic
for k = 1:niter
    %individua range dinamico velocità
    for i = 1:numvar
        vmaxx(i) = abs(max(x(:,i))-min(x(:,i)));
        vmazx(i) = abs(max(z(:,i))-min(z(:,i)));
    end

    % 2)calcola funzione obiettivo
    for p = 1:P
        for i = 1:numvar
            x1(p,i) = x(p,i)*z(p,i);
            app_1(p,i) = max(0,perc_min(i)*z(p,i)-x(p,i));
            app_2(p,i) = max(0,x(p,i)-perc_max(i)*z(p,i));
            app_3(p,i) = abs(z(p,i)*(1-z(p,i)));
            app_4(p,i) = max(0,-x(p,i));
        end

        rend_particella = rt1*(x1(p,:));
        a = prctile(rend_particella,3);
        b = prctile(rend_particella,45);
        c = prctile(rend_particella,55);
    end
end

```

```

d = prctile(rend_particella,97);
LLL = log(.5)/log((b-prctile(rend_particella,25))/(b-a));
RRR = log(.5)/log((prctile(rend_particella,75)-c)/(d-c));

med_port(p) = .5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-(b-
a)*LLL)/(LLL+1); %media

e = med_port(p);
if (c<e) && (e<=d)
    var_port(p) = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) + ...
    + ((e-c)^(RRR+2))/(((d-c)^RRR)*(RRR+1)*(RRR+2));
elseif (b<e) && (e<=c)
    var_port(p) = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2));
elseif (a<e) && (e<=b)
    var_port(p) = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) - ...
    - ((b-e)^(LLL+2))/(((b-a)^LLL)*(LLL+1)*(LLL+2));
else
    var_port(p) = 0;
end

esg_port(p) = x1(p,:)*punteggi_ESG'; %punteggio ESG di
portafoglio

vinc_1(p) = abs(sum(x(p,:))-1); %somma delle quote=1
vinc_2(p) = abs(sum(z(p,:))-K); %max num titoli K
vinc_3(p) = sum(app_1(p,:)); %quota min
vinc_4(p) = sum(app_2(p,:)); %quota max
vinc_5(p) = sum(app_3(p,:)); %z è 0 o 1
vinc_6(p) = sum(app_4(p,:)); % violazione dei vincoli x_i >= 0
end

%funzione obiettivo

f = lambda*var_port - lambda*esg_port - lambda*med_port +
((1/epsilon1)*(vinc_1 + vinc_2 + vinc_3 + vinc_4 + vinc_5 + vinc_6));

% 3) Confronta il valore della funzione obiettivo con il pbest
for p = 1:P
    if f(p) < pbx(p,numvar+1)
        pbx(p,numvar+1) = f(p);
        for i = 1:numvar
            pbx(p,i) = x(p,i);
            pbz(p,i) = z(p,i);
        end
    end
end

% 4) identifica la particella con migliore posizione
[minimo,posizione] = min(pbx(:,numvar+1));
gx(numvar+1) = minimo;
for i = 1:numvar
    gx(i) = pbx(posizione,i);
    gz(i) = pbz(posizione,i);
end

% 5) aggiorna velocità e posizione

```

```

    for p = 1:P
        for i = 1:numvar
            vx(p,i) = w*vx(p,i)+c1*rand*(pbx(p,i)-
x(p,i))+c2*rand*(gx(i)-x(p,i));
            vz(p,i) = w*vz(p,i)+c1*rand*(pbz(p,i)-
z(p,i))+c2*rand*(gz(i)-z(p,i));
            if vx(p,i) > vmaxx(i)
                vx(p,i) = vmaxx(i);
            end
            if vz(p,i) > vmazx(i)
                vz(p,i) = vmazx(i);
            end
            z(p,i) = z(p,i)+vz(p,i);
            x(p,i) = x(p,i)+vx(p,i);
        end
    end
    converg(k,:) = gx(:,end);

    % 6) riparti dal 2) fino al criterio di stop
end

toc;

figure;
plot(converg),title('FITNESS
FUNCTION'),xlabel('Iteration'),ylabel('Fitness');

x = gx(1:end-1)'; % PROTAFOGLIO OTTIMO

rend_particella = rt1*x;
a = prctile(rend_particella,3);
b = prctile(rend_particella,45);
c = prctile(rend_particella,55);
d = prctile(rend_particella,97);
LLL = log(.5)/log((b-prctile(rend_particella,25))/(b-a));
RRR = log(.5)/log((prctile(rend_particella,75)-c)/(d-c));
mean_is = .5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-((b-a)*LLL)/(LLL+1)); %media
mean_is_y = (1+mean_is)^52-1; %yearly mean of the return (in-sample)
    e = mean_is;
    if (c<e) && (e<=d)
        var_is = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) + ...
            + ((e-c)^(RRR+2))/(((d-c)^RRR)*(RRR+1)*(RRR+2));
    elseif (b<e) && (e<=c)
        var_is = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2));
    elseif (a<e) && (e<=b)
        var_is = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) - ...
            - ((b-e)^(LLL+2))/(((b-a)^LLL)*(LLL+1)*(LLL+2));
    else
        var_is = 0;
    end
end

r_out = rt2*x; %(out-of-sample analysis)
a = prctile(r_out,3);

```

```

b = prctile(r_out,45);
c = prctile(r_out,55);
d = prctile(r_out,97);
LLL = log(.5)/log((b-prctile(r_out,25))/(b-a));
RRR = log(.5)/log((prctile(r_out,75)-c)/(d-c));
med_r_out = .5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-((b-a)*LLL)/(LLL+1)); %media

med_r_out_y = (1+med_r_out)^52-1; %yearly mean of the return (out-of-
sample)

e = med_r_out;
    if (c<e) && (e<=d)
        var_r_out = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) + ...
        + ((e-c)^(RRR+2))/(((d-c)^RRR)*(RRR+1)*(RRR+2));
    elseif (b<e) && (e<=c)
        var_r_out = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2));
    elseif (a<e) && (e<=b)
        var_r_out = ((e-a)^2)/2 - ((e-a)*(b-a))/(LLL+1) + ((b-
a)^2)/((LLL+1)*(LLL+2)) - ...
        - ((b-e)^(LLL+2))/(((b-a)^LLL)*(LLL+1)*(LLL+2));
    else
        var_r_out = 0;
    end

min_os = min(r_out); %quantity for the graph
max_os = max(r_out); %quantity for the graph
figure;
plot(r_out),title('OUT-OF-SAMPLE RETURNS'),xlabel('t'),ylabel('r(t)');
axis([1 before-1 min_os max_os]);

v1 = abs(sum(gx(1,1:end-1))-1); %somma delle quote=1
v2 = abs(sum(gz)-K); %max num titoli K
ap1 = max(0,perc_min(1)*gz-gx(1,1:end-1));
v3 = sum(ap1); %quota min
ap2 = max(0,gx(1,1:end-1)-perc_max(1)*gz);
v4 = sum(ap2); %quota max
ap3 = abs(gz.*(1-gz));
v5 = sum(ap3); %z è 0 o 1
ap4 = sum(max(0,-gx(1:end-1)'));
v6 = sum(ap4); % violazione dei vincoli x_i >= 0

fid1 = fopen('oos_mvc.txt','w');
fprt = '%6.0f %6.0f\r';
fprintf(fid1, '%s\r', '***** IN-SAMPLE RETURNS
ANALYSIS *****');
fprintf(fid1, '%s\r', 'Number of risky assets and number of data:');
fprintf(fid1, fprt, [numvar n]);
fprintf(fid1, '%s\r', 'Weekly expected return and related risk:');
fprt = '%16.12f %16.12f\r';
fprintf(fid1, fprt, [mean_is var_is]);
fprintf(fid1, '%s\r', 'Yearly expected return:');
fprt = '%16.12f\r';
fprintf(fid1, fprt, mean_is_y);

```

```

fprintf(fid1, '%s\r', '* * * * * OUT-OF-SAMPLE RETURNS
ANALYSIS * * * * *');
fprintf(fid1, '%s\r', 'Weekly expected return and related risk:');
fprt = '%16.12f %16.12f\r';
fprintf(fid1, [med_r_out var_r_out]);
fprintf(fid1, '%s\r', 'Yearly expected return:');
fprt = '%16.12f\r';
fprintf(fid1, fprt, med_r_out_y);
fclose(fid1);
type('oos_mvc.txt');

[v1 v2 v3 v4 v5 v6] %vettore delle violazioni dei vincoli
gx(1:end-1)' %Portafoglio ottimo

```

Modello MASD

```

% MODELLO MASD

clear all;
close all;
clc;

format short

%Vettore dei punteggi ESG attesi
punteggi_ESG =
[0.58,0.50,0.59,0.55,0.45,0.58,0.53,0.65,0.58,0.50,0.58,0.53,0.57,0.61
,0.60,0.58,0.42,0.45,0.55,0.68,0.57,0.70,0.63,0.53,0.63,0.57,0.65,0.58
,0.63,0.58,0.61,0.63,0.63,0.63,0.54,0.63,0.63,0.33,0.43,0.45,0.47,0.53
];

%caricamento dati
Price = xlsread('Price.xlsx');%Price import from xlsx
[n,numvar] = size(Price);
rend = log( Price(2:end,:) ./ Price(1:end-1,:)); %log-returns storici
per_out_of_sample = 252/2; %number of return for out-of-sample
analysis
before = per_out_of_sample + 1;
rt1 = rend(1:n-before,:);
rt2 = rend(n-before+1:(n-1),:);
dim1 = size(rt1); %matrix dimensions for the means, variances and
covariances estimation
dim2 = size(rt2); %matrix dimensions for the out-of-sample analysis

%inizializzazione parametri PSO
P = 3*numvar; %numero particelle
niter = 6500; %numero iterazioni
K = 8; %numero massimo di titoli detenibili
perc_min = ones(1,numvar)*0.05; % quota minima
perc_max = ones(1,numvar)*0.50; % quota massima
c1 = 1.49618;
c2 = 1.49618;
w = 0.7298;
vmaxx = zeros(1,numvar);

```



```

vmaxz = zeros(1,numvar);

%inizializzazione altri parametri
lambda = 1/3;
epsilon1 = 1.0e-004;

%vettori di appoggio per la funzione obiettivo (Rischio, Media, ESG,
Vincoli)
var_port = zeros(P,1); %Risk of portfolio
med_port = zeros(P,1); %mean of portfolio
esg_port = zeros(P,1); %ESG of portfolio
vinc_1 = zeros(P,1); %vincolo di bilancio
vinc_2 = zeros(P,1); %vincolo sul numero max di titoli (K)
app_1 = zeros(P,numvar);
vinc_3 = zeros(P,1); %x >= perc_min
app_2 = zeros(P,numvar);
vinc_4 = zeros(P,1); %x <= per_max
app_3 = zeros(P,numvar);
vinc_5 = zeros(P,1); %z è 0 o è 1
app_4 = zeros(P,numvar);
vinc_6 = zeros(P,1); % x >= 0

% 1) inizializzazione posizioni, velocità, funzione obiettivo
x = rand(P,numvar);
vx = rand(P,numvar);
z = rand(P,numvar);
vz = rand(P,numvar);
f = ones(P,1)*1.0e+015;
x1 = zeros(P,numvar);
for p = 1:P
    for i = 1:numvar
        x1(p,i) = x(p,i)*z(p,i); %vettore di appoggio (x*z)
    end
end

% pb = pbest (nell'ultima colonna c'è funzione obiettivo associata
alla migliore posizione assunta)
pbx = [x f];
pbz = z;

% g=gbest, vettore che rappresenta la migliore posizione globale e il
valore della funzione obiettivo associata
gx = zeros(1,numvar+1);
gz = zeros(1,numvar);

tic
for k = 1:niter
    %individua range dinamico velocità
    for i = 1:numvar
        vmaxx(i) = abs(max(x(:,i))-min(x(:,i)));
        vmaxz(i) = abs(max(z(:,i))-min(z(:,i)));
    end

    % 2)calcola funzione obiettivo
    for p = 1:P
        for i = 1:numvar
            x1(p,i) = x(p,i)*z(p,i);
            app_1(p,i) = max(0,perc_min(i)*z(p,i)-x(p,i));
            app_2(p,i) = max(0,x(p,i)-perc_max(i)*z(p,i));
        end
    end
end

```

```

        app_3(p,i) = abs(z(p,i)*(1-z(p,i)));
        app_4(p,i) = max(0,-x(p,i));
    end

    rend_particella = rt1*(x1(p,:));
    a = prctile(rend_particella,3);
    b = prctile(rend_particella,45);
    c = prctile(rend_particella,55);
    d = prctile(rend_particella,97);
    LLL = log(0.5)/log((b-prctile(rend_particella,25))/(b-a));
    RRR = log(0.5)/log((prctile(rend_particella,75)-c)/(d-c));

    med_port(p) = 0.5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-((b-
a)*LLL)/(LLL+1)); %media

    e = med_port(p);
    if (c<e) && (e<=d)
        var_port(p) = ((d-e))/2 - ((d-c)/(2*(RRR+1)))*(1-((e-
c)/(d-c))^(RRR+1)));
    elseif (b<e) && (e<=c)
        var_port(p) = 0.5*(0.5*(c-b+((d-c)*RRR)/(RRR+1))-((b-
a)*LLL)/(LLL+1)));
    elseif (a<e) && (e<=b)
        var_port(p) = ((e-a))/2 - ((b-a)/(2*(LLL+1)))*(1-((b-
e)/(b-a))^(LLL+1)));
    else
        var_port(p) = 0;
    end

    esg_port(p) = x1(p,:)*punteggi_ESG'; %punteggio ESG di
portafoglio

    vinc_1(p) = abs(sum(x(p,:))-1); %somma delle quote=1
    vinc_2(p) = abs(sum(z(p,:))-K); %max num titoli K
    vinc_3(p) = sum(app_1(p,:)); %quota min
    vinc_4(p) = sum(app_2(p,:)); %quota max
    vinc_5(p) = sum(app_3(p,:)); %z è 0 o 1
    vinc_6(p) = sum(app_4(p,:)); % violazione dei vincoli x_i >= 0
end

%funzione obiettivo
f = lambda*var_port - lambda*esg_port - lambda*med_port +
((1/epsilon1)*(vinc_1 + vinc_2 + vinc_3 + vinc_4 + vinc_5 + vinc_6));

% 3) Confronta il valore della funzione obiettivo con il pbest
for p = 1:P
    if f(p) < pbx(p,numvar+1)
        pbx(p,numvar+1) = f(p);
        for i = 1:numvar
            pbx(p,i) = x(p,i);
            pbz(p,i) = z(p,i);
        end
    end
end

% 4) identifica la particella con migliore posizione
[minimo,posizione] = min(pbx(:,numvar+1));
gx(numvar+1) = minimo;
for i = 1:numvar

```

```

        gx(i) = pbx(posizione,i);
        gz(i) = pbz(posizione,i);
    end

    % 5)aggiorna velocità e posizione
    for p = 1:P
        for i = 1:numvar
            vx(p,i) = w*vx(p,i)+c1*rand*(pbx(p,i)-
x(p,i))+c2*rand*(gx(i)-x(p,i));
            vz(p,i) = w*vz(p,i)+c1*rand*(pbz(p,i)-
z(p,i))+c2*rand*(gz(i)-z(p,i));
            if vx(p,i) > vmaxx(i)
                vx(p,i) = vmaxx(i);
            end
            if vz(p,i) > vmaxz(i)
                vz(p,i) = vmaxz(i);
            end
            z(p,i) = z(p,i)+vz(p,i);
            x(p,i) = x(p,i)+vx(p,i);
        end
    end
    converg(k,:) = gx(:,end);

    % 6)riparti dal 2) fino al criterio di stop
end

toc;

figure;
plot(converg),title('FITNESS
FUNCTION'),xlabel('Iteration'),ylabel('Fitness');

x = gx(1:end-1)'; % PROTAFOGLIO OTTIMO

rend_particella = rt1*x;
a = prctile(rend_particella,3);
b = prctile(rend_particella,45);
c = prctile(rend_particella,55);
d = prctile(rend_particella,97);
LLL = log(.5)/log((b-prctile(rend_particella,25))/(b-a));
RRR = log(.5)/log((prctile(rend_particella,75)-c)/(d-c));
mean_is = .5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-((b-a)*LLL)/(LLL+1)); %media
mean_is_y = (1+mean_is)^52-1; %yearly mean of the return (in-sample)
    e = mean_is;
    if (c<e) && (e<=d)
        var_is = ((d-e))/2 - ((d-c)/(2*(RRR+1)))*(1-(((e-c)/(d-
c))^(RRR+1)));
    elseif (b<e) && (e<=c)
        var_is = 0.5*(0.5*(c-b+((d-c)*RRR)/(RRR+1))-(((b-
a)*LLL)/(LLL+1)));
    elseif (a<e) && (e<=b)
        var_is = ((e-a))/2 - ((b-a)/(2*(LLL+1)))*(1-(((b-e)/(b-
a))^(LLL+1)));
    else
        var_is = 0;
    end

r_out = rt2*x; % (out-of-sample analysis)
a = prctile(r_out,3);

```

```

b = prctile(r_out,45);
c = prctile(r_out,55);
d = prctile(r_out,97);
LLL = log(.5)/log((b-prctile(r_out,25))/(b-a));
RRR = log(.5)/log((prctile(r_out,75)-c)/(d-c));
med_r_out = .5*(b+c+((d-c)*RRR)/(RRR+1)-((b-a)*LLL)/(LLL+1)); %media

med_r_out_y = (1+med_r_out)^52-1; %yearly mean of the return (out-of-
sample)

e = med_r_out;
    if (c<e) && (e<=d)
        var_r_out = ((d-e))/2 - ((d-c)/(2*(RRR+1)))*(1-(((e-c)/(d-
c))^(RRR+1)));
    elseif (b<e) && (e<=c)
        var_r_out = 0.5*(0.5*(c-b+((d-c)*RRR)/(RRR+1))-((b-
a)*LLL)/(LLL+1)));
    elseif (a<e) && (e<=b)
        var_r_out = ((e-a))/2 - ((b-a)/(2*(LLL+1)))*(1-(((b-e)/(b-
a))^(LLL+1)));
    else
        var_r_out = 0;
    end

min_os = min(r_out); %quantity for the graph
max_os = max(r_out); %quantity for the graph
figure;
plot(r_out),title('OUT-OF-SAMPLE RETURNS'),xlabel('t'),ylabel('r(t)');
axis([1 before-1 min_os max_os]);

v1 = abs(sum(gx(1,1:end-1))-1); %somma delle quote=1
v2 = abs(sum(gz)-K); %max num titoli K
ap1 = max(0,perc_min(1)*gz-gx(1,1:end-1));
v3 = sum(ap1); %quota min
ap2 = max(0,gx(1,1:end-1)-perc_max(1)*gz);
v4 = sum(ap2); %quota max
ap3 = abs(gz.*(1-gz));
v5 = sum(ap3); %z è 0 o 1
ap4 = sum(max(0,-gx(1:end-1)));
v6 = sum(ap4); % violazione dei vincoli x_i >= 0

fidl = fopen('oos_mvc.txt','w');
fprt = '%6.0f %6.0f\r';
fprintf(fidl, '%s\r', '* * * * * IN-SAMPLE RETURNS
ANALYSIS * * * * *');
fprintf(fidl, '%s\r', 'Number of risky assets and number of data:');
fprintf(fidl, fprt, [numvar n]);
fprintf(fidl, '%s\r', 'Weekly expected return and related risk:');
fprt = '%16.12f %16.12f\r';
fprintf(fidl, fprt, [mean_is var_is]);
fprintf(fidl, '%s\r', 'Yearly expected return:');
fprt = '%16.12f\r';
fprintf(fidl, fprt, mean_is_y);
fprintf(fidl, '%s\r', '* * * * * OUT-OF-SAMPLE RETURNS
ANALYSIS * * * * *');
fprintf(fidl, '%s\r', 'Weekly expected return and related risk:');
fprt = '%16.12f %16.12f\r';
fprintf(fidl, fprt, [med_r_out var_r_out]);
fprintf(fidl, '%s\r', 'Yearly expected return:');

```

```
firt = '%16.12f\r';  
fprintf(fid1, firt, med_r_out_y);  
fclose(fid1);  
type('oos_mvc.txt');  
  
[v1 v2 v3 v4 v5 v6] %vettore delle violazioni dei vincoli  
gx(1:end-1)' %Portafoglio ottimo
```


Appendice C

In questa appendice C sono presenti i risultati relativi i portafogli selezionati dai modelli SV e MASD.

Modello SV

Nella Tabella C1 sono indicati, per le 10 prove effettuate, i rendimenti medi di portafoglio settimanali e la relativa misura di rischio, nonché il rendimento medio di portafoglio annualizzato. Nell'ultima colonna della Tabella C1 è presente il punteggio ESG medio ponderato di portafoglio, derivante dalla media dei punteggi ESG dei titoli selezionati in ogni prova.

Tabella C1

Run	Analisi in-sample			Analisi out-of-sample			ESG
	Weekly return	Risk	Annual return	Weekly return	Risk	Annual return	
1	0.10370%	0.000599	5.53761%	0.25795%	0.0003387	14.33464%	53.85
2	0.02058%	0.000380	1.07588%	0.06567%	0.0002029	3.47271%	58.38
3	0.02384%	0.000521	1.24713%	0.24606%	0.0001986	13.63189%	57.71
4	0.10923%	0.000491	5.84129%	0.21476%	0.0002448	11.80141%	57.10
5	0.10266%	0.000266	5.48052%	0.22120%	0.0001138	12.17563%	59.98
6	0.15628%	0.000484	8.45921%	0.13505%	0.0002924	7.27009%	58.99
7	0.08758%	0.000347	4.65736%	0.20740%	0.0001763	11.37536%	51.05
8	0.10370%	0.000599	5.53761%	0.25795%	0.0003387	14.33464%	53.85
9	0.02384%	0.000521	1.24713%	0.24606%	0.0001986	13.63189%	57.71
10	0.15628%	0.000484	8.45921%	0.13505%	0.0002924	7.27009%	58.99

Nella Tabella C2 sono presenti i pesi di portafoglio dei titoli selezionati in ogni prova effettuata.

Tabella C2

Società	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L'Oreal SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vinci SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.12	0.13
Banco Santander SA	0.00	0.18	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ASML Holding NV	0.31	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
Koninklijke Philips NV	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
Telefonica SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Air Liquide SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AXA SA	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
BNP Paribas SA	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07
Danone SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.30	0.00	0.00	0.06
Vivendi SA	0.00	0.00	0.29	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
EssilorLuxottica SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SE	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
Kering SA	0.06	0.00	0.21	0.00	0.08	0.20	0.08	0.06	0.21	0.20
Safran SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00
Koninklijke Ahold Delhaize NV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Unilever NV	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
Iberdrola SA	0.00	0.26	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ING Groep NV	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Intesa Sanpaolo SpA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eni SpA	0.00	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Orange SA	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sanofi	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Societe Generale SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Enel SpA	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nokia Oyj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schneider Electric SE	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Allianz SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bayer AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bayerische Motoren Werke AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00	0.10
CRH PLC	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BASF SE	0.10	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.00
Siemens AG	0.09	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.00
Volkswagen AG	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.07	0.00	0.33
Munich Re	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
Fresenius SE & Co KGaA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
SAP SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
adidas AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
Deutsche Telekom AG	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Daimler AG	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Modello MASD

Nella Tabella C3 sono indicati, per le 10 prove effettuate, i rendimenti medi di portafoglio settimanali e la relativa misura di rischio, nonché il rendimento medio di portafoglio annualizzato. Nell'ultima colonna della Tabella C3 è presente il punteggio ESG medio ponderato di portafoglio, derivante dalla media dei punteggi ESG dei titoli selezionati in ogni prova.

Tabella C3

Run	Analisi in-sample			Analisi out-of-sample			ESG
	Weekly return	Risk	Annual return	Weekly return	Risk	Annual return	
1	0.08758%	0.000947	4.65736%	0.20740%	0.0069756	11.37536%	51.05
2	0.15628%	0.001136	8.45921%	0.13505%	0.0008890	7.27009%	58.99
3	0.08758%	0.000947	4.65736%	0.20740%	0.0069756	11.37536%	51.05
4	0.10370%	0.000439	5.53761%	0.25795%	0.0097444	14.33464%	53.85
5	0.15628%	0.001136	8.45921%	0.13505%	0.0008890	7.27009%	58.99
6	0.08758%	0.000947	4.65736%	0.20740%	0.0069756	11.37536%	51.05
7	0.10370%	0.000439	5.53761%	0.25795%	0.0097444	14.33464%	53.85
8	0.02058%	0.001017	1.07588%	0.06567%	0.0005346	3.47271%	58.38
9	0.02384%	0.001173	1.24713%	0.24606%	0.0074554	13.63189%	57.71
10	0.02770%	0.000731	1.45045%	0.09480%	0.0003191	5.05079%	57.11

Nella Tabella C4 sono presenti i pesi di portafoglio dei titoli selezionati in ogni prova effettuata.

Tabella C4

Società	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L'Oreal SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vinci SA	0.09	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	0.00	0.13	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
Banco Santander SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
ASML Holding NV	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00
Koninklijke Philips NV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
Telefonica SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
TOTAL SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Air Liquide SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AXA SA	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.17
BNP Paribas SA	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Danone SA	0.30	0.06	0.30	0.00	0.06	0.30	0.00	0.00	0.00	0.24
Vivendi SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.18

EssilorLuxottica SA	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00
Kering SA	0.08	0.20	0.08	0.06	0.20	0.08	0.06	0.00	0.21	0.00
Safran SA	0.22	0.00	0.22	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Koninklijke Ahold Delhaize NV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Unilever NV	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
Iberdrola SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.08
ING Groep NV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Intesa Sanpaolo SpA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
Eni SpA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Orange SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Sanofi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Societe Generale SA	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Enel SpA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
Nokia Oyj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schneider Electric SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
Allianz SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Bayer AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
Bayerische Motoren Werke AG	0.07	0.10	0.07	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
CRH PLC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BASF SE	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.06	0.00
Siemens AG	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09	0.07	0.08	0.00
Volkswagen AG	0.00	0.33	0.00	0.07	0.33	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Munich Re	0.11	0.00	0.11	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Fresenius SE & Co KGaA	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
SAP SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
adidas AG	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deutsche Telekom AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Daimler AG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
TOTALE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Bibliografia

Beal, D., Goyen, M. and Phillips, P., (2005), “Why do we invest ethically?”, *Journal of Investing*, 14(3), 66-77.

Bilbao-Terol, A.; Arenas-Parra, M.; Cañal-Fernández, V, (2012), “A fuzzy multi-objective approach for sustainable investments”, *Expert Syst. Appl.*, 39, 10904–10915.

Calvo, C.; Ivorra, C.; Liern, V, (2016), “Fuzzy portfolio selection with non-financial goals: exploring the efficient frontier”, *Ann. Oper. Res.*, 245, 31–46.

Chunhachinda, Pornchai & Dandapani, Krishnan & Hamid, Shahid & Prakash, Arun J., (1997), "Portfolio selection and skewness: Evidence from international stock markets", *Journal of Banking & Finance*, Elsevier, vol. 21(2), pages 143-167.

DeMiguel V., Garlappi L, Uppal R., (2009), “Optimal versus Naive Diversification: How Inefficient is the 1/N Portfolio Strategy?”, *The review of Financial Studies*, volume 22, issue 5, pp. 1915-1953.

De Oliveira, F. A., Nobre, C. N., & Zárate, L. E. (2013), “Applying Artificial Neural Networks to prediction of stock price and improvement of the directional prediction index – Case study of PETR4, Petrobras, Brazil.”, *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7596-7606.

Desmadryl, X., (2007), *SRI & ESG inclusion: does it pay after all?*, Presentation made at ANBID/UNEP FI roundtable in São Paulo, Brazil, for HSBC, March 2007.

Dubois, D. J., & Prade, H, (1980), “Fuzzy sets and systems: theory and applications”, *New York: Academic Press*, (Vol. 144).

Garcia F., Gonzalez-Bueno J., Oliver J., Riley N., (2019), “Selecting Socially Responsible Portfolios: A Fuzzy Multicriteria Approach.”, *Sustainability*, 11, 2496.

García F., Gonzalez-Bueno J., Oliver J., Tamaosiuniene R., (2019), “A credibilistic mean-semivariance-per portfolio selection model for latin America.”, *Journal of Business Economics and Management*, volume 20, issue 2, pp. 225-243.

García, F., Guijarro, F., & Moya, I., (2013), “A multiobjective model for passive portfolio management: an application on the S&P100 index.”, *Journal of Business Economics and Management*, 14(4), 758-775.

García, F., Guijarro, F., & Oliver J., (2018), “Index tracking optimization with cardinality constraint: a performance comparison of genetic algorithms and tabu search heuristics.”, *Neural Computing and Applications*, 30(8), 2625-2641.

Georgescu I., (2019), “Possibilistic risk aversion.”, *Fuzzy Sets Syst.* 60, 2608-2619 .

Gerritsen, D. F., (2016), “Are chartists artists? The determinants and profitability of recommendations based on technical analysis.”, *International Review of Financial Analysis*, 47, 179-196.

Gupta, P., Mittal, G., & Mehlawat, M. K., (2013), “Expected value multiobjective portfolio rebalancing model with fuzzy parameters.”, *Insurance: Mathematics and Economics*, 52(2), 190-203.

Gupta, P., Mittal, G., & Mehlawat, M. K., (2014), “A multicriteria optimization model of portfolio rebalancing with transaction costs in fuzzy environment.”, *Memetic Computing*, 6(1), 61-74.

Gupta, P., Mehlawat, M. K., Inuiguchi, M., & Chandra, S., (2014a), “Portfolio optimization using credibility.”, *Fuzzy Portfolio optimization. Studies in fuzziness and soft computing*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, vol. 316, pp. 127-160.

Gupta, P., Mehlawat, M. K., Inuiguchi, M., & Chandra, S., (2014b), "Portfolio optimization with interval coefficients.", *Fuzzy portfolio optimization. Studies in fuzziness and soft computing*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, Vol. 316, pp. 33-59.

Hallerbach, W.; Ning, H.; Soppe, A.; Spronk, J., (2004), "A framework for managing a portfolio of socially responsible investments.", *Eur. J. Oper. Res.*, 153, 517–529.

Huang, X., (2008), "Mean-semivariance models for fuzzy portfolio selection.", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 217(1), 1-8.

Huang, X., (2010), *Portfolio analysis, from probabilistic to credibilistic and uncertain approaches*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, vol. 250.

J.F. F. Barata et al., (2014), "Multi-Criteria Indicator for Sustainability Rating in Suppliers of the Oil and Gas Industries in Brazil", *Sustainability* 6.3, pp. 1107–1128.

Jalota, H.; Thakur, M.; Mittal, G., (2017), "Modelling and constructing membership function for uncertain portfolio parameters: A credibilistic framework.", *Expert Syst. Appl.*, 71, 40–56.

Kahneman D., Tversky A., (1979), "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk.", *Econometrica*, vol. 47, N. 2, pp. 263-291.

L. Holme and R.Watts., (1999), *Making good business sense*, TheWorld Council for Sustainable Development, Geneva, 1999.

Liu, B., (2004), *Uncertainty theory: an introduction to its axiomatic foundations*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, Vol. 154.

Liu, B., & Liu, Y. K., (2002), "Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(4), 445-450.

Markowitz H., Todd P., Xu G., Yamane Y., (1993), "Computation of mean-semivariance efficient sets by the Critical Line Algorithm.", *Annals of Operations Research*, volume 45, issue 1, pp. 307-317.

N. Kreander, R.H. Gray, D.M. Power, C.D. Sinclair., "Evaluating Performance of Ethical and Non-ethical Funds: A Matched Pair Analysis".

Omidi, F., Abbasi, B., & Nazemi, A., (2017), "An efficient dynamic model for solving a portfolio selection with uncertain chance constraint models.", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 319, 43-55.

P.Osthoff, (2008), "Socially Responsible Investment.", *Logos Verlag Berlin*.

Schaefer Anja, (2014), "Corporate sustainability – integrating environmental and social concerns?", *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, volume 11, issue 4, 179-187.

Schmitt, N., & Westerhoff, F., (2017), "On the bimodality of the distribution of the S&P 500's distortion: Empirical evidence and theoretical explanations.", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 80, 34-53.

Senge, P., B. Smith, N. Kruschwitz, J. Laur and S. Schley, (2008), *The Necessary Revolution: How Individuals and Corporations Are Working Together to Create a Sustainable World*, New York: Doubleday.

Shapiro, Joan, (1992), "The Movement since 1970.", In: Kinder, Peter D., Lydenberg, Steven D. and Domini, Amy L. (Ed.). *The Social investment Almanac. A comprehensive guide to socially responsible investing.*, New York: Henry Holt and Company.

Shen, K.-Y., Yan, M.-R., & Tzeng, G.-H., (2014), "Combining VIKOR-DANP model for glamor stock selection and stock performance improvement.", *Knowledge-Based Systems*, 58, 86-97.

Sobreiro, V. A., Cruz Cacique da Costa, T. R., Farias Nazário, R. T., Lima e Silva, J., Moreira, E. A., Lima Filho, M. C., & Arismendi Zambrano, J. C., (2016), “The profitability of moving average trading rules in BRICS and emerging stock markets”, *The North American Journal of Economics and Finance*, 38, 86-101.

Sparkes, R. & Cowton, (2004), “The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of the Developing Link with Corporate Social Responsibility.”, *C.J. Journal of Business Ethics*, volume 52, issue 1, pp. 45-57.

Steuer, R.E.; Qi, Y.; Hirschberger, M., (2007), “Suitable-portfolio investors, nondominated frontier sensitivity and the effect of multiple objectives on standard portfolio selection.”, *Ann. Oper. Res.*, 152, 297–317.

Tversky A, Kahneman D., *Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty*.

Utz, S.;Wimmer, M.; Hirschberger, M.; Steuer, R.E., (2014), “Tri-criterion inverse portfolio optimization with application to socially responsible mutual funds.”, *Eur. J. Oper. Res.*, 234, 491–498.

Valor, C., & de la Cuesta, M., (2007), “An empirical analysis of the demand of Spanish religious groups and charities for Socially responsible investments.”, *Business Ethics: A European Review*, 16(2), 175-190.

Vercher, E., & Bermúdez, J. D., (2012), “Fuzzy Portfolio selection models: a numerical study.”, in M. Doumpos, C. Zopounidis, & P. M. Pardalos (Eds.), *Springer optimization and its applications*, Boston, MA: Springer, vol. 70, pp. 253-280.

Vercher, E., & Bermúdez, J. D., (2013), “A Possibilistic mean-downside risk-skewness model for efficient portfolio selection.”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(3), 585-595.

Vercher, E., & Bermúdez, J. D., (2015), “Portfolio optimization using a credibility mean-absolute semi-deviation model.” *Expert Systems with Applications*, 42(20), 7121-7131.

Zadeh, L.A., (1978), “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.”, *Fuzzy Sets and Syst.* 1, 3–28.

Zadeh, L.A., (1965), *Fuzzy sets. Inf. Control*, 8, 338–353.

Zhu, M., Atri, S., & Yegen, E., (2016), “Are candlestick trading strategies effective in certain stocks with distinct features?”, Pacific-Basin, *Finance Journal*, 37, 116-127.

Sitografia

Banca d'Italia, Comunicato stampa del 15 maggio 2019: “*La Banca d'Italia dà valore alla sostenibilità negli investimenti finanziari*”, disponibile a <https://www.bancaditalia.it/media/comunicati/documenti/2019-01/cs-20190515-esg.pdf>.

Bloomberg intelligence, “*Sustainable investing grows on pension millenials*”, disponibile a <https://www.bloomberg.com/professional/blog/sustainable-investing-grows-pensions-millennials/>.

BNP Paribas Securities Services, “*Fintechs and the ESG data challenge – Six case studies of emerging technologies*”, 20 novembre 2019, disponibile a <https://securities.bnpparibas.com/insights/fintechs-esg-data-case-studies.html>.

BNP PARIBAS, “*Esg Global Survey 2019: investing with purpose for performance.*”, disponibile a https://cib.bnpparibas.com/sustain/esg-global-survey-2019-investing-with-purpose-for-performance_a-3-2900.html.

Commissione Europea, sezione notizie. “*Finanza sostenibile: il piano d'azione della Commissione per un'economia più verde e più pulita.*”, disponibile a https://ec.europa.eu/italy/news/20180308_piano_di_azione_Ce_per_finanza_sostenibil_e_it.

EIOPA. “*Consultation Paper on an opinion on sustainability within Solvency II*”, disponibile a https://eiopa.europa.eu/Publications/Consultations/EIOPA-BoS-19-241_Consultation_Paper_on_an_opinion_%20on_sustainability_in_Solvency_II.pdf.

ESMA. “*Consultation Paper on integrating sustainability risks and factors in MiFID II*”, disponibile a https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2018-esma35-43-1210-ipisc_cp_mifid_ii_sustainability.pdf.

Eurosif, “*Water theme report*”, disponibile a http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2014/06/water_theme_report.pdf.

Eurosif, “*Corruption theme report*”, disponibile a http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2014/06/eurosif_corruption_report_june2010.pdf.

Eurosif, “*Remuneration theme report*”, disponibile a http://www.eurosif.org/wp-content/uploads/2015/03/Eurosif_remuneration-report-2010.pdf.

FT Adviser, “*Pension schemes mandated to disclose ESG risks*”, disponibile a <https://www.ftadviser.com/pensions/2018/09/11/pension-schemes-mandated-to-disclose-esg-risks/>

Kirkland & Ellis, “*States Take Lead on ESG Investment Regulations While Feds Stand Still*”, disponibile a <https://www.kirkland.com/publications/article/2019/10/states-take-lead-on-esg-investment-regulations-when>.

Mars Incorporated, “*Cocoa for Generations*”, disponibile a <https://www.mars.com/sustainability-plan/cocoa-for-generations>.

Monetary Authority of Singapore MAS, “*Sustainable Finance*”, disponibile a <https://www.mas.gov.sg/development/sustainable-finance>.

Pensions&Investments, “*More institutional investors putting money on ESG*”, disponibile a <https://www.pionline.com/article/20180903/PRINT/180909992/more-institutional-investors-putting-money-on-esg>.

PRI, Principles for Responsible Investment , “*The PRI’s ESG and alpha study*”, disponibile a <https://www.unpri.org/listed-equity/the-pris-esg-and-alpha-study-/2740.article>.

PWC’s Top trends – Financial Services. “*Finanza sostenibile. L’evoluzione del quadro normativo europeo per favorire la transizione alla green economy a gli impatti*”

per gli intermediari finanziari”, disponibile a <https://www.pwc.com/it/it/industries/banking-capital-markets/fs-top-trends/docs/toptrends-finanza-sostenibile.pdf>.

US SIF, “Report on US Sustainable, Responsible and Impact Investing Trends”, disponibile a <https://www.ussif.org/files/Trends/Trends%202018%20executive%20summary%20FINAL.pdf>.