



Cattedra

RELATORE

CORRELATORE

CANDIDATO

Anno Accademico

Sommario

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1 - IL RISCHIO FISICO E DI TRANSIZIONE.....	8
1.1 IL RISCHIO FISICO	8
1.1.1 - DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE	8
1.1.2 - IMPATTI SUI COSTI DI FINANZIAMENTO E SUL CAPITALE PROPRIO	11
1.2 - I RISCHI DI TRANSIZIONE	15
1.2.1 DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE.....	15
1.2.2 - IL RISCHIO DI TRANSIZIONE E IL COSTO DEL CAPITALE PROPRIO	21
CAPITOLO 2 - IL COSTO DEL CAPITALE PROPRIO.....	25
2.1- IL CAPM	25
2.1.1 - LA CAPITAL MARKET LINE E LA SECURITY MARKET LINE.....	28
2.1.2 -APPLICAZIONI DEL CAPM.....	35
2.2 - LE COMPONENTI DEL CAPM	38
2.2.1 - IL TASSO RISK FREE	38
2.2.2 - IL PREMIO PER IL RISCHIO.....	42
2.2.3 - IL BETA.....	46
CAPITOLO 3 - DEBOLEZZE DEL CAPM E MODELLI ALTERNATIVI.....	52
3.1- DEBOLEZZE DEL CAPM.....	52
3.2 - I MODELLI MULTIFATTORIALI.....	56
3.2.1 - FAMA E FRENCH	56
3.2.2 - ARBITRAGE PRICING THEORY	60
3.2.3 - IL CARBON BETA NEI MODELLI APT	62
CAPITOLO 4 – METODOLOGIA E ANALISI DEI RISULTATI.....	66
4.1 - METODOLOGIA GENERALE	66
4.2 - LA REGRESSIONE LINEARE	71
4.2.1 - PANORAMICA TEORICA E APPLICAZIONE SPECIFICA	71
4.2.2 - STATISTICHE DIAGNOSTICHE E VARIABILI ARTIFICIALI	77
4.3 - I RISULTATI: MODELLO 1 E MODELLO 2	79
4.3.1 - IL MODELLO 1	79

4.3.2 - IL MODELLO 2	83
4.4 - CARBON PRICING VS CARBON BETA: COME SI COLLOCA IL MODELLO	87
CONCLUSIONI	91
BIBLIOGRAFIA	93

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico è oggi riconosciuto come una delle principali minacce sistemiche per la stabilità economica e finanziaria globale¹. Le sue implicazioni non si limitano alla dimensione ambientale, ma si estendono profondamente alle modalità con cui le imprese producono valore, allocano risorse e interagiscono con i mercati finanziari. I settori altamente inquinanti generano un volume di affari corposo, con il fossile che riveste un ruolo dominante, movimentando 6,3 trilioni di USD l'anno e accaparrandosi 5500 miliardi di dollari di finanziamenti, a partire dal 2016². Ad oggi banche ed istituti di credito sono ancora fortemente invischiati in settori o tecnologie impattanti, in quanto il 61% dei finanziamenti bancari europei era diretto verso settori ad alto impatto ambientale³. Considerando la struttura finanziaria dei mercati e il ruolo dei vari attori, il cambiamento climatico è stato definito come un fattore “Cigno Verde”⁴, cioè una fonte di rischio sistemico che può innescare turbolenze finanziarie difficilmente prevedibili o contenibili con strumenti tradizionali⁵. In particolare, la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio – guidata da obiettivi climatici internazionali, innovazioni tecnologiche e crescenti pressioni normative – sta generando nuove classi di rischio che influenzano direttamente le valutazioni aziendali e il calcolo del costo del capitale⁶.

¹ Commissione Europea. (2024, 1° luglio). *Rapporto della Commissione Europea*

² Rainforest Action Network, BankTrack, Indigenous Environmental Network, Oil Change International, Reclaim Finance, & Sierra Club. (2024). *Banking on Climate Chaos: Fossil Fuel Finance Report 2024*.

³ European Banking Authority (EBA). (2025, 25 aprile). *The EBA publishes key indicators on climate risk in the EU/EEA banking sector*.

⁴ Bank for International Settlements (BIS). (2020). *The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change*.

⁵ Bolton, P. (a cura di). (2021). *Banche centrali nell'era del cambiamento climatico*.

⁶ Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549.

Nel 2015, l'Accordo di Parigi ha ambiziosamente sancito l'obiettivo di contenere l'aumento delle temperature globali al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, con l'intenzione di non superare 1,5°C⁷ (al momento tecnicamente possibile ma politicamente improbabile)⁸. Per perseguire tale traguardo sono stati messi in campo una serie di strumenti normativi e classificatori, per incentivare le aziende ad intraprendere i processi di transizione ecologica, usando come leva gli spostamenti di capitale. Tra gli esempi più noti annoveriamo:

- il Regolamento SFDR (Sustainable Finance Disclosure Regulation), che impone agli operatori finanziari europei obblighi di trasparenza rispetto all'integrazione dei rischi di sostenibilità nei prodotti di investimento⁹.
- la Tassonomia Verde dell'UE, che stabilisce una classificazione scientifica unificata delle attività economiche ambientalmente sostenibili, con l'obiettivo di orientare i flussi di capitale verso attività compatibili con la transizione ecologica¹⁰.
- le raccomandazioni della TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures), che forniscono linee guida volontarie ma largamente adottate per la rendicontazione dei rischi e delle opportunità climatiche da parte delle imprese¹¹.

Una delle sfide è capire se, con il supporto di strumenti globalmente riconosciuti come quelli sopracitati, i mercati siano in grado di valutare accuratamente l'impatto e l'entità dei rischi

⁷ Parlamento Europeo (2023, dicembre). *L'UE e l'accordo di Parigi*

⁸ Carrington, D. (2024, November 18). *World's 1.5C climate target "deader than a doornail", experts say*. The Guardian.

⁹ European Parliament and Council. (2019). *Regulation (EU) 2019/2088 on sustainability-related disclosures in the financial services sector (SFDR)*. Official Journal of the European Union.

¹⁰ European Parliament and Council. (2020). *Regulation (EU) 2020/852 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment and amending Regulation (EU) 2019/2088 (EU Taxonomy Regulation)*. Official Journal of the European Union.

¹¹ Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2017). *Final report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*.

derivanti da un'economia in evoluzione verso uno scenario di basse emissioni. Uno studio dell'Unione Europea (2021)¹² ha dimostrato empiricamente che la “greenness” dei portafogli (definita tramite la Tassonomia Verde) è inferiore in maniera considerevole rispetto all'esposizione al rischio di transizione (1,3% vs 5,5%).

Per valutare se i mercati siano effettivamente in grado di integrare i rischi di transizione nei propri andamenti, è utile scomporre la questione analizzando le principali modalità attraverso cui tali rischi possono manifestarsi e diventare osservabili. Secondo la letteratura economica, i fattori di rischio si riflettono principalmente nei prezzi degli asset, nei rendimenti attesi, nei credit spread e nella volatilità implicita. In primo luogo, il rischio sistemico è incorporato nei prezzi delle attività finanziarie attraverso modelli come il Capital Asset Pricing Model (CAPM) e il Fama-French multifactor model, secondo cui gli investitori richiedono un rendimento aggiuntivo per detenere titoli più rischiosi¹³. A tal proposito la letteratura ha individuato fattori specifici di sensibilità al rischio climatico, definiti carbon o climate beta¹⁴. Aumenti del rischio percepito generano tipicamente un calo nei prezzi azionari e un incremento nei rendimenti richiesti, fenomeno particolarmente evidente durante periodi di instabilità finanziaria¹⁵. Un'altra modalità rilevante di segnalazione del rischio è l'aumento degli spread di credito per emittenti considerati più rischiosi. Le imprese con un profilo di rischio più elevato, valutato in base a settore, localizzazione geografica ed esposizione a fattori esogeni, affrontano un costo del capitale più elevato sia attraverso prestiti bancari sia tramite obbligazioni emesse sul mercato

¹² *Two sides of the same coin: Green Taxonomy alignment versus transition risk in financial portfolios* – Alessi, Battiston (2021)

¹³ Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

¹⁴ Giglio, S., Kelly, B., & Pruitt, S. (2021). *Climate finance*. *Annual Review of Financial Economics*, 13, 15-36.

¹⁵ Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.

¹⁶. Tale maggiore rischio si riflette anche nei rating creditizi, che sintetizzano la probabilità di default e influenzano direttamente la percezione degli investitori ¹⁷.

In parallelo, l'indice VIX, misura della volatilità implicita dell'S&P 500, è spesso considerato un termometro del rischio futuro atteso dagli operatori, indicando una maggiore incertezza nei momenti di tensione finanziaria ¹⁸. I mercati reagiscono anche a shock esogeni attraverso comportamenti noti come flight to quality, in cui il capitale viene spostato da asset rischiosi verso strumenti considerati più sicuri, come Treasury bond o oro, alterando le correlazioni tra asset class ¹⁹. Questo comportamento si accentua in presenza di eventi geopolitici, crisi sanitarie o rischi ambientali e climatici ²⁰. Infine, l'adozione diffusa di modelli quantitativi, incluse simulazioni Monte Carlo e approcci basati sul Value-at-Risk (VaR), ha reso più sistematica la misurazione del rischio e il suo riflesso nei portafogli, contribuendo a una gestione più efficiente e consapevole del rischio finanziario²¹.

La questione verrà dipanata all'interno dell'elaborato, con un focus specifico sull'individuazione di una eventuale correlazione tra rischio di transizione e costo dell'equity. La sperimentazione sarà incentrata sulle grandi imprese italiane, quotate sull'indice FTSE MIB.

¹⁶ Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., & Wurgler, J. (2018). Financing the response to climate change: The pricing and ownership of US green bonds. *NBER Working Paper No. 25194*.

¹⁷ Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23(4), 589-609.

¹⁸ Whaley, R. E. (2000). The investor fear gauge. *The Journal of Portfolio Management*, 26(3), 12-17.

¹⁹ Longin, F., & Solnik, B. (2001). Extreme correlation of international equity markets. *The Journal of Finance*, 56(2), 649-676.

²⁰ Bekaert, G., Engstrom, E., & Xu, Y. (2013). Flight-to-quality or flight-to-liquidity? Evidence from the global financial crisis. *The Review of Financial Studies*, 26(4), 913-949.

²¹ Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. McGraw-Hill.

CAPITOLO 1:

IL RISCHIO FISICO E DI TRANSIZIONE

CAPITOLO 1 - IL RISCHIO FISICO E DI TRANSIZIONE

Nel primo capitolo dell'elaborato saranno introdotti e approfonditi i due rischi legati al cambiamento climatico: rischio fisico e rischio di transizione. Verranno inoltre indagate le relazioni dei due rischi con le variabili aziendali, in particolare il legame tra rischio di transizione costo dell'equity.

1.1 IL RISCHIO FISICO

In questo paragrafo verrà definito e analizzato il rischio fisico, concetto complementare del rischio di transizione nel contesto del cambiamento climatico.

1.1.1 - DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE

I rischi fisici derivano dagli effetti materiali e diretti del cambiamento climatici. La misurazione è solitamente matematizzata come la differenza tra il GDP potenziale in uno scenario senza cambiamenti climatici e il GDP effettivo in uno scenario reale²². Una definizione alternativa si configura come firm-based, la quale definisce questo tipo di rischio come la differenza tra i danni riscontrati in una condizione di abbattimento delle emissioni “business-as-usual policy” e un dato scenario di cambiamento climatico (l'aspetto problematico di questa definizione sta nell'individuare in maniera univoca cosa si intenda per “business-as-usual”)²³.

Tale rischio si traduce in impatti diretti, quali danni materiali o calo della produttività, oppure in impatti indiretti come l'interruzione catene produttive²⁴. Possono influenzare la stabilità

²² Network for Greening the Financial System (NGFS). (2023). *NGFS Climate Scenarios for Central Banks and Supervisors – Phase IV*.

²³ Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). *Emissions – the “business as usual” story is misleading*. *Nature*, 577, 618–620.

²⁴ Unione Europea (2020, novembre). *Guida UE sui rischi climatici*

finanziaria, in particolare delle attività di underwriting, di prestito, oltre che la svalutazione di titoli detenuti nei portafogli²⁵.

In ambito accademico è stata effettuata una sotto classificazione dei rischi fisici in due categorie: rischi acuti e rischi cronici²⁶. Il criterio di suddivisione è rintracciabile nel lasso temporale entro il quale si verificano gli eventi di cambiamento climatico, circostanziale in un caso e persistente nell'altro. Questa scorporazione non è un mero esercizio stilistico, ma ha un'importanza rilevante nello studio degli impatti del rischio fisico sugli ambiti aziendali di produzione del valore. Vengono ora approfondite le definizioni e le declinazioni concrete delle due categorie concettuali:

- **Rischi acuti:** legati a eventi climatici estremi e improvvisi, come uragani, inondazioni, incendi, ondate di calore, che possono causare danni immediati e significativi alle infrastrutture, agli impianti produttivi e alle attività economiche²⁷. Eventi di questo tipo possono avere un impatto depressivo sul GDP di interi Paesi, in particolare nelle nazioni EME (Felbermayr and Groschl 2014).
- **Rischi cronici:** relativi a cambiamenti gradualmente e persistenti, come l'innalzamento del livello del mare, la desertificazione, la perdita di biodiversità e l'alterazione delle precipitazioni.

Questa suddivisione ha appunto una traduzione tangibile all'interno della ricerca economica, poiché è stato osservato empiricamente che la riduzione del valore aziendale è imputabile ai

²⁵ Fondo Monetario Internazionale. *Rapporto FMI 2020 sulla stabilità finanziaria globale* (2020, aprile 14)

²⁶ US Environmental Protection Agency. (2023). *Climate Risks and Opportunities Defined: Physical Risk Categories*. EPA.

²⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

rischi acuti piuttosto che a quelli cronici²⁸, con effetti visibili sulle vendite e sui dividendi. Questa evidenza, dedotta da un dataset di imprese con sede in 24 Paesi diversi, ci suggerisce che gli investitori non considerino effetti cronici potenzialmente distruttivi come fattori dirimenti nelle scelte di investimento. Ciò potrebbe portare ad un adattamento futuro disordinato dei valori degli asset, soprattutto in alcuni settori. Sempre in materia di impatto dei rischi fisici sulla svalutazione degli asset, uno studio di S&P²⁹ ci fornisce un quadro esaustivo a partire dall'analisi delle aziende presenti nell'indice S&P Global 1200. I risultati affermano che entro il 2050 i costi dei rischi fisici del cambiamento climatico saranno pari in media al 3,3% annuo – e fino al 28% annuo – del valore degli asset reali detenuti dalle aziende incluse nell'indice, con un aumento che toccherà il 6% nel 2090. Le proiezioni si basano sullo scenario climatico SSP3-7.0, secondo il quale le emissioni di gas serra raddoppieranno entro il 2100 e caratterizzato da misure di mitigazione limitate. Questi costi sono annuali e cumulativi nel tempo, rappresentando un rischio finanziario significativo per molte aziende. Gli effetti previsti dagli autori includono un calo della produttività del capitale, aumento dei costi di assicurazione, interruzione delle filiere produttive e shock sull'offerta. Secondo questo studio i settori più colpiti saranno le comunicazioni, l'immobiliare e quello assicurativo. Ed è proprio su quest'ultimo settore che si focalizza il report pubblicato nel 2022 da EIOPA³⁰. Dal documento si evince che questa categoria di rischi climatici ha impatti sia sul lato attivo, che comprende gli investimenti, sia su sinistri e risarcimenti danni. Un esempio significativo sul piano dei risarcimenti è l'alluvione che ha colpito l'Europa centrale nel 2013, costato 1,3 mld di euro di risarcimenti alle compagnie

²⁸ Baelen, N., Marsat, S., & Pijourlet, G. (2024). *Acute vs chronic physical climate risk and firm value*. *Finance Contrôle Stratégie*, 27(4), 1–35.

²⁹ S&P Global Sustainable1. (2024, marzo 10). *Quantifying the financial costs of climate change physical risks for companies*.

³⁰ EIOPA. *Sensitivity analysis of climate-change related transition risks: EIOPA's first assessment*

assicurative. Per quanto riguarda la prima categoria, i danni principali si concretizzerebbero su investimenti immobiliari, investimenti azionari e obbligazionari e sul deterioramento della qualità creditizia.

1.1.2 - IMPATTI SUI COSTI DI FINANZIAMENTO E SUL CAPITALE PROPRIO

Un aspetto centrale nello studio degli effetti del rischio fisico è l'eventuale relazione tra quest'ultimo e l'aumento dei costi di finanziamento per le aziende. L'impatto negativo è rintracciabile in numerosi studi focalizzati su aziende quotate o operanti in Paesi diversi, evidenziando l'ampia diffusione del fenomeno. Nello specifico:

- **Cina:** lo studio di Li, Zhang e Wang (2025) analizza l'impatto del rischio climatico fisico sui costi di finanziamento delle imprese quotate nelle borse A-share della Cina. Utilizzando un dataset ampio e dettagliato che comprende diverse centinaia di imprese nel periodo recente, gli autori esaminano come la crescente frequenza di eventi climatici estremi, quali ondate di calore, inondazioni e tempeste, influenzi la percezione del rischio da parte degli istituti finanziari e degli investitori. I risultati mostrano che le imprese maggiormente esposte a rischi fisici climatici affrontano tassi di interesse più elevati sui prestiti bancari, a causa dell'aumento dell'incertezza sulla continuità operativa e sulla capacità di rimborso. Inoltre, lo studio evidenzia che la percezione del rischio climatico incide negativamente sulla valutazione del merito creditizio, portando a condizioni di prestito meno favorevoli. Un altro aspetto rilevante è che le imprese con politiche di adattamento e strategie di mitigazione ambientale più sviluppate tendono a contenere l'aumento dei costi del debito, suggerendo l'importanza di pratiche sostenibili anche per la gestione finanziaria.³¹
- **Stati Uniti:** Lo studio di Johnson, Smith e Lee (2024), pubblicato dalla Brookings Institution, analizza in modo approfondito l'impatto dei rischi climatici fisici sul costo

³¹ Li, X., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). Climate risk and corporate debt financing: Evidence from Chinese A-share-listed firms. *Sustainability*, 17(9), 3870.

del debito a livello municipale negli Stati Uniti. Utilizzando un dataset dettagliato che copre diverse contee americane, gli autori hanno misurato la correlazione tra stress termico annuale — una misura degli eventi di caldo estremo³² — e i tassi di interesse applicati ai prestiti municipali. I risultati evidenziano che un aumento di un'unità nella variabile di stress termico è associato a un incremento medio di circa 5 punti base nei costi di indebitamento. Questo aumento, seppur apparentemente contenuto, assume grande rilevanza quando si considerano le elevate somme di denaro coinvolte nei finanziamenti pubblici e la loro durata pluriennale.³³

- **Italia:** spostandoci nel contesto nazionale, un contributo rilevante alla letteratura è offerto dallo studio di Pieroni, Bassetti e Dal Maso (2024)³⁴, che analizza il legame tra rischio climatico fisico – in particolare il rischio di inondazioni – e il costo del debito delle imprese italiane. Lo studio si distingue per l'adozione di una prospettiva spaziale: non solo vengono considerate le imprese situate in aree direttamente esposte a elevato rischio alluvionale, ma anche quelle localizzate in prossimità di zone vulnerabili. I risultati evidenziano che le imprese collocate in territori a rischio subiscono un aumento significativo del costo di indebitamento, misurato in termini di maggiori tassi di interesse sui prestiti bancari. I risultati fanno emergere una correlazione tra le variabili, in linea con altri studi accademici con campionamento distribuito diversamente al livello geografico.

In relazione all'oggetto della presente ricerca, verranno analizzate le evidenze accademiche sul rapporto tra rischio fisico di transizione e costo dell'equity. La letteratura in tal senso restituisce

³² Bernard, T. E., & Pourmoghani, M. (1999). A practical guide to the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index. *AIHA Journal*, 60(3), 242–246.

³³ Johnson, M., Smith, R., & Lee, T. (2024). Quantifying climate change risks to the cost of municipal borrowing. *Brookings Institution*.

³⁴ Pieroni, V., Bassetti, T., & Dal Maso, L. (2024). *Firms' borrowing costs and neighbors' flood risk*.

evidenze abbastanza variegata e con risultati non univoci. Il rapporto elaborato dal Fondo Monetario Internazionale nel 2020³⁵ afferma che i prezzi delle azioni non riflettono adeguatamente i rischi fisici, suggerendo una sottovalutazione da parte degli investitori di questi fattori durante le scelte di allocazione del capitale. Uno degli esempi citati è quello dell'Uragano Katrina, uno degli eventi più impattanti al livello di perdite umane ed economiche per gli Stati Uniti nella storia recente³⁶. L'evento in questione non ha avuto effetti significativi sugli indici americani. È opportuno sottolineare che all'interno del paper si fa riferimento principalmente ad eventi classificabili come rischi acuti, trascurando quelli cronici. Analizziamo ora alcuni stralci di produzioni accademiche che invece riscontrano una correlazione tra rischi fisici di cambiamento climatico e costo del capitale proprio. All'interno delle pubblicazioni considerate sono valutati gli impatti di diversi tipi di eventi meteorologici estremi, a volte in maniera combinata, a volte in maniera singola. Nello specifico le ondate di calore hanno un impatto³⁷ maggiorativo in tal senso. Il campione considerato include l'indice esteso dello S&P500 ed evidenzia un rendimento atteso annualizzato più alto di circa 1,2% – 1,7% per le imprese più esposte, con differenze che diventano statisticamente rilevanti nel periodo successivo al 2015 (anno degli Accordi di Parigi). È importante notare che il paniere dello studio sopracitato include per la maggior parte aziende collocate nelle economie avanzate, con un 36,14% avente sede negli Stati Uniti. Esistono produzioni accademiche focalizzate sull'individuazione di una eventuale eterogeneità di risultati tra economie avanzate e mercati in via di sviluppo. Il ricercatore Zhang³⁸ sostiene che effettivamente gli investitori di aziende con sede nei paesi EME reagiscono in maniera trascurabile all'aumento del rischio climatico globale. Ciò desta

³⁵ International Monetary Fund. (2020). *Global financial stability report: Bridge to recovery*. IMF.

³⁶ U.S. Government Accountability Office (GAO). (2020, 10 settembre). *Natural Disasters: Economic Effects of Hurricanes Katrina, Sandy, Harvey, and Irma* (GAO-20-633R).

³⁷ Brookings Institution. (2023). *Africa's Just and Sustainable Transition (AJST)*. Brookings Africa Growth Initiative.

³⁸ Ministero dell'Economia e delle Finanze. (2022). *Ricerca in economia e finanza internazionale: Rapporto 2022* (p. 62).

preoccupazioni in vista di un futuro adattamento disordinato dei premi a rischio, soprattutto in virtù dell'alta esposizione di molti paesi EME ad eventi meteorologici estremi.³⁹ Questo gap di ricezione del rischio può essere imputato alla minore efficienza riscontrata nei mercati finanziari dei paesi in via di sviluppo⁴⁰, in particolare alla minore efficienza informativa (McDermott & Cashin 1995). Inoltre, nei paesi in via di sviluppo, la limitata disponibilità di dati climatici granulari e comparabili ostacola l'analisi del rischio e la sua corretta integrazione nei processi decisionali finanziari, rendendo più difficile l'allineamento con gli obiettivi climatici globali⁴¹. È opportuno sottolineare però che quest'ultima considerazione è più adeguata alla descrizione dell'integrazione del rischio di transizione, per la cui valutazione nel tempo sono necessari dati quali adesione al sistema ESG, adattamenti alle politiche climatiche meno disponibili nei paesi EME. Una via di interpretazione alternativa in tal senso può essere elaborata partendo dai risultati accademici disponibili sul legame statistico tra rischio fisico e rischio di transizione. Lo studio di Rebonato, Kaint e Melin individua una relazione inversa tra sforzo economico profuso nelle politiche di transizione e danni fisici⁴². Dunque, in quest'ottica, le lacune informative che compromettono la corretta valutazione dei rischi di transizione per le singole aziende collocate sui mercati EME possono avere un impatto anche sui danni fisici.

³⁹ Bündnis Entwicklung Hilft & Ruhr University Bochum. (2024). *World Risk Report 2024*.

⁴⁰ Confronto dell'efficienza del mercato nei mercati azionari sviluppati, emergenti e di frontiera: un'analisi delle fluttuazioni detrended multifrattale, Lee, Chow 2023

⁴¹ NGFS (2022). *Final report on bridging climate-related data gaps*. Network for Greening the Financial System.

⁴² An EDHEC-Risk Climate Impact Institute Working Paper *The Link Between Physical and Transition Risk* — April 2024 (in questa sede il rischio di transizione è inteso come sforzo economico per arrivare ad un'economia a basso impatto di carbonio)

1.2 - I RISCHI DI TRANSIZIONE

In questo paragrafo verrà definito e classificato il rischio di transizione, analizzando più nello specifico il focus di questa tesi: la relazione tra il costo dell'equity e il rischio di transizione.

1.2.1 DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE

I rischi di transizione derivano dalle conseguenze economiche e finanziarie associate al processo di decarbonizzazione e di adattamento normativo, tecnologico e sociale all'interno dell'economia. La Banca Centrale Europea definisce questa categoria concettuale come “rischi derivanti dagli aggiustamenti costosi verso un'economia a basse emissioni”. L'EPA invece adotta una definizione leggermente più ristretta, classificandolo come il rischio collegato ai costi cumulativi sostenuti dalle aziende per gestire e adattarsi al cambiamento climatico e alle relative normative. Gli impatti di questa categoria di rischio sono importanti sotto molteplici aspetti. In uno scenario di altro rischio di transizione, ad esempio, i fondi di investimento sperimenterebbero perdite medie del 21,3% imputabili principalmente all'equity (-12,7%) e ai corporate bond (-5,7%)⁴³. Inoltre, un ipotetico detentore di portafogli obbligazionari sperimenterebbe la presenza di VAR climatici di transizione con valore -5,94% (EUR)⁴⁴.

Il rischio di transizione è in realtà composto da quattro categorie di rischio⁴⁵:

- **Rischi normativi:** legati all'introduzione di nuove normative ambientali, standard ESG, obblighi di disclosure climatica, tassazione sulle emissioni.

⁴³ *Measuring Transition Risk in Investment Fund* – Ricardo Crisostomo

⁴⁴ *Transizione climatica e obbligazioni, rischio o opportunità?* (2021) – Raus, Sampieri, Sparks

⁴⁵ *Sito ufficiale Unione Europea* (novembre 2020) - Guida sui rischi climatici e ambientali

- **Rischi tecnologici:** connessi all'obsolescenza di tecnologie inquinanti e alla necessità di investimenti in tecnologie pulite.
- **Rischi reputazionali:** derivanti da un cambiamento nelle preferenze dei consumatori e degli investitori verso imprese più sostenibili.
- **Rischi legali:** legati a potenziali azioni legali nei confronti di aziende responsabili di danni ambientali o che non hanno rispettato obblighi informativi.

Verranno in questa sede analizzati nello specifico ciascuno dei quattro sottogruppi individuati dalla letteratura accademica.

- **Rischi normativi:** la regolamentazione è un'arma potente per spingere Paesi e aziende alla decarbonizzazione, poiché tale strumento agisce su settori produttivi sensibili, come l'energia, l'industria pesante, i trasporti e la plastica monouso. Un primo esempio di imposizione fiscale ambientale è la plastic tax, introdotta in Italia con la legge n. 126 del 27 dicembre 2019. Tale tassa, ancora rinviata nella sua piena attuazione, prevede un'imposizione di 0,45 euro per chilogrammo di materia plastica contenuta in manufatti monouso (i cosiddetti MACSI), con applicazione al momento della produzione o importazione⁴⁶. Misure simili sono già operative in altri Paesi europei, come il Regno Unito, dove è in vigore dal 2022 una tassa di importo analogo, e la Spagna, che ha adottato nel 2023 una plastic tax con finalità ambientale ⁴⁷. Un secondo e più articolato strumento è rappresentato dall'EU Emissions Trading System (ETS), il mercato europeo del carbonio, introdotto nel 2005. Si tratta del primo e tra i più ampi sistemi di scambio di quote di emissione al mondo, basato sul principio del cap-and-trade: viene fissato un tetto massimo annuale alle emissioni di CO₂ (cap), che viene progressivamente ridotto

⁴⁶ Governo italiano. (2019). *Legge 27 dicembre 2019, n. 160 - Bilancio di previsione dello Stato 2020*.

⁴⁷ European Commission. (2023). *Environmental taxation in the EU Member States*.

per incentivare la decarbonizzazione. Le aziende operanti nei settori inclusi (energia, industria pesante, aviazione intra-UE) devono possedere una quota (EUA) per ogni tonnellata di CO₂ emessa. Le quote possono essere assegnate gratuitamente o acquistate all'asta, e il loro prezzo è soggetto a fluttuazioni di mercato⁴⁸. Nel 2022, ad esempio, il gruppo Eni ha sostenuto costi netti pari a 493 milioni di euro per l'acquisto di quote ETS, evidenziando il peso crescente delle normative ambientali sulla redditività delle imprese operanti nel settore fossile⁴⁹. Oltre all'ETS, molti Paesi europei adottano carbon tax nazionali, dirette ad applicarsi su settori non inclusi nel sistema di scambio, come i trasporti su strada e il riscaldamento civile. La Svezia è uno dei Paesi pionieri: fin dal 1991 impone una tassa sulle emissioni di CO₂, attualmente fissata a circa 130 euro per tonnellata, una delle più alte al mondo⁵⁰. Anche la Germania ha avviato nel 2021 un sistema simile, che si applica ai combustibili fossili usati nei settori edilizio e dei trasporti. Secondo le stime della Deutsche Bahn, la principale azienda di trasporto ferroviario tedesca, il costo della carbon tax per il 2026 potrebbe oscillare tra i 140 e i 160 milioni di euro, nonostante il 60% della rete sia alimentato da fonti rinnovabili⁵¹.

- **Rischi tecnologici:** un caso emblematico è rappresentato dal settore automobilistico statunitense, in particolare dai grandi gruppi come General Motors (GM), Ford e Stellantis. Negli ultimi anni, questi attori industriali sono stati sottoposti a una crescente pressione regolatoria, politica e legale, guidata in larga parte dalle nuove disposizioni dell'Environmental Protection Agency (EPA), che ha introdotto standard progressivamente più rigidi sulle emissioni di CO₂ per i veicoli leggeri⁵². Tali misure

⁴⁸ European Commission. (2022). *EU Emissions Trading System (EU ETS)*.

⁴⁹ Eni S.p.A. (2023). *Relazione finanziaria annuale 2022*.

⁵⁰ World Bank. (2023). *State and Trends of Carbon Pricing 2023*.

⁵¹ Deutsche Bahn AG. (2024). *Sustainability Report*.

⁵² Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles*.

hanno accelerato l'abbandono della tecnologia a motore endotermico (ICE) in favore della mobilità elettrica. In risposta, General Motors ha annunciato l'intenzione di eliminare gradualmente la produzione di veicoli con motori a combustione entro il 2035, e di diventare carbon neutral entro il 2040, includendo in questo impegno le proprie filiere ⁵³. In modo analogo, Ford e Stellantis hanno accelerato gli investimenti in ricerca e sviluppo, supply chain sostenibili e piattaforme EV, anche in virtù della crescente pressione esercitata dagli investitori istituzionali, dalle campagne legali ambientali e dai requisiti imposti dai rating ESG (Environmental, Social and Governance) per le imprese quotate ⁵⁴. Il fenomeno non riguarda solo il comparto automobilistico. Anche il settore siderurgico europeo, tradizionalmente legato a processi altamente energivori e basati sull'uso di carbone metallurgico, sta affrontando un rischio tecnologico di transizione. Le principali aziende del settore, tra cui Thyssenkrupp e Arcelor Mittal, sono state costrette a pianificare la riconversione verso tecnologie più sostenibili, in particolare attraverso l'introduzione di impianti basati su idrogeno verde (H₂), ottenuto mediante elettrolisi da fonti rinnovabili ⁵⁵. Uno degli approcci più promettenti è rappresentato dal processo Hydrogen-based Direct Reduction (H₂-DRI), che consente la produzione di acciaio abbattendo drasticamente le emissioni climalteranti, in sostituzione del tradizionale altoforno ⁵⁶. Tali innovazioni sono rese possibili grazie al supporto di fondi pubblici europei, in particolare attraverso il Green Deal, il piano REPowerEU, e l'accesso a strumenti finanziari sostenibili come le obbligazioni ESG-linked emesse dalle stesse imprese ⁵⁷. Tuttavia, la transizione comporta elevati costi di investimento iniziale, complessità operative e rischi legati all'incertezza tecnologica e normativa.

⁵³ General Motors. (2021). *GM's Vision of an All-Electric Future*.

⁵⁴ BlackRock Investment Institute. (2022). *Sustainability: The tectonic shift transforming investing*.

⁵⁵ ArcelorMittal. (2023). *Sustainability Report*.

⁵⁶ International Energy Agency (IEA). (2023). *Iron and Steel Technology Roadmap*.

⁵⁷ European Commission. (2023). *REPowerEU Plan – Industrial Decarbonisation*.

Inoltre, le imprese si trovano oggi sottoposte a un'intensa vigilanza da parte delle autorità regolatorie e dei mercati finanziari, che impongono standard di trasparenza sempre più stringenti nella rendicontazione delle strategie climatiche⁵⁸.

- **Rischi reputazionali:** negli ultimi anni, la crescente consapevolezza ambientale tra i consumatori ha trasformato la sostenibilità in un elemento cruciale nelle decisioni di acquisto, imponendo nuove sfide e opportunità per le imprese. Questo cambiamento è alimentato soprattutto dalle giovani generazioni, come la Gen Z e i Millennials, che mostrano una particolare sensibilità verso le tematiche ambientali e sociali⁵⁹. Allargando lo sguardo alla popolazione generale, è utile citare uno studio realizzato da Deloitte (2022)⁶⁰, il 64% dei consumatori globali considera la sostenibilità un fattore determinante nel processo di scelta dei prodotti e servizi. Questo dato riflette un trend di lungo termine che spinge le aziende a integrare pratiche sostenibili non solo per rispondere alle esigenze del mercato, ma anche per salvaguardare la propria reputazione. Un'ulteriore conferma viene da uno studio di PwC (2023)⁶¹, che evidenzia come il 50% dei consumatori sia disposto a pagare un prezzo più alto per prodotti e servizi sostenibili, con una propensione particolarmente marcata nelle fasce più giovani della popolazione. Questo comportamento conferma che il valore attribuito alla sostenibilità si traduce in un concreto vantaggio competitivo, ma espone anche le imprese a rischi reputazionali significativi in caso di incoerenza o greenwashing⁶². La gestione efficace della reputazione ambientale diventa quindi essenziale per mantenere la fiducia del pubblico e assicurare la fidelizzazione, mentre la trasparenza e la comunicazione autentica si

⁵⁸ Thyssenkrupp AG. (2023). *Hydrogen Strategy and Capital Markets Day Report*.

⁵⁹ McKinsey & Company. (2020). *True Gen': Generation Z and its implications for companies*.

⁶⁰ Deloitte. (2022). *Global Consumer Sustainability Survey 2022*. Deloitte Insights

⁶¹ PwC. (2023). *Consumer Intelligence Series: Sustainability and Pricing*. PwC.

⁶² de Freitas Neto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. d. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 19.

configurano come leve strategiche fondamentali per il successo nel mercato contemporaneo.

- **Rischi legali:** per comprendere l'entità dei rischi legali legati al cambiamento climatico possiamo considerare le cause legali più note avvenute o in corso come indicatore rivelatore. Le cause per inazione climatica, ad esempio, sono aumentate in modo significativo: secondo il Global Climate Litigation Report dell'UNEP (2023), i casi giudiziari in ambito climatico sono passati da circa 900 nel 2017 a oltre 2.180 nel 2022, coinvolgendo non solo Stati, ma anche un numero crescente di imprese private. La crescente adozione di normative come la Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) in Europa e la SEC Climate Disclosure Rule negli Stati Uniti accresce la responsabilità giuridica delle imprese, imponendo obblighi di trasparenza su strategie, rischi e impatti climatici. Le aziende maggiormente esposte sono quelle attive in settori ad alta intensità carbonica o con supply chain complesse, dove le aspettative di trasparenza ambientale e azione climatica sono elevate. Inoltre, la prospettiva di esposizione a contenziosi strategici, come quelli relativi alla responsabilità per danni ambientali indiretti o per greenwashing, sta inducendo molte imprese a rafforzare la due diligence climatica e a integrare i rischi legali nei propri modelli di governance e gestione del rischio. Diversi casi legali emblematici testimoniano questa tendenza. In *Milieudefensie v. Royal Dutch Shell* (Paesi Bassi, 2021), una corte ha ordinato a Shell di ridurre le proprie emissioni del 45% entro il 2030, includendo anche le emissioni indirette (Scope 3), riconoscendo l'azienda responsabile del suo contributo al cambiamento climatico. In Germania, il caso *Lliuya v. RWE* ha aperto alla possibilità di responsabilità extraterritoriale per danni climatici, mentre in *ClientEarth v. Shell Board* (UK, 2023) è stato sollevato per la prima volta il tema del dovere fiduciario degli amministratori nella gestione dei rischi climatici. Anche lo Stato francese è stato condannato per "inazione climatica" nel caso *Notre Affaire à Tous v. État Français*, a dimostrazione di come anche i governi possano essere chiamati a rispondere legalmente di politiche insufficienti in materia climatica.

1.2.2 - IL RISCHIO DI TRANSIZIONE E IL COSTO DEL CAPITALE PROPRIO

In questo paragrafo verrà analizzata la letteratura esistente che indaga la relazione tra rischio di transizione e costo del capitale proprio.

Da una revisione della letteratura emergono tre punti fermi legati all'analisi dei rischi di transizione, che risulteranno molto utili nella realizzazione della parte sperimentale di questo elaborato⁶³:

- Le emissioni di gas serra (GHG): rappresentano un parametro universale per classificare le aziende in “verdi” (low-carbon) e “marroni” (high-carbon), e costituiscono un indicatore chiave nella quantificazione dell'esposizione al rischio di transizione.
- Il prezzo del carbonio: utilizzato per stimare l'impatto economico delle politiche climatiche, funge da leva di mercato per incentivare la riduzione delle emissioni da parte delle imprese.
- I rating e gli indicatori ESG forniti da database specializzati (ad esempio Refinitiv, Sustainalytics): offrono valutazioni sistematiche e comparabili sul rischio di transizione, integrando metriche ambientali, sociali e di governance con dati sulle emissioni e sulla strategia climatica aziendale.

Entrando ora più nello specifico, verranno analizzati i risultati di due ricerche in particolare.

Il primo studio è stato condotto da un gruppo di ricercatori europei e afferma che il rischio di transizione è presente a partire dal 2005, intensificandosi negli anni successivi al 2015 (Accordi

⁶³ Di Febo, E., & Angelini, E. (2025). *Transition Risk in Climate Change: A Literature Review*. *Risks*, 13(4), 66.

di Parigi). Inoltre, i parametri che influiscono sulla determinazione del rischio aggiuntivo sono legati alle performance delle singole aziende in campo ESG⁶⁴.

Il secondo studio è quello più significativo all'interno della letteratura in materia ed è stato condotto da Bolton e Kacperczyk⁶⁵. Gli autori evidenziano l'esistenza di un carbon premium, ovvero un premio di rischio aggiuntivo richiesto dagli investitori per le imprese con maggiori emissioni di gas serra, che tuttavia presenta una distribuzione differenziata nel tempo e nello spazio.

In particolare, il rischio di transizione a breve termine risulta più elevato nei paesi meno sviluppati, caratterizzati da un'elevata dipendenza dai combustibili fossili e da una più lenta adozione di politiche aziendali volte a contrastare il cambiamento climatico. Al contrario, nei paesi più avanzati si osserva un premio di rischio più significativo nel lungo termine, in relazione all'attesa di normative più rigide e impegni ambientali ambiziosi.

Lo studio approfondisce l'impatto di quattro componenti del rischio di transizione attraverso modelli di regressione:

1. **Mix tecnologico:** confermata la correlazione tra utilizzo di fonti rinnovabili e rendimenti azionari inferiori, segno che gli investitori percepiscono minore rischio in paesi con un maggiore impiego di energie pulite.
2. **Ambiente sociopolitico:** la disuguaglianza di reddito incide sul premio di rischio nel breve termine, ma il suo effetto scompare nel lungo periodo.
3. **Rigore della politica climatica:** utilizzando dati sulla rigidità normativa forniti da Germanwatch, lo studio distingue tra politiche nazionali (DOMPOLICY) e

⁶⁴ Loyson, P., & van Wijnbergen, S., & altri. (2023). *Transition versus physical climate risk pricing in European financial markets: A text-based approach* (SUERF Policy Brief No 443). SUERF – The European Money and Finance Forum.

⁶⁵ Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2023). *Global pricing of carbon-transition risk*. *Journal of Financial Economics*.

internazionali (INTPOLICY). Le politiche domestiche risultano più influenti nel determinare il premio di rischio, suggerendo che gli investitori attribuiscono maggiore valore all'effettiva attuazione delle norme piuttosto che agli impegni sovranazionali.

4. **Rischio reputazionale:** settori ad alta intensità fossile sono soggetti a maggiore attenzione mediatica, con conseguente incremento del premio richiesto dagli investitori. Tuttavia, escludendo questi settori “salienti”, il carbon premium risulta ancora più elevato in comparti meno monitorati, indicando una sottovalutazione del rischio in tali aree.

In conclusione, Bolton e Kacperczyk dimostrano come il rischio di transizione sia già in parte incorporato nei prezzi di mercato, ma con significative differenze tra settori, aree geografiche e orizzonti temporali. La rilevanza delle politiche climatiche nazionali emerge come elemento cruciale per influenzare il costo del capitale, evidenziando l'importanza di una rigorosa attuazione delle strategie di transizione a livello domestico per ridurre il rischio percepito dagli investitori.

CAPITOLO 2:

IL COSTO DEL CAPITALE PROPRIO

CAPITOLO 2 - IL COSTO DEL CAPITALE PROPRIO

All'interno di questo capitolo verrà analizzato il CAPM, le sue caratteristiche, le criticità e le evoluzioni che ha subito nel tempo.

2.1- IL CAPM

La stima del costo del capitale proprio è un elemento cruciale in ambito finanziario, che ha generato una intensa produzione accademica degli ultimi sessant'anni. La corretta stima di questo parametro è essenziale per valutare progetti di investimento, ottimizzare la struttura finanziaria e calcolare il valore dell'impresa⁶⁶. Nel tempo, sono stati sviluppati diversi modelli teorici per stimare il costo del capitale proprio, con l'obiettivo di bilanciare rigore teorico e applicabilità pratica. Tra questi, i più diffusi e studiati sono il Capital Asset Pricing Model (CAPM), il modello multifattoriale di Fama e French e l'Arbitrage Pricing Theory (APT).

Il Capital Asset Pricing Model, nato negli anni Sessanta grazie a William Sharpe, John Lintner e Jan Mossin, è stato il primo modello formale a fornire una relazione teorica diretta tra rischio e rendimento atteso di un'attività finanziaria⁶⁷. Il CAPM si basa su ipotesi rigorose, difficilmente riscontrabili poi nel reale andamento dei mercati⁶⁸. In primo luogo, si assume che tutti gli investitori siano razionali e avversi al rischio, orientati alla massimizzazione dell'utilità attesa, con un orizzonte temporale unico e omogeneo. Inoltre, i mercati finanziari vengono considerati perfettamente concorrenziali, privi di frizioni come imposte, costi di transazione o restrizioni

⁶⁶ *Principles of Corporate Finance* – Brealey, Myers, Allen & Edmans (14^a ed., 2022)

⁶⁷ Sharpe, W. F. (1964). *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk*. Journal of Finance, 19(3), 425-442.

⁶⁸ Lintner, J. (1965). *The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets*. Review of Economics and Statistics, 47(1), 13-37.

alla vendita allo scoperto. Un'ulteriore ipotesi centrale è la possibilità per tutti gli investitori di prendere in prestito o prestare capitale a un tasso privo di rischio comune. Si presume anche che tutti gli agenti economici abbiano aspettative omogenee sui rendimenti, la varianza e la covarianza degli attivi. Infine, si postula l'esistenza di un portafoglio di mercato efficiente, che comprende tutti gli asset rischiosi in proporzione alla loro capitalizzazione, e che rappresenta la combinazione ottimale detenuta da ogni investitore assieme all'attività priva di rischio. Queste ipotesi, sebbene fondamentali per la costruzione teorica del modello, sono spesso oggetto di critica per il loro scarso realismo nei mercati finanziari effettivi.

La formula principale del CAPM esprime il rendimento atteso di un titolo come la somma del tasso privo di rischio e di un premio per il rischio proporzionale al beta:

$$R_i = R_f + \beta_i(R_m - R_f)$$

Dove:

- R_i è il rendimento atteso del titolo
- R_f è il tasso privo di rischio
- R_m il rendimento atteso del mercato
- β_i misura la sensibilità del titolo rispetto al mercato.

In questo quadro il rendimento di ogni titolo dipende solo dalla sua esposizione al rischio sistematico di mercato, misurata dal coefficiente beta.

Un concetto fondamentale nell'ambito del CAPM è il portafoglio efficiente. Alla base del Capital Asset Pricing Model (CAPM) si trova il concetto di portafoglio efficiente, introdotto da Harry Markowitz (1952)⁶⁹ nella sua teoria della selezione del portafoglio. Un portafoglio si

⁶⁹ Markowitz, H. (1952). *Portfolio selection*. Journal of Finance, 7(1), 77-91.

definisce efficiente quando, a parità di rendimento atteso, presenta la varianza (o deviazione standard) minima tra tutte le possibili combinazioni di attività finanziarie, oppure massimizza il rendimento atteso dato un determinato livello di rischio. Questo implica che nessun altro portafoglio possa offrire una combinazione migliore di rischio e rendimento.

Nel contesto del CAPM, si assume che tutti gli investitori razionali scelgano portafogli collocati sulla cosiddetta frontiera efficiente, ovvero l'insieme di portafogli ottimali nel piano rischio-rendimento⁷⁰. Quando viene introdotto il bene privo di rischio, diventa possibile combinare questo asset con un portafoglio rischioso per ottenere una linea retta, nota come Capital Market Line (CML). Il punto di tangenza tra la CML e la frontiera efficiente identifica un portafoglio particolare, definito come portafoglio di mercato, che rappresenta la combinazione ottimale detenuta da tutti gli investitori nel modello teorico del CAPM.

Questo approccio è stato sviluppato ulteriormente in ambito accademico e operativo. Ad esempio, Jagannathan e Ma⁷¹ hanno mostrato come, nella pratica, l'imposizione di vincoli di portafoglio (come il divieto di posizioni corte) possa produrre soluzioni più stabili e realistiche rispetto al portafoglio efficiente teorico. Allo stesso modo, DeMiguel, Garlappi e Uppal⁷² hanno evidenziato che le strategie semplici di allocazione, come quella equi-pesata (1/N), talvolta offrono performance comparabili o superiori ai portafogli ottimizzati, mettendo in discussione l'applicabilità concreta della teoria.

⁷⁰ Sharpe, W. F. (1964). *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk*. Journal of Finance, 19(3), 425-442.

⁷¹ Jagannathan, R., & Ma, T. (2003). *Risk reduction in large portfolios: Why imposing the wrong constraints helps*. Journal of Finance, 58(4), 1651-1684.

⁷² DeMiguel, V., Garlappi, L., & Uppal, R. (2009). *Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy?* Review of Financial Studies, 22(5), 1915-1953

Nonostante le criticità operative e le difficoltà nella stima accurata dei parametri (rendimenti attesi, varianze e covarianze), il concetto di portafoglio efficiente resta un pilastro fondamentale nella finanza moderna e rappresenta il presupposto teorico alla base del CAPM.

2.1.1 - LA CAPITAL MARKET LINE E LA SECURITY MARKET LINE

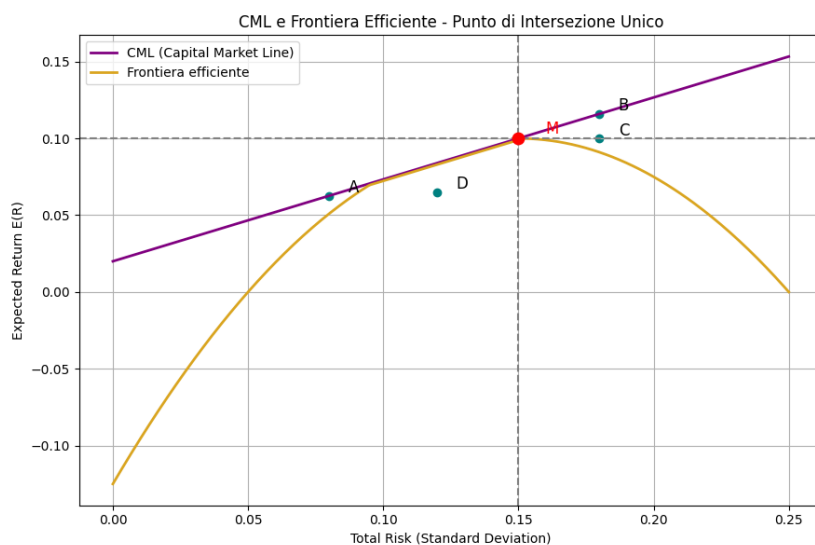
Concetti importanti ai fini della comprensione del modello sono la Capital Market Line e la Security Market Line.

La Capital Market Line (CML)⁷³ rappresenta la relazione tra il rischio totale di un portafoglio e il rendimento atteso, nel contesto della teoria di portafoglio di Markowitz e del Capital Asset Pricing Model (CAPM). Diversamente dalla Security Market Line, che si basa sul rischio sistematico di singoli titoli, la CML si concentra sul rischio totale misurato dalla deviazione standard del rendimento del portafoglio. La CML nasce dall'assunzione che esista un portafoglio di mercato efficiente (combinazione di tutti gli asset disponibili ponderati per capitalizzazione) e che gli investitori possano prendere in prestito o prestare al tasso privo di rischio R_f ⁷⁴. La linea parte dal punto R_f (rendimento del portafoglio privo di rischio con deviazione standard zero) e cresce linearmente in funzione del rischio totale del portafoglio. La CML rappresenta quindi la frontiera efficiente nel caso in cui gli investitori combinano il portafoglio di mercato con il bene privo di rischio. Portafogli situati sulla CML offrono la migliore combinazione rischio-rendimento possibile, mentre portafogli sotto la linea sono inefficienti.

⁷³ Markowitz, H. (1952). *Portfolio selection*. Journal of Finance, 7(1), 77-91.

⁷⁴ Sharpe, W. F. (1964). *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk*. Journal of Finance, 19(3), 425-442.

Di seguito è presente un grafico con la rappresentazione della CML:



Elaborazione a cura dell'autrice tramite Google Collab

La CML è oggetto di una serie di critiche dovute alla natura semplificativa del modello di cui è rappresentazione, ovvero il CAPM. Di seguito vengono illustrate le criticità principali:

- **Assunzione di un asset privo di rischio accessibile a tutti**

La CML presuppone che ogni investitore possa investire o indebitarsi al medesimo tasso privo di rischio, ma ciò non avviene nei mercati reali, dove i tassi di prestito sono generalmente più alti. Un esempio pratico può essere fatto prendendo in esame il mercato italiano. Il tasso interbancario a 3 mesi datato giugno 2025 era 1,98%⁷⁵; il tasso medio di prestito bancario privato nel 2024 è stato del 5,25%⁷⁶. Il gap, dunque, è del 3,31%.

- **Tassi di prestito e di investimento diversi**

In presenza di restrizioni al credito, la CML non rappresenta correttamente la frontiera

⁷⁵ Trading Economics. (2025). *Italy 3 Month Bill Yield*.

⁷⁶ Trading Economics. (2025). *Italy Lending Interest Rate*.

efficiente per tutti gli investitori. Infatti, nella pratica, nell'Unione Europea aziende con rating creditizio basso si collocano tra il 6% e il 10%; mentre aziende con ranking creditizio alto ottengono prestiti tra 1,8% e 2,5%⁷⁷.

- **Difficoltà nel definire e replicare il portafoglio di mercato**

Il portafoglio di mercato teorico include tutti gli asset esistenti (azioni, obbligazioni, immobili, capitale umano), ma in pratica non può essere replicato. Ad esempio, investitore individuale può facilmente acquistare un ETF azionario che replica un indice come l'Euro Stoxx 50, ma difficilmente potrà includere nel proprio portafoglio una quota di capitale umano o investimenti diretti in infrastrutture o arte, che invece fanno parte del portafoglio di mercato complessivo. Anche i fondi pensione, pur avendo un ampio ventaglio di asset, non riescono a rappresentare perfettamente l'intero universo di mercato.

- **Utilizzo della deviazione standard come unica misura di rischio**

La CML si basa sulla deviazione standard del rendimento, che però non distingue tra rischio sistematico e diversificabile. Ciò la rende inadatta per la valutazione di singoli asset. In uno studio di Statman⁷⁸, singoli titoli mostrano volatilità media annuale intorno al 30%, ma portafogli diversificati su più di 30 titoli vedono ridursi la volatilità a circa il 12-15%, confermando la riduzione del rischio diversificabile. Dunque, la rende adatta esclusivamente alla valutazione di portafogli efficienti, cioè quelli ben diversificati in cui il rischio diversificabile è praticamente azzerato. Al contrario, per la valutazione di singoli asset, che possono presentare un elevato rischio specifico, la CML è inadeguata

⁷⁷ European Central Bank. (2024). *Statistical Data Warehouse*.

⁷⁸ Statman, M. (1987). *How Many Stocks Make a Diversified Portfolio?* Journal of Financial and Quantitative Analysis, 22(3), 353-363.

perché tende a sovrastimare il rischio rilevante⁷⁹.

- **Non applicabile ai singoli titoli**

A differenza della Security Market Line (SML), che può essere utilizzata per valutare singoli asset, la CML è valida solo per portafogli efficienti.

- **Ipotesi di mercati perfettamente efficienti e investitori razionali**

La CML parte da assunti irrealistici, tra cui l'assenza di tasse, costi di transazione e l'esistenza di investitori completamente razionali. Questi elementi non riflettono il comportamento reale dei mercati.

Passiamo ora all'analisi di un altro concetto fondamentale per la comprensione del CAPM: la SML.

La Security Market Line (SML)⁸⁰ rappresenta graficamente la relazione lineare tra il rischio sistematico di un titolo e il suo rendimento atteso secondo il modello del Capital Asset Pricing Model (CAPM). Il rischio sistematico è misurato dal coefficiente beta (β), che indica la sensibilità del rendimento del titolo rispetto alle variazioni complessive del mercato. La SML ha come ascissa il beta e come ordinata il rendimento atteso. Un aspetto fondamentale è la presenza di un portafoglio a rischio zero, rappresentato dal punto in cui il beta è zero: in corrispondenza di $\beta=0$, il rendimento atteso coincide con il tasso privo di rischio R_f . Questo portafoglio può essere considerato come un investimento completamente privo di rischio, come

⁷⁹ Shanken, J. (1990). Intertemporal Asset Pricing: Some Tests and Speculations. *Journal of Financial Economics*, 28(1-2), 3-45.

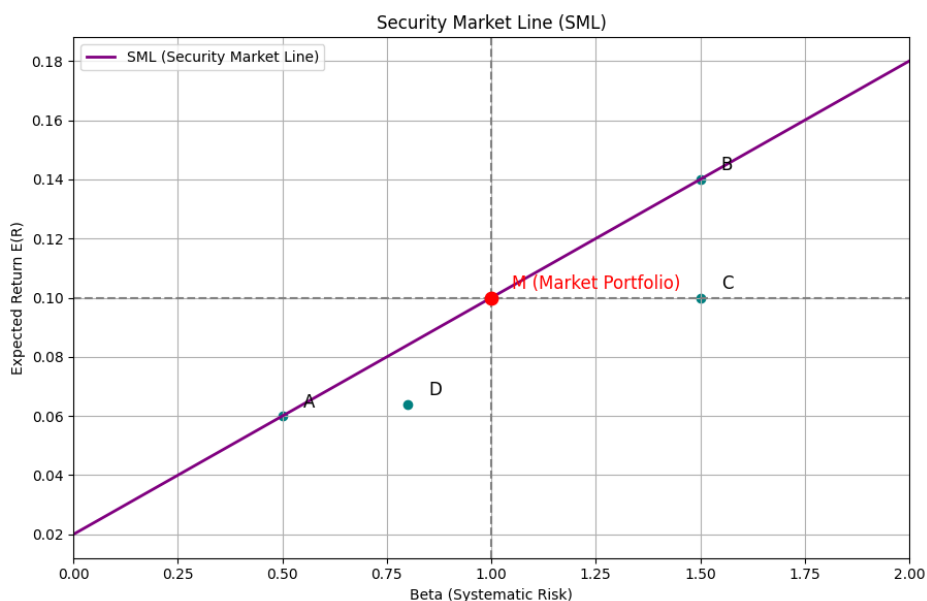
⁸⁰ Sharpe, W. F. (1964). *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk*. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

i titoli di Stato a breve termine (quest'ultima affermazione è vera in linea teorica, come vedremo nei paragrafi successivi). Qualsiasi titolo o portafoglio con beta maggiore di zero dovrebbe offrire un rendimento superiore a R_f per compensare l'investitore del rischio sistematico assunto.

Ad esempio, un titolo con beta pari a 1,2 sarà più volatile del mercato e, secondo la SML, offrirà un rendimento atteso superiore al rendimento medio di mercato per riflettere il maggior rischio. Al contrario, un titolo con beta pari a 0,5 sarà meno sensibile alle oscillazioni del mercato e offrirà un rendimento atteso inferiore. La posizione di un titolo rispetto alla SML fornisce indicazioni sulla sua valutazione: un titolo situato sopra la linea offre un rendimento maggiore di quello atteso per il suo livello di rischio, risultando quindi sottovalutato, mentre un titolo sotto la SML è sopravvalutato perché offre un rendimento inferiore a quanto giustificato dal rischio assunto.⁸¹

Di seguito è riportata una rappresentazione grafica della SML:

⁸¹ Fama, E. F., & French, K. R. (2004). *The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence*. Journal of Economic Perspectives, 18(3), 25-46.



Elaborazione a cura dell'autrice tramite Google Collab

Analogamente a quanto avviene per la CML, anche la SML è oggetto di una serie di critiche per la discrepanza tra modello teorico ed evidenze empiriche. Di seguito si riportano le più rilevanti:

- **Il beta come unico fattore di rischio:**

La SML assume che il beta sia l'unico determinante del rendimento atteso. Tuttavia, evidenze empiriche mostrano che variabili come la dimensione dell'impresa o il rapporto book-to-market hanno un ruolo significativo⁸². Questa è anche una delle critiche principali del CAPM, che ha portato all'elaborazione dei modelli multifattoriali come vedremo nei paragrafi successivi

- **Instabilità del beta nel tempo:**

Il beta non è stabile, ma può variare in funzione delle condizioni di mercato o delle caratteristiche aziendali, rendendo inaffidabile la stima del rendimento atteso.⁸³ Questa

⁸² Fama, E. F., & French, K. R. (1992). *The Cross-Section of Expected Stock Returns*. *Journal of Finance*, 47(2), 427–465

⁸³ Blume, M. E. (1971). *On the Assessment of Risk*. *Journal of Finance*, 26(1), 1–10.

critica è all'origine della ricerca di metodi di calcolo di beta dinamici, analizzati nei paragrafi successivi.

- **Ignora il rischio diversificabile:**

La SML è valida solo se gli investitori sono perfettamente diversificati. Nella realtà, molti soggetti (soprattutto retail) mantengono portafogli concentrati, dove anche il rischio specifico incide sui rendimenti.⁸⁴ Secondo una ricerca dell'ESMA (European Securities and Markets Authority) del 2023, oltre il 60% degli investitori retail europei detiene meno di 5 titoli nel proprio portafoglio⁸⁵. Per quanto riguarda il mercato italiano, un'indagine di CONSOB (2023) mostra che in Italia la media degli investitori retail detiene solo 2–3 strumenti finanziari, spesso azioni domestiche o singoli fondi. Inoltre, il 48% degli investitori ignora il concetto di diversificazione.⁸⁶ La situazione è molto simile negli USA, dove uno studio di Barber & Odean (2008) ha mostrato che gli investitori individuali americani tendono a sovrappesare titoli "familiari", come quelli di aziende note o locali, creando portafogli altamente concentrati⁸⁷.

- **Presuppone mercati perfetti:**

Il modello da cui deriva la SML assume condizioni ideali: assenza di tasse, costi di transazione nulli e accesso illimitato al tasso privo di rischio. Queste ipotesi non trovano ovviamente nei mercati reali.

- **Scarsa aderenza empirica:**

I dati reali spesso non confermano la SML. Titoli con beta elevato tendono a rendere meno del previsto, mentre titoli con beta basso possono rendere di più, contraddicendo

⁸⁴ Sharpe, W. F. (1964). *Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk*. *Journal of Finance*, 19(3), 425–442.

⁸⁵ ESMA (2023), *Retail Investment Behaviour in the EU*

⁸⁶ CONSOB (2023), *Rapporto sulle scelte di investimento delle famiglie italiane*

⁸⁷ Barber, B. M., & Odean, T. (2008). *All that glitters: The effect of attention and news on the buying behavior of individual and institutional investors*. *Review of Financial Studies*, 21(2), 785–818.

le previsioni del CAPM. Un esempio è lo studio di Black, Jensen & Scholes (1972)⁸⁸, che si concentra sull'analisi di aziende operanti sul mercato USA per oltre trent'anni. L'analisi conclude sostanzialmente che nella realtà la SML sarebbe più "piatta" di quanto previsto nel modello, con titoli a basso beta che in alcuni periodi hanno superato il rendimento di titoli a beta maggiore. Inoltre, fondi e le strategie low-volatility (che investono in titoli a basso beta o bassa volatilità) hanno sovraperformato sistematicamente titoli a rischio elevato. Ad esempio, MSCI World Minimum Volatility Index ha spesso sovraperformato il benchmark standard nei periodi 2009–2013 e 2016–2020⁸⁹. Spostandoci sul mercato europeo, studi hanno dimostrato che i portafogli decili a basso beta hanno avuto rendimenti superiori aggiustati per rischio rispetto a quelli ad alto beta.⁹⁰

Il punto di intersezione tra la CML e la SML è il portafoglio di mercato, che è l'unico portafoglio ad essere perfettamente diversificato e ad appartenere sia alla frontiera efficiente sia alla retta dei rendimenti attesi.

2.1.2 -APPLICAZIONI DEL CAPM

Le applicazioni del Capital Asset Pricing Model (CAPM) sono molteplici e riguardano vari ambiti della finanza, tra cui la valutazione d'impresa, l'analisi del rischio e la costruzione di portafogli.

⁸⁸ Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). *The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests*. In M. Jensen (Ed.), *Studies in the Theory of Capital Markets*.

⁸⁹ MSCI Research (2020). *Minimum Volatility Indexes: Historical Performance and Strategy*.

⁹⁰ De Roon, F. A., & Szymanowska, M. (2012). *The Cross-Section of Stock Returns in Emerging Markets: Beta and Beyond*. *Journal of International Money and Finance*, 31(3), 416–432.

Una delle principali applicazioni pratiche si trova nel modello Discounted Cash Flow (DCF).

Il modello del Discounted Cash Flow (DCF) rappresenta uno degli strumenti fondamentali nella valutazione finanziaria delle imprese, grazie alla sua capacità di stimare il valore di un'azienda basandosi sui flussi di cassa futuri attesi, opportunamente attualizzati. A differenza di altri metodi valutativi, come quelli basati sui multipli di mercato, il DCF si focalizza sulla generazione di cassa reale, considerata meno soggetta a manipolazioni contabili rispetto agli utili dichiarati⁹¹. Questo approccio consente di ottenere una stima più accurata e sostenibile nel tempo del valore aziendale. Nel dettaglio, il DCF può essere applicato utilizzando diverse tipologie di flussi di cassa: i Free Cash Flow to Equity (FCFE), ovvero i flussi di cassa disponibili per gli azionisti dopo il pagamento degli oneri finanziari, oppure i Free Cash Flow to Firm (FCFF), che rappresentano i flussi di cassa generati dall'impresa prima della remunerazione dei finanziatori. La scelta del flusso di cassa da scontare implica anche la selezione del tasso di attualizzazione più appropriato⁹². Quando si utilizzano gli FCFE, il tasso di sconto adottato è il costo del capitale proprio, che rappresenta il rendimento richiesto dagli azionisti per compensare il rischio associato all'investimento azionario. Il CAPM (Capital Asset Pricing Model) è uno dei modelli più diffusi per stimare questo costo, considerando il tasso privo di rischio, il premio per il rischio di mercato e la volatilità specifica dell'azienda rispetto al mercato⁹³. Nel caso in cui si utilizzino invece i FCFF, il tasso di sconto adottato è il WACC (Weighted Average Cost of Capital), ossia il costo medio ponderato del capitale, che riflette il costo complessivo del capitale dell'impresa, considerando sia il capitale proprio che il capitale

⁹¹ Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (3rd ed.). Wiley.

⁹² Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (3rd ed.). Wiley.

⁹³ Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425–442.

di debito⁹⁴. Il WACC si calcola come media ponderata dei costi delle diverse fonti di finanziamento, tenendo conto della loro incidenza nel capitale totale e dell'effetto fiscale derivante dalla deducibilità degli interessi passivi⁹⁵. La formula è la seguente:

$$\text{WACC} = \left(\frac{E}{E+D} \cdot \text{Re} \right) + \left(\frac{D}{E+D} \cdot \text{Rd} \cdot (1-\text{Tc}) \right)$$

dove:

E = valore di mercato del capitale proprio (equity)

D = valore di mercato del debito

E+D = valore totale dell'impresa (equity + debito)

Re= costo del capitale proprio (es. stimato con il CAPM)

Rd = costo del debito (es. tasso medio sui prestiti o obbligazioni)

Tc= aliquota fiscale dell'impresa (corporate tax rate)

Oltre al calcolo del costo del capitale proprio nei modelli di valutazione come il Discounted Cash Flow, il Capital Asset Pricing Model (CAPM) trova ampia applicazione in molteplici ambiti della finanza aziendale e dei mercati finanziari.

Il CAPM è inoltre ampiamente utilizzato nella definizione del tasso minimo accettabile di rendimento (hurdle rate) nelle decisioni di investimento. In ambito di capital budgeting, viene impiegato per attualizzare i flussi di cassa attesi di un progetto e calcolare l'NPV (Net Present

⁹⁴ Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of corporate finance (13th ed.)

⁹⁵ Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2015). Valuation: Measuring and managing the value of companies (6th ed.)

Value). In questo contesto, il rendimento richiesto stimato attraverso il CAPM funge da criterio di accettazione per il progetto: se il rendimento atteso è superiore all'hurdle rate, l'investimento viene ritenuto economicamente sostenibile⁹⁶.

Un'altra applicazione cruciale è nella gestione di portafoglio, in cui il CAPM fornisce una base teorica per la costruzione di portafogli efficienti e per la valutazione del rischio-rendimento relativo ai titoli rispetto al portafoglio di mercato. Questo approccio è coerente con la teoria della frontiera efficiente e supporta decisioni di asset allocation basate sul premio per il rischio sistemico⁹⁷.

Inoltre, consente il calcolo di indici di performance corretti per il rischio, come il Treynor Ratio, impiegati per valutare le competenze dei gestori di fondi⁹⁸.

2.2 - LE COMPONENTI DEL CAPM

In questo paragrafo verranno analizzate tutte le componenti del CAPM, unitamente alle critiche empiriche e accademiche che sono state elaborate nel tempo.

2.2.1 - IL TASSO RISK FREE

Il tasso risk-free rappresenta il tasso ottenuto su un investimento caratterizzato da assenza di incertezza associato ai flussi di cassa prodotti⁹⁹. Per individuare le condizioni affinché un titolo

⁹⁶ Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of Corporate Finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.

⁹⁷ Lintner, J. (1965). The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. *The Review of Economics and Statistics*, 47(1), 13–37.

⁹⁸ Treynor, J. L. (1965). How to Rate Management of Investment Funds. *Harvard Business Review*, 43(1)

⁹⁹ Borsa Italiana. *Glossario Finanziario*

sia risk free è necessario accostare la definizione appena enunciata al concetto di rischio¹⁰⁰. Il rischio in finanza è collegato alla varianza dei ritorni effettivi attorno ai ritorni attesi di un titolo. Dunque, affinché un titolo sia definito risk free è necessario che i ritorni attesi coincidano con i ritorni effettivi. Perché questa sovrapposizione si verifichi il titolo deve rispettare due requisiti:

- **assenza del rischio di insolvenza (default risk):** ciò è tipicamente garantito da titoli emessi da Stati con elevata solidità finanziaria e stabilità economica e politica, classificati dalle principali agenzie di rating come Standard & Poor's e Moody's nella più alta categoria di merito creditizio ("AAA" o "Aaa")¹⁰¹. Questi Stati, grazie anche al potere di signoraggio, sono in grado di assicurare nominalmente il rimborso del debito emesso, rendendo trascurabile il rischio di default¹⁰².
- **assenza del rischio di reinvestimento dei flussi intermedi:** i titoli che distribuiscono cedole periodiche espongono l'investitore all'incertezza dei tassi di interesse futuri, poiché il reinvestimento delle cedole avverrà a tassi non prevedibili, introducendo una variabile aleatoria in contrasto con la nozione di "privo di rischio".¹⁰³ Solo i titoli zero-coupon, che non pagano cedole ma restituiscono l'intero rendimento alla scadenza, possono evitare questo tipo di rischio. Inoltre, per minimizzare ulteriori fonti di incertezza, la durata residua del titolo dovrebbe coincidere con l'orizzonte temporale di investimento dell'investitore (holding period).¹⁰⁴ Una durata inferiore al periodo di investimento obbligherebbe a reinvestire il capitale a condizioni sconosciute, mentre una durata superiore esporrebbe il valore del titolo a fluttuazioni di mercato dovute alla

¹⁰⁰ Aswath Damodaran. *Estimating Risk Free Rates*. Stern School of Business

¹⁰¹ Fabozzi, F. J. (2021). *Bond Markets, Analysis, and Strategies* (10th ed.)

¹⁰² Blanchard, O. J. (2019). *Public Debt and Low Interest Rates*. American Economic Review, 109(4), 1197-1229.

¹⁰³ Fabozzi, F. J. (2021). *Bond Markets, Analysis, and Strategies* (10th ed.)

¹⁰⁴ Fabozzi, F. J. (2021). *Bond Markets, Analysis, and Strategies* (10th ed.)

volatilità dei tassi di interesse, con potenziali perdite o guadagni dipendenti dall'andamento dei tassi.

Nella pratica, titoli come i Bund tedeschi o i Treasury statunitensi sono comunemente utilizzati come proxy del tasso privo di rischio, grazie all'elevata liquidità e affidabilità, benché possiedano cedole. Possono essere utilizzati in alternativa strumenti zero-coupon o curve dei rendimenti costruite da questi ultimi, al fine di eliminare il rischio di reinvestimento.

- **Titolo zero-coupon:** zero-coupon bond pagano esclusivamente il valore nominale alla scadenza, evitando completamente il rischio di reinvestimento. Sono quindi considerati strumenti adatti per stimare il tasso privo di rischio in modo aderente alle caratteristiche teoriche del tasso privo di rischio¹⁰⁵.
- **Curve dei rendimenti zero-coupon (“spot curve”)** : Poiché i titoli zero-coupon non sono sempre disponibili per ogni scadenza, in pratica si ricorre alla costruzione di una curva dei rendimenti spot (detta anche zero-coupon yield curve o spot curve), che rappresenta il rendimento privo di rischio per ciascun orizzonte temporale¹⁰⁶. Questa curva viene costruita a partire dai prezzi di mercato di titoli di Stato con diverse scadenze (es. Treasury, Bund, BTP)¹⁰⁷, utilizzando tecniche quantitative come il bootstrapping, che consente di costruire i tassi spot estraendoli iterativamente dai prezzi dei titoli a cedola (a partire dalle scadenze più brevi)¹⁰⁸. In alternativa è possibile ricorrere a modelli parametrici, come il modello di Nelson–Siegel o la sua estensione Nelson–Siegel–Svensson, che consentono di stimare una curva dei rendimenti liscia e coerente con i dati

¹⁰⁵ Damodaran, A. (2023). *Risk-Free Rates: Determination and Applications*. NYU Stern School of Business.

¹⁰⁶ Bank for International Settlements. (2005). *Zero-coupon yield curves: Technical documentation*. BIS Papers No. 25.

¹⁰⁷ European Central Bank. (2025). *Euro Area Yield Curves*.

¹⁰⁸ Hull, J. C. (2021). *Options, Futures, and Other Derivatives* (11th ed.). Pearson.

osservati sul mercato¹⁰⁹. L'obiettivo è ottenere, per ciascuna scadenza, un tasso spot che rifletta il rendimento di un ipotetico titolo zero-coupon privo di rischio. Ad esempio, la BCE pubblica regolarmente curve zero-coupon basate su dati di mercato dei titoli di Stato europei (Bund tedeschi, BTP italiani, OAT francesi), costruite con modelli parametrici¹¹⁰.

La produzione accademica ha rilevato altre criticità in merito all'uso di titoli di stato come titoli risk free. Infatti, alcune misure di volatilità applicate sui rendimenti di titoli zero – coupon (compresi i T-Bill) mostrano una stocasticità non spiegabile unicamente dalla curva dei rendimenti attesi, provando che il titolo risk free presenta una varianza significativa¹¹¹. Inoltre, quattro ricercatori dell'università di Cambridge hanno analizzato l'andamento dei buoni del Tesoro statunitense da ottobre del 1995 a marzo 1996, periodo di disaccordo tra il Congresso e la Casa Bianca sul superamento del limite di debito federale¹¹². Dall'analisi emerge che effettivamente in quel lasso temporale il mercato avesse applicato un premio a rischio di default sui titoli sopracitati. Nel corso dei decenni sono state effettuate ricerche per verificare se esistessero altre proxy del risk free. Uno studio ha provato a verificare se oro e tassi di interesse interbancari fossero qualificabili come risk free, adottando un modello del CAPM a beta zero. Lo studio conclude che l'oro è un proxy per gli asset privi di rischio in Cina e Gran Bretagna, mentre gli IBOR assume lo stesso ruolo esclusivamente sul mercato cinese¹¹³.

¹⁰⁹ Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). *Parsimonious Modeling of Yield Curves*. Journal of Business, 60(4), 473–489.

¹¹⁰ European Central Bank. (2025). Euro area zero-coupon yield curve (spot).

¹¹¹ Andersen, Benzon (2007). *Do Bond span volatility in U.S. Market?*

¹¹² Nippani, Srinivas e Liu, Pu e Schulman, Craig T., 2001. "I titoli del Tesoro sono esenti da default? ", Journal of Financial and Quantitative Analysis, Cambridge University Press, vol. 36(2), pagine 251-265

La discrepanza tra teoria e pratica sull'adozione dei buoni del tesoro come titoli risk free rientra nelle semplificazioni adottate dal CAPM per modellizzare il rischio all'interno dell'equazione classica, configurandosi come uno dei problemi presentati da questo modello.

2.2.2 - IL PREMIO PER IL RISCHIO

L'equity Risk Premium (ERP) è una grandezza volta ad indicare la differenza tra il rendimento atteso del mercato azionario e il tasso privo di rischio¹¹⁴. Tale differenza esprime la rischiosità percepita da parte degli investitori in relazione ad un determinato mercato azionario e quantifica tale rischio al livello matematico. Questo premio è influenzato da diversi fattori che riflettono la percezione del rischio associato agli investimenti azionari. I principali fattori che influenzano l'ERP sono¹¹⁵:

- **Avversione al rischio degli investitori:** quando il livello di incertezza nel mercato aumenta, gli investitori tendono a richiedere un premio maggiore per detenere azioni. In contesti di alta avversione al rischio, l'ERP tende a salire.
- **Incertezza macroeconomica:** variabili come l'inflazione, la crescita del PIL e i tassi di interesse influiscono direttamente sull'ERP. Un'elevata incertezza macroeconomica e la volatilità di queste variabili portano a un ERP più alto, mentre in contesti economici stabili, l'ERP si riduce.
- **Incertezza informativa e qualità delle informazioni:** una scarsa trasparenza o disinformazione nei dati aziendali e nei bilanci aumenta il rischio percepito dagli investitori, con conseguente innalzamento dell'ERP.
- **Liquidità di mercato:** quando i mercati azionari sono meno liquidi, ossia quando la compravendita di titoli è più difficile, gli investitori percepiscono un rischio maggiore e, di conseguenza, richiedono un premio più elevato.

¹¹⁴He, O'Connor (2022) . *Identificazione di proxy per i tassi privi di rischio*

¹¹⁵ Damodaran, A. (2012). *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*

- **Fattori specifici dei mercati emergenti (premio paese):** il rischio paese, che si misura principalmente tramite i rating sovrani, è determinante per l'ERP in contesti di mercati emergenti. Paesi con rating più bassi, instabilità politica o economica e volatilità dei mercati portano ad un aumento del premio richiesto dagli investitori.

I metodi principali di stima dell'ERP sono quattro. Il primo si basa su sondaggi rivolti a investitori e accademici, ma risulta controverso, poiché spesso le aspettative dichiarate non si allineano con i rendimenti reali ¹¹⁶. Il secondo metodo ha un'impostazione storica ed è definito backward-looking. Il calcolo dell'ERP avviene tramite differenza tra i rendimenti azionari passati e quelli di titoli privi di rischio, su orizzonti temporali di lungo periodo ¹¹⁷, ma presenta il limite di non riflettere sempre le condizioni future. Il terzo approccio è intuitivamente opposto rispetto a quest'ultimo ed è definito forward-looking. L'ERP viene calcolato come la differenza tra il rendimento implicito atteso del mercato azionario (ottenuto dai prezzi e dagli utili attesi) e il tasso privo di rischio corrente¹¹⁸.

Una delle sue formulazioni più diffuse è il modello di Gordon-Shapiro (o Dividend Discount Model - DDM), in cui:

$$ERP = \frac{D_1}{P_0} + g - r_f$$

¹¹⁶ Green, T. C., & Hwang, B. H. (2012). *Investor sentiment and stock returns: The case of aviation disasters*. Journal of Financial Economics, 104(2), 367–386.

¹¹⁷ Siegel, J. J. (1992). *The equity premium: Stock and bond return since 1802*. Financial Analysts Journal, 48(1), 28–38.

¹¹⁸ Damodaran, A. (2023). *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications – The 2023 Edition*. NYU Stern School of Business.

dove:

- $D1$ = dividendo atteso l'anno prossimo
- $P0$ = prezzo corrente del titolo o dell'indice
- g = tasso di crescita atteso dei dividendi
- rf = tasso privo di rischio

L'ultimo approccio, utilizzato in questo elaborato, è l'approccio basato sul premio di rischio paese. Questo metodo prevede l'aggiunta di un country risk premium (CRP) al premio base calcolato per i mercati maturi, ed è utile soprattutto per analizzare i mercati emergenti. La stima del rischio paese si basa sui rating sovrani (Moody's, S&P, Fitch), che riflettono variabili come la stabilità politica, la forza della valuta domestica, il saldo della bilancia dei pagamenti e la regolamentazione dei mercati finanziari ¹¹⁹. Il differenziale tra i rendimenti obbligazionari di un paese e quelli privi di rischio, noto come country default spread, rappresenta un buon proxy del rischio paese, ed è corretto per tenere conto della maggiore volatilità del mercato azionario rispetto a quello obbligazionario, secondo la formula: Premio paese = Country Default Spread $\times (\sigma \text{ azionario} / \sigma \text{ obbligazionario})$ ¹²⁰. Infine, per determinare quanto un'azienda sia esposta al rischio paese, si considera la percentuale di ricavi derivanti dal paese d'origine rispetto al fatturato complessivo. Questa percentuale, indicata con λ è poi utilizzata per calcolare il costo del capitale azionario con la formula:

$$Re = rf + \beta \times (\text{premio base}) + \lambda \times (\text{premio paese}).$$

Questo approccio consente di stimare un tasso di rendimento coerente con il rischio effettivo a cui l'impresa è soggetta.

¹¹⁹ Erb, C. B., Harvey, C. R., & Viskanta, T. E. (1996). *Political risk, economic risk and financial risk*. Financial Analysts Journal, 52(6), 28–46.

¹²⁰ Damodaran, A. (2023). *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications*

Di seguito è fornita una tabella riassuntiva dei pro e contro dei quattro metodi:

Metodo	Vantaggi principali	Criticità principali
1. Storico (historical)	• Semplice e intuitivo.	• Assume che il passato predica il futuro.
2. Survey	• Raccoglie aspettative reali di professionisti.	• Fragile: influenzato da bias (ottimismo/pessimismo, anchoring, etc.).
3. Forward-looking	• Riflette condizioni e aspettative di mercato correnti. • Adattabile e aggiornabile spesso	• Dipende da ipotesi soggettive (dividendi attesi, crescita ecc.). • Necessita dati affidabili e modelli robusti.
4. Premio paese (Country Risk Premium, CRP)	• Facile reperimento dei dati • Adatta l'ERP base includendo il rischio paese.	• Dipende da accuratezza del rischio paese (rating, spread)

2.2.3 - IL BETA

Il beta esprime la sensibilità di un titolo rispetto ai movimenti del mercato, ed è definito tra il rendimento del titolo e quello del mercato divisa per la varianza del rendimento di mercato ¹²¹.

$$\beta = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

dove;

- R_i è il rendimento del titolo i
- R_m è il rendimento del portafoglio di mercato.

In altre parole, il beta misura il rischio sistematico di un'azione, ossia il rischio che non può essere diversificato, e riflette la correlazione tra il rendimento di un asset e quello di un indice di mercato. Un β superiore a 1 indica che l'azione tende a muoversi in modo più volatile rispetto al mercato, mentre un β inferiore a 1 suggerisce che l'azione è meno volatile del mercato stesso ¹²². Tuttavia, nonostante il suo ampio impiego nelle teorie finanziarie, l'utilizzo del Beta presenta delle criticità nella pratica. In primo luogo, il calcolo del beta si basa su dati storici, il che implica che la sua previsione futura possa essere incerta e poco rappresentativa delle condizioni di mercato future ¹²³. Inoltre, il Beta assume una relazione lineare e costante tra l'asset e il mercato, ignorando possibili variazioni nel tempo della correlazione, che potrebbero essere influenzate da eventi esterni come cambiamenti regolatori, economici o di mercato ¹²⁴. Un'altra

¹²¹ Sharpe, W. F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

¹²² Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. (1999). *Investments* (6th ed.). Prentice Hall

¹²³ Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). *The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests*. Studies in the Theory of Capital Markets. Praeger Publishers.

¹²⁴ Fama, E. F., & French, K. R. (2004). *The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence*. Journal of Economic Perspectives, 18(3), 25-46.

limitazione è che il Beta non tiene conto dei rischi idiosincratici o specifici dell'impresa che possono influenzare in modo significativo il rendimento di un'azione. Ad esempio, il rischio legato a fattori aziendali unici, come la gestione o la struttura finanziaria, non viene catturato dal beta ¹²⁵.

Il beta così concepito è un parametro relativamente stabile e che può non riflettere alcuni cambiamenti aziendali e “ingessare” il modello. Per questo motivo una parte della letteratura ha elaborato il concetto parallelo di beta dinamico.

Il beta dinamico ha i seguenti vantaggi¹²⁶:

- Migliore stima del costo del capitale proprio in valutazioni aziendali.
- Valutazioni più realistiche del rischio di portafoglio.
- Decisioni di investimento più informate in contesti volatili.

I metodi di calcolo sono svariati e di seguito sono elencati i principali:

- **Modello rolling window**¹²⁷: la tecnica più semplice consiste nel calcolare il beta su una finestra mobile di dati storici (ad esempio 36 mesi), aggiornando periodicamente il calcolo per riflettere i dati più recenti. Questo metodo è intuitivo e ampiamente utilizzato, ma può essere sensibile alla scelta della finestra e può reagire lentamente a cambi repentini.

¹²⁵ Lintner, J. (1965). *The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets*. Review of Economics and Statistics, 47(1), 13–37.

¹²⁶ Ang, A., & Chen, J. (2007). CAPM Over the Long Run: 1926–2001. *Journal of Empirical Finance*, 14(1), 1–40.

¹²⁷ Hull, J. C. (2018). *Risk Management and Financial Institutions* (5th ed.). Wiley Finance.

- **Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH):** è uno strumento econometrico utilizzato per modellare e prevedere la volatilità dei rendimenti finanziari, tenendo conto del fatto che la varianza dei residui può variare nel tempo in modo condizionato, cioè in risposta a shock passati¹²⁸. Esistono numerosi studi che ne testano l'efficacia predittiva e di calcolo in relazione ai beta aziendali. Ad esempio, uno studio del 2009¹²⁹ testa l'efficacia predittiva dei beta di aziende del Regno Unito di tre strumenti appartenenti alla macro-famiglia delle GARCH: GARCH bivariato, BEKK GARCH, and GARCH-GJR. Questi tre strumenti sono comparati a loro volta con il metodo di Kalman, il quale infine risulta migliore. Tra i tre il GJR risulta più accurato. Inoltre, un altro studio del 2013 conferma la valenza predittiva superiore dei modelli GARCH applicati ai beta dinamici. Nello specifico i GARCH multivariati colgono in maniera più rapida la volatilità del rischio rispetto ai modelli OLS¹³⁰.
- **Modelli a spazio di stato con filtro di Kalman:** il filtro di Kalman è un algoritmo ricorsivo ottimale per stimare stati nascosti in modelli lineari gaussiani¹³¹. In questo contesto, permette di stimare il valore corrente di β_t utilizzando le osservazioni passate e presenti.

Il filtro si compone di due fasi principali:

1. Predizione: Stima dello stato futuro β_t a partire dallo stato precedente.

¹²⁸ Bollerslev, T. (1986). *Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity*. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327.

¹²⁹ Choudhry, T., & Wu, H. (2009). *Forecasting the weekly time-varying beta of UK firms: GARCH models vs. Kalman filter method*. *The European Journal of Finance*, 15(4), 437–444.

¹³⁰ Hansen, P. R., Lunde, A., & Voev, V. (2014). *Realized Beta GARCH: a multivariate GARCH model with realized measures of volatility*. *Journal of Applied Econometrics*, 29(5), 774–799.

¹³¹ Simon, D. (2006). *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*. Wiley-Interscience.

2. Aggiornamento: Correzione della stima basata sull'osservazione Rt.

Sono stati condotti numerosi studi riguardante l'applicazione del filtro di Kalman nel CAPM.

I paper più recenti si focalizzano sul mercato statunitense e su quello messicano. Nel primo caso appunto il paniere di aziende scelto contiene le principali aziende USA e conclude di fatto che il filtro di Kalman per il calcolo dei beta dinamici ha una capacità predittiva maggiore rispetto ai metodi tradizionali¹³². Risultati analoghi sono stati riscontrati sul modello messicano¹³³, confermando la validità del modello anche su mercati azionari meno sviluppati rispetto a quello americano. Il focus dello studio è la carenza di modelli CAPM tradizionali che conduce ad avere un R-quadro basso e di conseguenza una bassa capacità esplicativa. In questo contesto il filtro di Kalman riduce il rumore presente nei panel di dati, come l'elevata volatilità delle serie temporali, confermando una capacità predittiva migliore rispetto ai modelli tradizionali. Un'applicazione collaterale del filtro di Kalman al CAPM sono gli studi riguardanti l'elaborazione di modelli zero-beta. Il CAPM, infatti, prevede al suo interno la presenza di un portafoglio privo di rischio. Nella realtà questo portafoglio è difficile da individuare e il modello zero-beta colma questa lacuna, costruendo un portafoglio il cui andamento non dipende dai movimenti del mercato azionario. In questo contesto si colloca uno studio del 2014¹³⁴, focalizzato sull'analisi di portafogli di derivati impostati per ridurre la correlazione del portafoglio stesso con il mercato azionario. I ricercatori

¹³² Feder-Sempach, E., Szczepocki, P., & Dębski, W. (2023). *What if beta is not stable? Applying the Kalman filter to risk estimates of top US companies over the long-time horizon*. *Bank i Kredyt*, 54(1), 25–44.

¹³³ Samaniego-Alcántar, Á., & Casillas-Aceves, S. A. (2018, marzo). *Testing the Capital Asset Pricing Model using the Kalman Filter: Empirical evidence from the Mexican Stock Market*. In R. Coronado, R. Rojas, & F. Venegas-Martínez (Eds.), *Recent Topics in Time Series and Finance: Theory and Applications in Emerging Markets* (pp. 81–94). Guadalajara, Messico: Universidad de Guadalajara.

¹³⁴ Chen, J., & Tindall, M. (2014). *Constructing zero-beta VIX portfolios with dynamic CAPM* (Occasional Paper No. 14-1). Federal Reserve Bank of Dallas.

concludono che è possibile costruire un modello zero-beta, con Alpha positiva, tramite l'implementazione del filtro di Kalman.

- **Modelli di regime - Markov switching:** il beta e il premio per il rischio possono cambiare tra diversi regimi di volatilità del mercato (alto vs basso). Usando modelli a cambiamento di regime basati su processi di Markov, si cattura la variabilità di beta in base al contesto di mercato. Il modello di Markov spiega in maniera precisa i rendimenti di portafoglio, specialmente in periodi di alta instabilità e volatilità di mercato¹³⁵. Oltre agli studi di efficacia generali di questo modello, ne esistono alcuni focalizzati su settori di mercato specifici. Un esempio valido è lo studio condotto sulle aziende legate al settore del carbone, quotate sul NYSE¹³⁶. I ricercatori concludono che c'è una variazione significativa del beta tra i periodi di bassa e alta volatilità, affermando quindi la necessità di tenere in considerazione i modelli regime-switching nella valutazione aziendale.

¹³⁵ Abdymomunov, Á., & Morley, J. (2011). Time variation of CAPM betas across market volatility regimes. *Applied Financial Economics*, 21(19), 1463–1478.

¹³⁶ Korkmaz, T., Çevik, E. İ., & Özataç, N. (2010). Testing CAPM using Markov switching model: The case of coal firms. *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, 23(2), 44–59.

CAPITOLO 3:

DEBOLEZZE DEL CAPM E MODELLI ALTERNATIVI

CAPITOLO 3 - DEBOLEZZE DEL CAPM E MODELLI ALTERNATIVI

Nel terzo capitolo di questo elaborato sono riportate le criticità del modello, unitamente alle elaborazioni alternative che sono state ideate per ovviare alle sue criticità

3.1- DEBOLEZZE DEL CAPM

Uno dei principali punti di forza del CAPM è la sua semplicità e chiarezza concettuale: fornisce un legame diretto tra rischio e rendimento, ed è facilmente applicabile con dati generalmente disponibili. Tuttavia, questa semplicità deriva anche dalle sue principali limitazioni. Le ipotesi di base, infatti, sono spesso lontane dalla realtà: mercati non sempre perfetti, investitori non sempre razionali e la presenza di costi di transazione e imposte rappresentano fattori che ne riducono l'applicabilità.

Per configurare meglio queste limitazioni è utile partire da un caso pratico, che ha reso manifeste le problematiche intrinseche del modello: il caso Thames Water.

Thames Water è una società privata di servizi britannica che si occupa del rifornimento idrico di diverse zone dell'Inghilterra. Tra i principali investitori figurano fondi pensione e di investimento, che ne detengono il 90% del capitale. Negli ultimi anni ha subito una radicale transizione da azienda solida a realtà indebitata per oltre 14 mld di dollari, affrontando un rischio concreto di nazionalizzazione nel biennio 2022-2024¹³⁷. In questo contesto, il fondo pensionistico canadese OMERS, titolare del 31% della società, ha ridotto la valutazione della propria partecipazione da £979 milioni a circa £700 milioni, con una perdita di circa un terzo del valore. Inoltre, il principale fondo pensionistico britannico, il Universities Superannuation Scheme (USS), ha svalutato la propria quota del 20% in Thames Water da circa £956 milioni a

¹³⁷ Financial Times. (2024a, March 28). *The Thames Water crisis: What went wrong?*

£364 milioni, riducendone quindi il valore del 62%¹³⁸. Numerosi analisti hanno ricondotto una parte di queste problematiche alle errate stime derivanti dall'uso poco oculato del CAPM. Un articolo del Financial Times¹³⁹, ad esempio, si focalizza su un investimento da 5 mld di dollari, il cui valore è andato quasi completamente distrutto a causa appunto di valutazione errate originate dall'uso del modello in questione. Un'altra ricerca dell'EDHEC¹⁴⁰ evidenzia come il WACC, basato su CAPM, fosse significativamente sottostimato rispetto al costo di capitale. Un approccio comparativo (benchmarking) avrebbe rivelato in anticipo che Thames Water era un investimento ad alto rischio e basso rendimento, non un asset stabile. Questo caso evidenzia il gap effettivamente esistente tra capacità predittiva teorica del modello e risultati empirici.

Le critiche al modello sono state formalizzate in una produzione accademica molto prolifica, che analizzeremo nelle pagine seguenti.

Una questione fondamentale per quanto riguarda la valutazione dell'efficacia del CAPM risiede nel fatto che il portafoglio di mercato non sia osservabile nella realtà. Questa critica prende il nome dal suo ideatore, l'economista Eric Roll¹⁴¹. Egli sostiene che tutti i test empirici del modello non siano test relativi al CAPM ma ad un portafoglio di mercato selezionato dal ricercatore che effettua la ricerca. Infatti, nella pratica non viene utilizzato il portafoglio di mercato "autentico", ma listini azionari che si qualificano come proxy. Dunque, il CAPM non è falsificabile empiricamente in senso stretto: non possiamo dire se è giusto o sbagliato perché non possiamo testarlo contro il vero portafoglio di mercato.

¹³⁸ Financial Times. (2024b, July 4). *UK pension funds slash Thames Water valuations*.

¹³⁹ Financial Times. (2024c, June 18). *Thames Water debacle holds a harsh lesson about asset pricing models*.

¹⁴⁰ EDHECinfra. (2024). *Low tide: What the data showed about Thames Water*. EDHEC Infrastructure Institute.

¹⁴¹ Roll, R. (1977). *A critique of the asset pricing theory's tests. Part I: On past and potential testability of the theory*. Journal of Financial Economics, 4(2), 129–176.

Uno dei principali assunti del CAPM è che gli investitori siano perfettamente razionali. Tuttavia, la finanza comportamentale ha ampiamente dimostrato che tali assunzioni non riflettono il comportamento reale degli investitori. Gli studi di Barberis, Thaler¹⁴², Kahneman¹⁴³, Shleifer¹⁴⁴ e altri mostrano come le decisioni finanziarie siano spesso influenzate da bias cognitivi ed emotivi, tra cui:

- Overreaction: gli investitori reagiscono in modo eccessivo a nuove informazioni, portando a bolle speculative o crolli improvvisi;
- Underreaction: le informazioni vengono incorporate lentamente nei prezzi, violando l'ipotesi di efficienza;
- Avversione alle perdite (loss aversion): gli investitori attribuiscono più peso alle perdite che ai guadagni;
- Eccesso di fiducia (overconfidence): tendono a sovrastimare la propria capacità di prevedere i mercati;
- Effetto gregge (herding): seguono le decisioni altrui, ignorando le proprie informazioni.

Questi comportamenti generano anomalie di mercato (come momentum, reversals, effetto gennaio, ecc.) non spiegabili dal CAPM.

La fragilità forse più rilevante del CAPM risiede tuttavia nel ruolo che il beta ha all'interno del modello, già trattate nei paragrafi precedenti e qui riassunte brevemente. Studi hanno mostrato che azioni con beta basso ottengono rendimenti più alti del previsto, e titoli high-beta rendimenti più bassi rispetto a quanto stimato dal CAPM. Questo fenomeno è noto come "low-beta anomaly" (Baker, Bradley & Wurgler, 2011; Frazzini & Pedersen, 2014). Inoltre, il beta non è

¹⁴² Barberis, N., & Thaler, R. (2003). *A survey of behavioral finance*. In G. Constantinides, M. Harris, & R. Stulz (Eds.), *Handbook of the Economics of Finance*

¹⁴³ Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2)

¹⁴⁴ Shleifer, A. (2000). *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance*. Oxford University Press.

stabile: varia nel tempo e in funzione delle condizioni di mercato (Blume, 1975; Campbell, Lettau, Malkiel & Xu, 2001).

È importante evidenziare, infine, che il beta si configura nel modello come unico fattore espressivo del rischio specifico aziendale, in quanto sia il rendimento del titolo risk free che il rendimento del portafoglio di mercato sono comuni a tutte le imprese. Da questa problematica sono stati elaborati i due più celebri modelli sostitutivi del CAPM: l'APT e il modello di Fama e French. Il prossimo paragrafo sarà dedicato a un'analisi più approfondita di questi due strumenti di calcolo del costo del capitale proprio.

3.2 - I MODELLI MULTIFATTORIALI

All'interno del paragrafo sono presentati e analizzati i due principali modelli alternativi al CAPM: Fama e French e ATP.

3.2.1 - FAMA E FRENCH

Eugene Fama e Kenneth French hanno sviluppato un'estensione del CAPM, nota come modello a tre fattori. I due economisti partono dall'analisi dei rendimenti effettivi dal 1962 al 1990 e scoprono che i beta non possono spiegare una parte significativa delle differenze di rendimento tra i titoli. Partendo dai dati a loro disposizione, ricercano fattori che possano spiegare in maniera più adeguata tali differenze, individuando infine la capitalizzazione di mercato e il rapporto prezzo/valore contabile (price-to-book) come variabili dirimenti. Considerando queste due variabili come proxy del rischio, giungono alla conclusione che le aziende più piccole siano mediamente più rischiose di quelle di maggiori dimensioni, e che lo stesso discorso valga per il rapporto prezzo/valore contabile, con le azioni value percepite come più rischiose rispetto a quelle growth.

Il fattore Small Minus Big (SMB) misura il premio per il rischio associato al possesso di azioni di piccole imprese rispetto a quelle di grandi imprese, mentre il fattore High Minus Low (HML) cattura il rendimento differenziale tra azioni "value" (con alto rapporto valore contabile/valore di mercato) e azioni "growth" (con basso rapporto)¹⁴⁵.

Il modello si esprime formalmente come:

$$R_e = R_f + \beta_m (R_m - R_f) + \beta_s \text{SMB} + \beta_h \text{HML}$$

¹⁴⁵ Investopedia. (n.d.). *Fama and French Three Factor Model*.

dove i coefficienti β_m , β_s e β_h misurano la sensibilità del titolo rispettivamente al mercato, al fattore dimensione e al fattore valore.

Questo modello multi-beta si dimostra più fedele del CAPM nella spiegazione effettiva delle differenze di rendimento nelle serie storiche, proprio perché i fattori che influenzano i rendimenti vengono individuati a partire da analisi empiriche su dati reali¹⁴⁶. Tuttavia, la validità previsionale del modello è oggetto di discussione. Una delle principali critiche riguarda l'effettiva esistenza del premio al rischio dimensionale. In uno studio del 2011, Crain¹⁴⁷ rianalizza i dati storici e sottolinea come l'effetto dimensionale sia andato progressivamente scomparendo dopo gli anni Ottanta, rilevando che l'overperformance delle small cap era concentrata principalmente negli Stati Uniti e nel solo mese di gennaio. Questo fenomeno, noto come "effetto gennaio", è ampiamente documentato in letteratura come presenza di tassi di rendimento anormalmente elevati nel primo mese dell'anno per titoli a bassa capitalizzazione.

Anche Aswath Damodaran esprime una posizione critica sull'utilizzo pratico del fattore SMB, rifiutandone l'impiego per tre motivi principali¹⁴⁸:

1. Ambiguità dei risultati storici: non ci sono evidenze robuste e generalizzabili a sostegno dell'esistenza di un premio sistematico per le aziende a bassa capitalizzazione;
2. Premi di rischio prospettici: le analisi forward-looking non forniscono indicazioni coerenti circa l'esistenza di un vantaggio per gli investitori in small cap;

¹⁴⁶ Fama, E. F., & French, K. R. (1993). *Common risk factors in the returns on stocks and bonds*. Journal of Financial Economics, 33(1), 3–56.

¹⁴⁷ Crain, M. A. (2011). *Is the small firm effect disappearing?* Journal of Applied Finance, 21(2), 41–50.

¹⁴⁸ Damodaran, A. (2023). *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications* (Annual Update). Stern School of Business, NYU.

3. Doppio conteggio del rischio: se si riconosce che le aziende meno capitalizzate sono più rischiose, tale rischio dovrebbe già riflettersi nei flussi di cassa attesi. Includere SMB nel costo del capitale implicherebbe quindi un doppio conteggio dello stesso rischio.

Inoltre, il modello non tiene conto di altri fattori potenzialmente rilevanti per la spiegazione dei rendimenti, come la redditività o il livello di investimento, che sono stati successivamente inclusi in versioni estese come il modello a cinque fattori. La complessità aggiuntiva, rispetto al CAPM, lo rende anche meno immediato da applicare, soprattutto in contesti dove l'accesso ai dati è limitato.

Sebbene nato in ambito accademico, il modello a tre fattori ha trovato applicazione anche nella pratica finanziaria. Diversi fondi comuni, gestori attivi e società di consulenza finanziaria utilizzano i fattori di Fama e French per costruire portafogli e analizzare performance. Un esempio emblematico è la società Dimensional Fund Advisors (DFA)¹⁴⁹, che ha costruito la propria filosofia d'investimento proprio sui fattori SMB e HML, ispirandosi direttamente alla ricerca accademica dei due economisti. Inoltre, anche nel campo delle valutazioni aziendali o dell'analisi del rischio, il modello viene impiegato da analisti finanziari per avere una misura più articolata del rendimento atteso, soprattutto in mercati maturi come quello statunitense.

Tuttavia, il suo utilizzo non è universale. In molti contesti, specialmente nei mercati emergenti o in ambito corporate, il CAPM rimane lo strumento di riferimento, principalmente per la sua maggiore semplicità e per la facilità di reperimento dei dati necessari.

Oltre alla maggiore complessità operativa rispetto al CAPM, il modello a tre fattori presenta alcune criticità legate alla sua applicazione concreta. In primo luogo, è fortemente dipendente dai dati storici: la validità dei premi al rischio associati ai fattori SMB e HML si basa su osservazioni del passato, il che pone dubbi sulla loro stabilità futura. In secondo luogo, il

¹⁴⁹ Dimensional Fund Advisors. (2024). *Investment Philosophy*.

modello è sensibile alla selezione del periodo di analisi: modificando l'orizzonte temporale o la frequenza dei dati, i risultati ottenuti possono variare sensibilmente, compromettendo la coerenza delle stime.

Un ulteriore limite è la scarsa disponibilità di dati affidabili per la costruzione dei fattori SMB e HML al di fuori del mercato statunitense. Nei mercati emergenti, o comunque in paesi con una bassa qualità e profondità dei dati finanziari, risulta difficile applicare il modello in modo accurato. Questo riduce la sua applicabilità su scala globale e limita la sua efficacia per gli investitori internazionali.

Oltre al modello a tre fattori di Fama e French, sono stati proposti altri modelli multifattoriali che cercano di migliorare ulteriormente la capacità di spiegare le differenze nei rendimenti azionari. Tra questi, il modello a quattro fattori di Carhart¹⁵⁰ rappresenta una delle estensioni più note, aggiungendo al modello FF un fattore legato al momentum, che misura il rendimento differenziale tra titoli con performance recenti elevate rispetto a quelli con performance recenti basse. Questo fattore è stato introdotto per catturare un'anomalia di mercato ampiamente documentata, non spiegata né dal CAPM né dal modello a tre fattori.

Oltre ai modelli classici, negli ultimi anni si sono sviluppate anche metodologie behavioral e data-driven (basate su machine learning e big data) che cercano di identificare nuovi fattori di rischio o di prevedere i rendimenti azionari sfruttando pattern più complessi e non lineari nei dati di mercato.¹⁵¹ Questi approcci rappresentano un'evoluzione verso modelli più flessibili e potenzialmente più aderenti alla realtà, sebbene spesso più complessi e meno interpretabili rispetto ai modelli tradizionali.

¹⁵⁰ Carhart, M. M. (1997). *On persistence in mutual fund performance*. Journal of Finance, 52(1), 57–82.

¹⁵¹ Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). *Empirical Asset Pricing via Machine Learning*. Review of Financial Studies, 33(5), 2223–2273

3.2.2 - ARBITRAGE PRICING THEORY

Un modello alternativo e teoricamente robusto per la stima del costo del capitale proprio è l'Arbitrage Pricing Theory (APT), sviluppata da Stephen Ross negli anni Settanta ¹⁵². A differenza del Capital Asset Pricing Model (CAPM), che si basa su un singolo fattore – il rischio di mercato – l'APT adotta una prospettiva multifattoriale, postulando che il rendimento atteso di un titolo sia influenzato da molteplici fattori sistematici. Questi fattori possono includere variabili macroeconomiche come l'inflazione, la crescita del prodotto interno lordo, i tassi di interesse, la struttura a termine dei tassi e altri indicatori di mercato rilevanti ¹⁵³.

La formulazione generale del modello è espressa come:

$$R_e = R_f + \beta_{i1}F_1 + \beta_{i2}F_2 + \dots + \beta_{in}F_n$$

Dove:

- R_i rappresenta il rendimento atteso del titolo i
- R_f è il tasso privo di rischio
- F_k sono i fattori di rischio sistematici
- β_k indica la sensibilità del titolo al fattore k ,
- ϵ_i è il termine di errore idiosincratico, che rappresenta il rischio specifico diversificabile

¹⁵⁴.

L'APT si fonda sul principio dell'arbitraggio: nel caso in cui si manifestino discrepanze nei prezzi degli asset, gli operatori di mercato interverrebbero attraverso operazioni di compravendita per sfruttare tali inefficienze, contribuendo così a riportare i prezzi a livelli

¹⁵² Ross, S. A. (1976). *The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing*. Journal of Economic Theory, 13(3), 341–360.

¹⁵³ Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2018). *Investments* (11th ed.). McGraw-Hill Education.

¹⁵⁴ Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. (1999). *Investments*. Prentice Hall.

coerenti con i rendimenti attesi ¹⁵⁵. Questo approccio elimina la necessità di ipotizzare l'esistenza di un portafoglio di mercato efficiente, come richiesto dal CAPM, rendendo l'APT meno dipendente da assunzioni teoriche fortemente restrittive, quali mercati perfetti o investitori razionali ed omogenei. I fattori più usati sono:

- **Tasso di inflazione:** Influisce sui rendimenti reali degli investimenti; un'inflazione inattesa può erodere il valore dei flussi futuri.
- **Tasso di interesse reale:** Rilevante per il valore attuale dei flussi di cassa attesi; impatta direttamente il costo del capitale.
- **Spread di credito:** Differenza tra i rendimenti di obbligazioni corporate e governative; indicatore del rischio percepito nei mercati.
- **Prezzo del petrolio / materie prime:** Le variazioni nel prezzo del petrolio impattano i costi operativi e la redditività di interi settori.
- **Indicatori di incertezza macroeconomica:** Indicatori come il VIX o l'Economic Policy Uncertainty Index riflettono il rischio percepito nei mercati in momenti di instabilità.

Uno dei principali punti di forza dell'APT è la sua flessibilità: il modello può essere adattato a contesti economici e finanziari differenti, scegliendo di volta in volta i fattori sistematici più rilevanti. Ciò lo rende potenzialmente più aderente alla complessità dei mercati reali rispetto a modelli più semplicistici. Tuttavia, tale flessibilità si accompagna a importanti criticità applicative. In particolare, l'identificazione e la quantificazione dei fattori sistematici appropriati non sono univoche e richiedono l'impiego di dati approfonditi e tecniche statistiche complesse, come l'analisi fattoriale o la regressione multifattoriale ¹⁵⁶. Inoltre, l'assenza di un numero fisso e universalmente accettato di fattori limita la standardizzazione del modello e ne

¹⁵⁵ Ross, S. A. (1976). *The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing*. Journal of Economic Theory, 13(3), 341–360.

¹⁵⁶ Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. (1999). *Investments*. Prentice Hall

ostacola la diffusione nell'ambito operativo rispetto a modelli come il CAPM, che offrono maggiore semplicità e immediatezza di utilizzo.

3.2.3 - IL CARBON BETA NEI MODELLI APT

In tempi recenti sono stati elaborati concetti di carbon beta e carbon premium, associati a modelli multifattoriali. L'idea alla base è che le aziende con elevate emissioni di carbonio affrontino un rischio aggiuntivo (come il rischio di attività bloccate) a causa della transizione energetica (rischio di transizione) e quindi offrano rendimenti più elevati¹⁵⁷.

Secondo quanto emerso dallo studio di Huij et al. (2022), il carbon beta ha diversi vantaggi: è prospettico (poiché si basa sulle aspettative del mercato), è disponibile ad alta frequenza e può essere calcolato anche per aziende che non pubblicano dati di emissione. Enders¹⁵⁸ integra il parametro di nostro interesse all'interno di un modello multifattoriale con Value Premium, Size Premium e Momentum Premium. In questo contesto il carbon beta riflette l'andamento dell'azione rispetto al portafoglio BMG, in analogia a quanto avviene normalmente nei modelli multifattoriali. Il portafoglio "Brown minus Green" cattura il carbon risk includendo ugualmente long brown e short green.

$$BMG = \frac{1}{2} (Q5 + Q4) - \frac{1}{2} (Q1 + Q2)$$

¹⁵⁷ Robert Hyat (2022, febbraio)

¹⁵⁸ Enders. *Carbon transition risk in capital market*

Secondo questa logica un asset con carbon beta positivo tende ad avere ritorni più alti quando il carbon risk cresce¹⁵⁹. A livello temporale i rendimenti dei titoli con carbon beta positivo crescono nei periodi in cui la frequenza divulgativa di notizie sul cambiamento climatico cresce, oppure durante ondate di calore importanti¹⁶⁰. Questo può configurare questo tipo di titolo come “hedge”, in quanto costituirebbe un asset di copertura durante i periodi di perdita del mercato.

In letteratura esistono inoltre modelli multifattoriali con carbon beta con variabili focalizzate sul rischio legato ad uno specifico evento di cambiamento climatico. Ne è un esempio l’analisi condotta da Kumar, Xin e Zhang (2019), i quali individuano una sorta di “temperature beta” pur senza mai esplicitarlo in un modello matematico. I tre ricercatori partono da un campione di imprese collocate in 27 paesi diversi, e osservano che un portafoglio di titoli ad alta sensibilità alla temperatura genera dei ritorni non spiegabili dai fattori standard dell’ATP.

¹⁵⁹ Huij, J., & Laurs, D. (2022, aprile). *Carbon beta is an additional climate risk indicator above and beyond traditional carbon data*. Robeco.

¹⁶⁰ Huij, Joop e Laurs, Dries e Stork, Philip A. e Zwinkels, Remco CJ, Carbon Beta: una misura basata sul mercato dell'esposizione al rischio di transizione climatica (23 marzo 2023)

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei tre modelli:

Modello	Punti di forza	Punti di debolezza
CAPM	- Semplice e facile da applicare	- Ipotesi teoriche poco realistiche (mercati perfetti, investitori razionali)
	- Richiede pochi dati (beta, R_f , R_m)	- Spiega solo parzialmente le differenze di rendimento
	- Ampiamente usato in ambito operativo	- Non considera altri fattori di rischio
Fama-French (3-fattori)	- Migliore capacità esplicativa rispetto al CAPM	- Più complesso da implementare
	- Include effetti dimensione (SMB) e valore (HML)	- Meno valido fuori dagli USA
	- Supportato da forti evidenze empiriche	- Manca una base teorica unificata
APT	- Estremamente flessibile (fattori personalizzabili)	- Non specifica quali fattori usare
	- Meno vincolato da ipotesi teoriche forti	- Richiede analisi statistica avanzata
	- Più realistico in contesti macroeconomici complessi	- Poco usato nella pratica operativa pura

CAPITOLO 4:

METODOLOGIA E ANALISI DEI RISULTATI

CAPITOLO 4 – METODOLOGIA E ANALISI DEI RISULTATI

Questo capitolo concerne l'analisi sperimentale condotta nell'ambito dell'elaborato, il cui obiettivo è verificare l'esistenza di una correlazione tra il costo del capitale proprio e il rischio di transizione climatica.

4.1 - METODOLOGIA GENERALE

All'interno del paragrafo verrà illustrata la metodologia applicata in sede sperimentale.

Il database utilizzato è composto dalle 40 società attualmente incluse nell'indice FTSE MIB, il principale indice azionario della Borsa Italiana (Euronext Milan), che rappresenta le aziende a maggiore capitalizzazione e liquidità del mercato¹⁶¹. La scelta di questo campione è motivata dalla relativa semplicità nel reperimento dei dati economico-finanziari e ambientali, escludendo di conseguenza le aziende appartenenti ad altri indici come il FTSE Italia STAR, per le quali la disponibilità e l'omogeneità dei dati risultano più limitate. Al campione totale sono state sottratte sette società, in quanto non quotate per tutto il decennio incluso nel calcolo del beta e dunque probabili fonti di disallineamento temporale in caso di inserimento.

Il modello sviluppato può essere definito come una regressione multifattoriale basata sul framework del Capital Asset Pricing Model (CAPM). La regressione è stata svolta tramite software Python, partendo dai database lavorati su file Excel.

A partire dalla stima del costo del capitale proprio secondo il CAPM tradizionale, sono state introdotte nel modello ulteriori variabili esplicative al fine di verificare se il solo rischio sistematico di mercato sia sufficiente a spiegare la variabilità del rendimento atteso oppure se fattori aggiuntivi, di tipo climatico, dimensionale e settoriale, possano influenzare significativamente il costo dell'equity. L'obiettivo è dunque isolare il più possibile l'effetto del

¹⁶¹ Borsa Italiana. (2024). *FTSE MIB Index Factsheet*

rischio di transizione sul costo del capitale proprio, tenendo conto di altre caratteristiche aziendali note per influenzarlo. Sono state effettuate due analisi distinte, Modello 1 e Modello 2, le quali si differenziano per la proxy del rischio di transizione adottata. Nel Modello 1 essa è rappresentata dalle emissioni, nel Modello 2 dalle emissioni e dall'Environmental ESG Score.

Le regressioni sono quindi modellizzate tramite variabili quali:

- Variabili rappresentanti il rischio di transizione.
- Due variabili di controllo fondamentali nella letteratura finanziaria: la dimensione dell'impresa (misurata tramite la market capitalization) e la leva finanziaria (leverage).
- Un set di variabili dummy per il settore economico di appartenenza, al fine di isolare eventuali differenze strutturali legate alla natura dell'attività svolta.

La maggiore complessità nella strutturazione di entrambi i modelli è stata riscontrata nella definizione di una proxy efficace del rischio di transizione. Dopo aver valutato diverse alternative, come specificato prima, si è optato nel Modello 1 per l'utilizzo delle emissioni totali dichiarate da ciascuna impresa, ottenute come somma delle emissioni Scope 1, Scope 2 e Scope 3. Questa scelta deriva dalla considerazione che il rischio di transizione può manifestarsi attraverso diversi canali – normativo, tecnologico, di mercato e reputazionale – tutti riconducibili in misura diversa all'intensità delle emissioni climalteranti associate all'attività aziendale¹⁶². In tal senso, una maggiore quantità di emissioni rappresenta un'esposizione potenziale più elevata a costi di adeguamento, sanzioni, perdita di competitività o reputazione¹⁶³. Inoltre, diversi studi relativi al legame tra rischio di cambiamento climatico e variabili aziendali utilizzano questa variabile come proxy. Inoltre, la disponibilità di tali dati è in larga parte garantita: le imprese di grandi dimensioni, in particolare quelle quotate, sono soggette alla Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) dell'Unione Europea, che rende

¹⁶² CFD. (2017). *Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*.

¹⁶³ NGFS. (2019). *A Call for Action: Climate Change as a Source of Financial Risk*. Network for Greening the Financial System.

obbligatoria la pubblicazione delle emissioni Scope 1 (emissioni dirette) e Scope 2 (emissioni indirette legate all'energia acquistata)¹⁶⁴.

Sebbene le emissioni Scope 3 che comprendono le emissioni indirette lungo tutta la catena del valore – siano solo parzialmente obbligatorie, molte aziende del FTSE MIB le rendicontano già su base volontaria, in linea con le raccomandazioni internazionali della Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)¹⁶⁵. L'utilizzo delle emissioni complessive come indicatore sintetico consente pertanto di rappresentare in modo sufficientemente ampio e comparabile l'esposizione al rischio di transizione climatica per ciascuna azienda del campione analizzato. I dati sono stati reperiti all'interno delle dichiarazioni non finanziarie di ciascuna azienda.

Il Modello 2 prevede, come già illustrato, una variabile aggiuntiva, ovvero l'Environmental ESG Score. L'uso di questa variabile come proxy del rischio di transizione è riconducibile al fatto che una bassa performance ambientale può segnalare una maggiore esposizione dell'impresa a costi regolatori, tassazioni sul carbonio, svalutazione di asset brown o pressione reputazionale – tutti elementi tipici della transizione verso un'economia low-carbon¹⁶⁶. Come sottolineato da Fliegel¹⁶⁷, l'ESG ambientale è frequentemente utilizzato nella letteratura come indicatore sintetico del posizionamento climatico di un'impresa, pur riconoscendone i limiti in termini di granularità e orientamento prospettico. Il principale problema riferibile a questo fattore è la scarsa reperibilità dei dati, che ha ridotto il campione di osservazioni della seconda analisi a

¹⁶⁴ European Commission. (2022). *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*.

¹⁶⁶ OECD. (2021). *ESG investing and climate transition: Market Practices, Issues and Policy Considerations*. OECD Publishing.

¹⁶⁷ Fliegel, P. (2025). How (Not) to Measure Companies' Climate Transition Risk: A Framework and Categorized Literature Review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*.

diciotto aziende. Disponendo dunque di un paniere di imprese già esiguo, ho optato per l'eliminazione delle dummy dall'equazione di regressione.

Con riferimento ad entrambe le analisi, è opportuno sottolineare una criticità metodologica di natura temporale: le variabili ESG e di bilancio (emissioni, leverage e dimensione) si riferiscono esclusivamente all'ultimo anno disponibile, il 2023, a causa della limitata disponibilità storica dei dati non finanziari. Di conseguenza, il beta è stato impostato usando i valori settimanali del biennio 2022-2023.

Il costo del capitale proprio, come detto, è stato calcolato secondo il modello CAPM (Capital Asset Pricing Model), nel seguente modo:

1. Tasso privo di rischio: rendimento del Bund tedesco a dieci anni, considerato il benchmark più affidabile per le aziende italiane nell'ambito dell'area euro¹⁶⁸. Le motivazioni che conducono all'utilizzo del titolo di Stato tedesco sono molteplici. Il Bund tedesco gode della massima fiducia tra i titoli di stato europei, grazie alla robusta solidità fiscale della Germania e alla sua credibilità sul mercato. In periodi di instabilità, gli investitori tendono a considerarlo un porto sicuro, simile ai Treasury americani¹⁶⁹. Inoltre, il mercato dei Bund è uno dei più liquidi di tutta l'Eurozona (bid-ask spread molto contenuto)¹⁷⁰. In aggiunta alcuni studi, tra cui uno del Fondo Monetario Internazionale, ha individuato un "premio scarsità" del titolo, imputabile alla sua difficoltà di sostituzione rispetto ad altri titoli di Stato¹⁷¹. L'alternativa sarebbe stata utilizzare il rendimento del BTP, scontando poi il rischio specifico del mercato italiano dal market risk premium.

¹⁶⁸ European Central Bank. (2023). *Euro area yield curves and government bond benchmarks*.

¹⁶⁹ Financial Times. (2024, May). *German Bunds hold their safe-haven status amid eurozone stress*.

¹⁷⁰ Abidi, N., & Miquel-Flores, I. (2021). *Market liquidity of European sovereign bonds during the COVID-19 crisis*.

¹⁷¹ International Monetary Fund. (2019). *Scarcity and safe asset premiums* (IMF Working Paper No. 19/235).

2. Beta: pendenza della retta di regressione tra i rendimenti mensili del titolo e quelli dell'indice FTSE MIB su un orizzonte temporale di due. Generalmente, all'interno della letteratura è consigliato l'uso di un beta a "lungo termine", ovvero a dieci o a cinque anni.¹⁷²Tuttavia, l'utilizzo di un arco temporale di dieci anni avrebbe contrastato in maniera significativa con l'uso dei dati relativi alle emissioni e ai parametri ESG, disponibili in maniera completa solo per il 2023. Inoltre, adottare l'approccio quinquennale avrebbe significato includere gli anni del Covid, compromettendo i risultati. La cadenza settimanale serve ad epurare il campione di dati dalle eccessive fluttuazioni giornaliere e, contemporaneamente, a fornire un numero sufficiente di dati¹⁷³.
3. Market risk premium: reperito sul Database fornito da Aswath Damodaran. Il premio riferito al mercato italiano è 7,26%, dal quale è già stata esclusa la "quantità di rischio" imputabile ai mercati risk free (notare che il suddetto rischio non corrisponde alla performance del Bund)¹⁷⁴.

I dati sono stati reperiti come segue: il Bund a 10 anni del 2023 è stato reperito su Statista, i dati necessari alla costruzione del beta, come anche i dati di performance ESG e di emissione, sono stati estrapolati dai database storici di Yahoo Finance, mentre l'MRP è stato reperito dalla piattaforma web di Aswath Damodaran.

¹⁷² Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2022). *Principles of Corporate Finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.

¹⁷³ Damodaran, A. (2012). *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset* (3rd ed.). Wiley.

¹⁷⁴ Damodaran, A. (2024). *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications*. Stern School of Business, NYU.

4.2 - LA REGRESSIONE LINEARE

All'interno del paragrafo è presentato e approfondito il concetto statistico e matematico di regressione, ai fini di una migliore comprensione dell'esperimento nella sua globalità.

4.2.1 - PANORAMICA TEORICA E APPLICAZIONE SPECIFICA

La regressione lineare è una tecnica statistica utilizzata per analizzare la relazione tra una variabile dipendente e una o più variabili indipendenti, con l'obiettivo di stimare l'effetto che queste ultime esercitano sulla prima. Questo tipo di strumento è particolarmente diffuso ed efficace nella valutazione di variabili economiche e di impresa¹⁷⁵. Esistono numerosi esempi della sua applicazione, come nella valutazione del rischio azionario analizzando la relazione tra rendimento e variabili macroeconomiche¹⁷⁶. Nel presente elaborato, la regressione è impiegata per studiare la relazione tra il costo del capitale proprio (variabile dipendente), livello di emissioni totali e dati finanziari (variabili indipendenti), delle aziende quotate sull'indice FTSE MIB, attraverso un modello di regressione multipla.

In questo paragrafo verranno alcune nozioni teoriche di base per comprendere cosa significa realizzare una regressione, con il fine di illustrare le motivazioni per cui l'utilizzo di questo modello è stato ritenuto particolarmente calzante ai fini della ricerca in analisi.

La forma più semplice di regressione è quella avente una sola variabile indipendente, che eventualmente agisce sulla variabile dipendente. L'equazione della retta ad essa riferita presenta la seguente forma:

$$Y = \alpha + \beta X + \epsilon$$

¹⁷⁵ Wiley Online Library. (2012). Regression-based valuation. In *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset* (Capitolo 24). Wiley.

¹⁷⁶ Campbell, J.Y. (2007). *Estimating the Equity Premium*. National Bureau of Economic Research.

Dove:

- **Y** – *Variabile dipendente*: è l'output del modello, ovvero la variabile che vogliamo spiegare o prevedere.
- **X**– *Variabile indipendente*: è la variabile esplicativa, ovvero ciò che si suppone influenzi YYY.
- **α** – *Intercetta (costante)*: rappresenta il valore di Y quando X=0. È il punto in cui la retta di regressione interseca l'asse Y.
- **β** – *Coefficiente angolare (pendenza)*: indica quanto cambia Y in media per ogni variazione unitaria di X.
- **ϵ** – *Termine di errore (residuo)*: cattura la parte di Y non spiegata da X, dovuta a variabili non incluse o a fattori casuali.

La rappresentazione grafica sul piano assume la seguente impostazione :

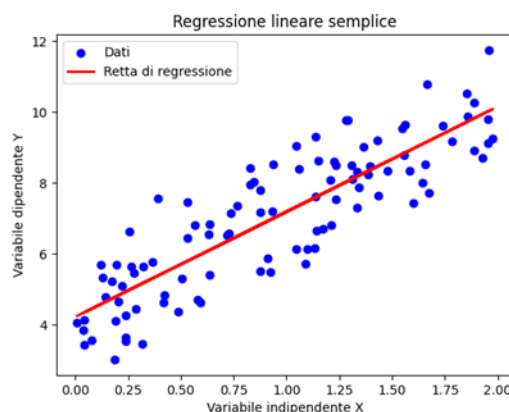


Figura X: Grafico/Tabella creato dall'autrice utilizzando Google Colab, 2025.

Come abbiamo appena specificato la regressione semplice, ovvero quella ad una variabile indipendente, stima una retta. La suddetta retta è quella che meglio approssima i dati osservati,

minimizzando la somma dei quadrati dei residui, ovvero le differenze tra i valori osservati della variabile dipendente e quelli stimati dal modello ¹⁷⁷. Questo approccio consente di quantificare l'effetto marginale di ciascuna variabile indipendente sulla variabile di interesse, agevolando l'interpretazione dei risultati e supportando analisi predittive ¹⁷⁸. La tecnica di stima più comune associata alla regressione lineare, oltre che quella utilizzata in questo elaborato, è quella dei Minimi Quadrati Ordinari (OLS), che consiste nel determinare i coefficienti β che minimizzano la somma dei quadrati degli scarti tra i valori osservati Y_i e quelli previsti $\hat{Y}_i$. Questo metodo garantisce che la retta di regressione si adatti ai dati nel modo più accurato possibile ¹⁷⁹. Inoltre, l'OLS è considerato uno stimatore BLUE (Best Linear Unbiased Estimator), ossia il miglior stimatore lineare non distorto, a condizione che siano soddisfatte le ipotesi classiche del modello di regressione:

- Linearità: si assume che la relazione tra la variabile dipendente Y e le variabili indipendenti X sia lineare nei parametri. ¹⁸⁰
- Indipendenza degli errori (assenza di autocorrelazione): gli errori (ϵ_i) devono essere indipendenti tra loro. In altre parole, l'errore associato a un'osservazione non deve essere correlato con quello di un'altra osservazione. La violazione di questa ipotesi è comune nei dati temporali. ¹⁸¹
- Normalità degli errori: gli errori devono essere distribuiti normalmente, soprattutto per garantire la validità delle inferenze statistiche (test t, F, intervalli di confidenza). Questa

¹⁷⁷ Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). Wiley.

¹⁷⁸ Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (6th ed.). Cengage Learning.

¹⁷⁹ Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

¹⁸⁰ Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.).

¹⁸¹ Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (6th ed.).

assunzione non è necessaria per la stima dei coefficienti, ma è importante per la significatività statistica.¹⁸²

- Omoscedasticità (varianza costante degli errori): gli errori devono avere varianza costante per ogni valore di X. Se la varianza degli errori cambia (cioè, è eteroschedastica), le stime OLS restano corrette ma non più efficienti (i test possono diventare invalidi).¹⁸³
- Assenza di multicollinearità perfetta: le variabili esplicative non devono essere perfettamente collineari, ovvero nessuna variabile indipendente deve essere una combinazione lineare esatta di un'altra. In presenza di multicollinearità elevata, i coefficienti stimati possono essere instabili e poco interpretabili.¹⁸⁴

¹⁸² Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*.

¹⁸³ Stock, J. H., & Watson, M. W. (2020). *Introduction to Econometrics* (4th ed.).

¹⁸⁴ Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*.

Per ognuna di queste caratteristiche esiste una metodologia di controllo che è stata eseguita in concomitanza con la regressione:

Assunzione	Strumento di verifica	Valori attesi / soglie
Omoschedasticità	Test di Breusch-Pagan	p-value > 0.05 → omoschedasticità presente
Normalità degli errori	Test di Jarque-Bera	p-value > 0.05 → normalità accettata
Indipendenza	Statistica di Durbin-Watson	Valori tra 1.5 e 2.5 → nessuna autocorrelazione
Multicollinearità	VIF (Variance Inflation Factor)	VIF < 5 (accettabile); VIF > 10 → multicollinearità forte

Il prossimo paragrafo è riferito all'applicazione specifica del modello, col fine di analizzare la tipologia di regressione adottata all'interno della suddetta analisi. Come è possibile dedurre da quanto già enunciato, un'equazione ad una variabile indipendente può essere adottata in caso di regressione impostata su un CAPM classico, avente come variabile X ad esempio le emissioni. È chiaro, dunque, che una regressione ad una variabile non è adatta a modellizzare matematicamente la domanda di ricerca in esame, la quale include come già specificato più variabili indipendenti.

È stato quindi necessario adottare una regressione multipla, la quale può essere espressa tramite la seguente equazione:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

dove:

- Y rappresenta la variabile dipendente
- $X_1, X_2, \dots, X_k$ sono le variabili indipendenti
- α è l'intercetta,
- β i coefficienti da stimare
- ϵ è l'errore

La rappresentazione grafica di un modello di regressione multipla con più variabili indipendenti non è direttamente realizzabile con strumenti di programmazione di base, poiché tale modello definisce un iperpiano in uno spazio multidimensionale¹⁸⁵. Ogni variabile indipendente aggiuntiva, infatti, incrementa la dimensionalità dello spazio.

Nel caso in esame la regressione 1 assume la forma specifica di:

$$Re = \alpha + \beta \cdot (\beta_i \cdot MRP) + \gamma \cdot \log(E_i) + \delta \cdot Li + \phi \cdot \log(MCI) + \sum_k \theta_k D_k + \epsilon_i$$

dove:

- Re = costo del capitale proprio
- $\beta_i \cdot MRP$ = fattore CAPM
- $\log(E_i)$ = logaritmo naturale delle emissioni totali (Scope 1, 2, 3)
- E_i = leva finanziaria
- $\log(MCI)$ = capitalizzazione di mercato
- D_k = variabili dummy per i settori industriali
- ϵ_i = termine di errore

La regressione 2, invece, è imposta come segue:

¹⁸⁵ Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer.

$$Re = \alpha + \beta \cdot (\beta_i \cdot MRP) + \gamma \cdot \log(E_i) + \delta \cdot Li + \phi \cdot \log(MC_i) + \lambda \cdot ESG_i + \kappa \sum \theta_k D_k + \epsilon_i$$

dove ESG_i rappresenta l'Environmental Score.

Al fine di migliorare la qualità statistica del modello di regressione e facilitare l'interpretazione economica dei risultati, le variabili emissioni totali e capitalizzazione di mercato sono state trasformate mediante logaritmo naturale. Questa trasformazione consente di ridurre la dispersione e l'asimmetria delle distribuzioni, mitigando l'impatto degli outlier e rendendo più plausibili le assunzioni di normalità e linearità alla base del modello OLS¹⁸⁶. Inoltre, il logar

itmo consente di interpretare i coefficienti come elasticità, cioè variazioni percentuali attese nella variabile dipendente a fronte di una variazione percentuale della variabile indipendente¹⁸⁷.

Tale approccio è comune nella letteratura empirica, specialmente in presenza di variabili che assumono valori elevati e fortemente disomogenei¹⁸⁸. Al contrario, la leva finanziaria non è stata trasformata mediante logaritmo naturale. Questo perché si tratta di una variabile già in forma di rapporto, che risulta già normalizzata e compresa in un range ristretto.

4.2.2 - STATISTICHE DIAGNOSTICHE E VARIABILI ARTIFICIALI

La regressione lineare fornisce diverse statistiche diagnostiche utili per valutare l'affidabilità del modello. Tra queste, il coefficiente di determinazione R^2 indica la quota di variabilità della variabile dipendente spiegata dal modello. Un valore di R^2 vicino a 1 suggerisce una forte

¹⁸⁶ Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.

¹⁸⁷ Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Cengage Learning.

¹⁸⁸ Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). *Microeconometrics: Methods and Applications*. Cambridge University Press.

correlazione lineare, mentre un valore basso può indicare che altre variabili, non incluse nel modello, influenzano il costo del capitale proprio¹⁸⁹.

I risultati includono inoltre i p-value associati ai coefficienti stimati, che misurano la probabilità che un coefficiente sia in realtà nullo (ipotesi nulla). Un p-value inferiore a 0,05 indica che il coefficiente è statisticamente significativo con un livello di confidenza del 95%, suggerendo che la variabile indipendente ha un effetto rilevante sul costo dell'equity¹⁹⁰.

Nei modelli di regressione può essere utile effettuare l'integrazione di variabili dummies. Le variabili dummy sono variabili artificiali create per rappresentare variabili categoriche in modelli di regressione. Poiché i modelli di regressione lineare richiedono input numerici, le variabili qualitative (come il settore industriale, il genere o la regione geografica) non possono essere utilizzate direttamente¹⁹¹. Le variabili dummy risolvono questo problema assegnando il valore 1 per indicare la presenza di una particolare categoria e 0 per la sua assenza¹⁹². Nel nostro caso è stato necessario includere le diverse industrie come fattori esplicativi, rappresentando ogni settore con una variabile dummy distinta, che assume valore 1 se l'azienda appartiene a quel settore e 0 in caso contrario. Questo permette di controllare l'effetto specifico di ciascun settore nel modello di regressione¹⁹³. Inizialmente il campione di aziende è stato suddiviso in undici settori, un numero troppo elevato considerando l'estensione totale del campione. I settori di appartenenza sono stati quindi raggruppati in quattro macrosettori: Energia & Utilities (8

¹⁸⁹ Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.

¹⁹⁰ Greene, W. H. (2018). *Econometric Analysis* (8th ed.). Pearson.

¹⁹¹ Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th ed.). South-Western Cengage Learning.

¹⁹² Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.

¹⁹³ Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (6th ed.). Cengage Learning.

osservazioni), Consumo & Tecnologia (10 osservazioni), Finanza (11 osservazioni), Industria e materiali ((4osservazioni).

4.3 - I RISULTATI: MODELLO 1 E MODELLO 2

In questo paragrafo verranno esposti i risultati ottenuti tramite la realizzazione delle regressioni presenti nei due modelli.

4.3.1 - IL MODELLO 1

Entrambe le analisi di regressione lineare multipla hanno restituito risultati interessanti, oltre che fondamentalmente concordanti, in merito alla relazione tra il costo del capitale proprio e le variabili esplicative selezionate.

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva della regressione relativa al Modello 1.

OLS Regression Results:

```
=====
Dep.Variable: Equity      R-squared:    0.459
Model:OLS                R-squared:    0.347
Method: Least Squares    F-statistic:  4.098
Date: Thu,18 Sep 25      Prob (Fstatistic) 0.00426
Time: 14:10:33          Log-Likelihood: -75580
No.Observations: 36      AIC:          165.2
Df Residuals :29        BIC:          176.2
Df Model: 6
Covariance Type: nonrobust
=====
```

```
=====
               coef      std err      t      P>|t|      [0.025      0.975]
-----
const          96.589      10.279      0.940      0.355     -11.364     30.682
Log (Emissioni)  0.5815      0.511      1.137      0.265      -0.464      1.627
Log (Market Cap) -0.1906      1.154     -0.1906     1.154      -0.165      0.870
Leverage       -42.085      2.731     -1.541     0.134      -9.793      1.376
Finanza        13.947      1.186      1.176     0.249      -1.031      3.821
Energia       -29.512      1.243     -2.373     0.024      -5.494     -0.408
Industria     -29.999      1.299     -2.309     0.028      -5.657     -0.343
=====
```

```
=====
Omnibus:          0.143      DurbinWatson: 2.267
Prob(Omnibus):    0.931      Jarque-Bera:  0.069
Skew:            -0.087      Prob(JB):     0.966
Kurtosis:        2.875      Cond.No.      332
=====
```

VIF Table:

=====	
Variable VIF	
const	78.5654.757
Log (Emissioni)	2.981.626
Log (Market Cap)	1.689.845
Leverage	1.503.467
Finanza	2.414.061
Energia	1.986.903
Industria	1.500.742

TEST:

=====	
Breusch-Pagan test:	
Lagrange statistic:	5.379
P-value:	0.4971
F-statistic:	0.8477
F-statistic P Value:	0.544
Durbin-Watson test:	
statistic:	2.269
Jarque-Bera test:	
statistic:	0.1890
P-value:	0.8941

Il Modello 1 complessivamente risulta **statisticamente significativo** ($F = 4.098$, $p = 0.0043$), spiegando circa il 46% della variabilità dell'equity ($R^2 = 0.459$; Adjusted $R^2 = 0.347$).

L'analisi dei coefficienti e dei p-value mostra:

- Log (Emissioni) (coef = 0.582, p = 0.265): effetto positivo ma **non significativo** ($p > 0.05$), quindi non possiamo affermare con certezza che le emissioni influenzino Equity.
- Log (Market Cap) (coef = -0.191, p = 0.870): coefficiente negativo ma **non significativo**.
- Leverage (coef = -4.209, p = 0.134): effetto negativo, ma **non significativo** al 5%.
- Finanza (coef = 1.395, p = 0.249): dummy positiva, non significativa, nessun effetto rilevante rispetto al settore Consumo.
- Energia (coef = -2.951, p = 0.024): significativa a 5%, indicando che le imprese del settore Energia hanno Equity significativamente inferiore rispetto al settore Consumo.
- Industria (coef = -2.999, p = 0.028): significativa a 5%, effetto negativo simile a Energia rispetto al settore di riferimento.

Dunque, le uniche variabili che hanno un impatto sul costo dell'equity sono le dummies Energia e Industria (rispetto alla dummy consumo). I risultati concernenti le emissioni non si configurano come significativi.

I test diagnostici confermano la validità delle assunzioni della regressione lineare:

- **Multicollinearità:** VIF < 5 per tutte le variabili indipendenti (intercetta esclusa), dunque vi è assenza di multicollinearità rilevante.
- **Eteroschedasticità:** Breusch-Pagan test ($p > 0.05$) conferma una varianza dei residui costante e non problematica dal punto di vista del test in esame.
- **Autocorrelazione:** Durbin-Watson test (2.267) indica l'assenza di autocorrelazione significativa tra le variabili.
- **Normalità dei residui:** Jarque-Bera test ($p = 0.894$) indica una distribuzione normale dei residui.

Possiamo concludere che dal Modello 1 non emerge un legame statisticamente significativo tra la variabile proxy del rischio di transizione (emissioni) e il costo dell'equity.

4.3.2 - IL MODELLO 2

Di seguito è riportata la tabella relativa alle metriche di regressione del Modello 2:

OLS Regression Results:

```
=====
Dep.Variable: Equity      R-squared:      0.103      R-squared: 0.103
Model: OLS Adj           R-squared:      -0.196      R-squared: -0.196
Method:Least Squares     F-statistic:    0.3441      F-statistic: 0.3441
Date: Thu,18 Sep 2025    AIC:           91.94
No. Observations:17      BIC:           96.11
Df residuals:17          Prob(F-statistic): 0.843
Df Model: 4
Covariance Type: nonrobust
=====
```

```
=====
coef          std          err          t          P>|t|  [0.025  0.975]
const         52.928        22.061        0.240      0.814  -42.773  53.359
Log(Emiss.)   0.0720         1.116         0.065      0.950  -2.359   2.503
Log(MC)       0.4702         2.456         0.191      0.851  -4.881   5.822
Leverage     -32.141         4.998        -0.643      0.532 -14.104   7.676
ESG          -0.1773         0.264        -0.671      0.515  -0.753   0.398
=====
```

```
=====
Omnibus:      0.361          Durbin-Watson: 2.756
Prob(Omnibus): 0.835          Jarque-Bera    0.029
Skew:         0.095          Prob(JB):      0.985
Kurtosis:     2.926
=====
```

VIF Table:

Variabile	VIF
=====	
Log(Emiss.)	3.65
Log(MC)	1.84
Leverage	1.07
ESG	2.57

TEST:

=====	
Durbin-Watson statistic:	2.756
Breusch-Pagan statistic:	0.789
p-value:	0.940
F-statistic:	0.146,
Jarque-Bera statistic:	0.029
p-value:	0.985

I risultati indicano una **bassa capacità esplicativa** del modello. Infatti, l'R-squared del modello è pari a 0,103 e l'Adjusted R-squared risulta negativo (-0,196), suggerendo che le regressori non migliorano significativamente la spiegazione della variabilità di Equity rispetto alla media. Anche il test F complessivo (F-statistic = 0,344, Prob(F) = 0,843) conferma che il modello non è statisticamente significativo, implicando che nessuna delle variabili indipendenti analizzate influisce in modo rilevante sulla variabile dipendente nel campione considerato.

Per quanto riguarda i singoli coefficienti, nessun0 dei regressori mostra significatività statistica, confermando l'assenza di un effetto significativo di Log (Emissioni), Log (Market Cap), Leverage o ESG su Equity.

Dal punto di vista della correttezza statistica, i test diagnostici effettuati confermano la validità del modello.

- L'analisi dei **VIF** evidenzia valori inferiori a 5 per tutte le variabili indipendenti (esclusa l'intercetta), indicando assenza di multicollinearità rilevante e la stabilità dei coefficienti stimati.
- Il test di **Durbin-Watson** (2,756) segnala assenza di autocorrelazione significativa dei residui,
- Il test di **Breusch-Pagan** test ($p = 0,940$) conferma la costanza della varianza dei residui, garantendo omoschedasticità.
- Il test di **Jarque-Bera** test ($p = 0,985$) indica che i residui seguono una distribuzione normale.

In sintesi, il Modello 3, pur rispettando le assunzioni fondamentali della regressione lineare, mostra una capacità esplicativa limitata e nessuna delle variabili analizzate risulta significativa. Il peggioramento della capacità predittiva rispetto al Modello 1 è da imputare alla diminuzione del numero di aziende presenti nel campione, dovuto alla difficoltà di reperimento dei dati ESG.

Dal punto di vista teorico, un modello in cui il rischio di transizione sia rappresentato da più variabili risulta più appropriato rispetto a una rappresentazione basata esclusivamente sulle emissioni. Come discusso nei capitoli precedenti, il rischio di transizione si articola in quattro sottocategorie principali: rischio regolatorio, rischio di mercato, rischio tecnologico e rischio reputazionale, le quali sono difficilmente sintetizzabili in un'unica variabile. Pertanto, un modello multivariato consente di cogliere in modo più completo e accurato le diverse

dimensioni del rischio di transizione. La sfida principale risiede dunque nella disponibilità di dati che possano tradurre a livello statistico le quattro categorie di rischio.

In conclusione, nessuno dei due modelli ha rintracciato una relazione tra costo dell'equity e rischio di transizione. Questo risultato può essere imputato a diversi fattori:

- **Dimensione ridotta del campione**¹⁹⁴: l'analisi è stata condotta su un numero limitato di osservazioni, il che può ridurre significativamente la potenza statistica dei test effettuati. Da questo punto di vista, lo studio di Bolton e Kacperczyk, già citato nei capitoli precedenti come riferimento principale in materia, risulta notevolmente più strutturato. Esso analizza un ampio campione di 14.400 imprese distribuite in 77 paesi, garantendo così una copertura globale e una maggiore robustezza dei risultati. Inoltre, in statistica, un campione piccolo rende più difficile rilevare effetti reali anche quando questi esistono, aumentando la probabilità di commettere errori di tipo II (cioè, non rifiutare l'ipotesi nulla anche quando è falsa). Inoltre, con pochi dati, la variabilità dei risultati cresce e le stime dei coefficienti diventano meno affidabili e più sensibili alla presenza di valori anomali. Questa ipotesi sembra essere corroborata dal fatto che la variabile presenta un effetto positivo ma non significativo al 5%.
- **Scelta della proxy per il rischio climatico**: nel presente studio, il rischio climatico è stato approssimato utilizzando le emissioni totali di gas serra o in alternativa una combinazione delle emissioni con parametri ESG Environmental. Tuttavia, queste misure sono imperfette. Le emissioni, pur rappresentando un indicatore quantitativo della performance ambientale, non riflettono necessariamente l'esposizione effettiva di

¹⁹⁴ Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*.

un'impresa al rischio di transizione climatica¹⁹⁵. Altrettanto accade per i parametri ESG. Altri elementi — come la vulnerabilità a regolamentazioni ambientali future, l'esposizione a cambiamenti tecnologici (es. obbligo di decarbonizzazione) o i rischi reputazionali — non vengono catturati, rendendo l'analisi parziale.

- **Possibile irrilevanza delle emissioni nel costo del capitale (Modello1):** un'ulteriore ipotesi è che, nel campione e nel contesto analizzato, le emissioni di gas serra non influiscano realmente sul costo del capitale proprio delle imprese¹⁹⁶. Questo potrebbe accadere per diversi motivi. I mercati finanziari italiani non incorporano ancora sistematicamente il rischio climatico nei prezzi dei titoli. In alternativa, gli investitori potrebbero percepire il rischio di transizione come lontano nel tempo o come non immediatamente rilevante per la redditività attesa. Oppure, le imprese più inquinanti compensano il rischio percepito con altri fattori (ad es. rendimenti attesi più alti, solidità finanziaria), neutralizzando così l'effetto sulle stime¹⁹⁷.

4.4 - CARBON PRICING VS CARBON BETA: COME SI COLLOCA IL MODELLO

Nel presente lavoro è stata condotta un'analisi empirica finalizzata a testare l'esistenza di un impatto del rischio di transizione sui valori del costo del capitale proprio delle aziende italiane quotate, ovvero un carbon pricing implicito. In questo contesto, il termine carbon pricing si riferisce alla misura in cui il mercato finanziario riconosce e internalizza il rischio climatico

¹⁹⁵ Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). "Do Investors Care About Carbon Risk?" *Journal of Financial Economics*.

¹⁹⁶ Engle, R., Giglio, S., Kelly, B., Lee, H., & Stroebe, J. (2020). "Hedging Climate Change News." *Review of Financial Studies*.

¹⁹⁷ Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). "Sustainable Investing in Equilibrium." *Journal of Financial Economics*.

legato alle emissioni aziendali, traducendolo in un incremento del costo dell'equity¹⁹⁸. Questa metodologia, sebbene consenta di identificare un possibile premio di mercato per le aziende con profili emissivi più elevati, non costituisce una stima diretta del carbon beta, concetto più specifico e quantitativo presente in letteratura. Il carbon beta rappresenta la sensibilità del rendimento di un titolo rispetto a un fattore di rischio climatico sistemico, analogamente al beta tradizionale che misura la sensibilità ai rischi di mercato¹⁹⁹. Per stimare un carbon beta, è necessario disporre di serie storiche di rendimenti azionari e dati climatici strutturati su più periodi temporali, ed è indispensabile applicare un modello multifattoriale in stile Fama-French in cui il rischio climatico sia esplicitamente modellato come un fattore indipendente²⁰⁰. Lo studio di riferimento in questo ambito è quello di Bolton e Kacperczyk, i quali stimano il carbon beta utilizzando un dataset panel globale e integrando nei loro modelli indicatori ambientali in grado di catturare il rischio di transizione climatica. Il loro approccio consente di misurare come i titoli reagiscono a variazioni nel sentiment regolatorio e nel rischio climatico sistemico, identificando un premio al rischio significativo per le imprese ad alta intensità di carbonio, soprattutto nei paesi con regolamentazione ambientale più severa. In confronto, il presente studio si configura come un'analisi di carbon pricing implicito, e non come una stima di carbon beta: si verifica se il mercato, in un dato momento, assegna un costo aggiuntivo al capitale proprio delle imprese più inquinanti, ma senza stimare la sensibilità dinamica dei rendimenti rispetto a un fattore climatico esplicito²⁰¹. Questa distinzione è rilevante: il carbon pricing implicito fornisce una valutazione statica e cross-section del rischio climatico, utile per

¹⁹⁸ Krueger, P., Sautner, Z., & Starks, L. T. (2020). The importance of climate risks for institutional investors. *The Review of Financial Studies*, 33(3), 1067–1111.

¹⁹⁹ Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549.

²⁰⁰ Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549.

²⁰¹ Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). Sustainable investing in equilibrium. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 550–571.

identificare se e quanto esso sia già integrato nelle aspettative di rendimento attuali degli investitori. Al contrario, il carbon beta è una misura dinamica e longitudinale, che coglie l'esposizione sistematica al rischio climatico nel tempo²⁰².

²⁰² Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). Sustainable investing in equilibrium. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 550–571.

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI

Questa tesi ha indagato se e in quale misura il rischio di transizione climatica si rifletta nel costo dell'equity delle imprese quotate nel FTSE MIB. A partire dalla letteratura esistente e dai più recenti sviluppi in tema di carbon risk premium, è stato impostato un modello empirico per testare l'impatto delle variabili legate alla transizione sulle valutazioni di mercato.

I risultati delle regressioni non evidenziano un effetto statisticamente significativo del rischio di transizione sul costo del capitale proprio. In altre parole, al momento, per le aziende del FTSE MIB i mercati azionari non sembrano prezzare in modo sistematico i costi e le incertezze legate alla transizione climatica. Ciò può derivare da diverse ragioni: la difficoltà nel misurare indicatori affidabili e omogenei di rischio di transizione, l'orizzonte temporale relativamente lungo delle politiche climatiche rispetto agli orizzonti di investimento, e la prevalenza di altri fattori di rischio tradizionali che incidono maggiormente sul rendimento atteso.

Questi risultati, pur non confermando l'ipotesi iniziale, offrono spunti significativi. Da un lato, evidenziano la necessità di affinare ulteriormente i modelli di misurazione e di disporre di dati più granulari e standardizzati. Dall'altro lato, suggeriscono che la sensibilità del mercato al rischio di transizione potrebbe crescere nel tempo, in parallelo con l'introduzione di normative più stringenti, la diffusione di pratiche di disclosure climatica e la crescente attenzione degli investitori istituzionali alla sostenibilità.

In conclusione, il lavoro mostra come il legame tra rischio di transizione e costo dell'equity non sia ancora chiaramente incorporato nei prezzi di mercato delle società italiane del FTSE MIB, ma rappresenti un campo di ricerca e di policy in rapida evoluzione. Per studiosi e operatori finanziari, la sfida futura sarà capire se e quando il rischio climatico di transizione diventerà una componente stabile e riconoscibile del costo del capitale.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Abdymomunov, Á., & Morley, J. (2011). Time variation of CAPM betas across market volatility regimes. *Applied Financial Economics*, 21(19), 1463–1478.

Abidi, N., & Miquel-Flores, I. (2021). Market liquidity of European sovereign bonds during the COVID-19 crisis.

Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discrimination analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 23(4), 589-609.

An EDHEC-Risk Climate Impact Institute Working Paper the Link Between Physical and Transition Risk — April 2024 (in questa sede il rischio di transizione è inteso come sforzo economico per arrivare ad un'economia a basso impatto di carbonio)

Andersen, Benzoni (2007). Do Bond span volatility in U.S. Market?

Ang, A., & Chen, J. (2007). CAPM Over the Long Run: 1926–2001. *Journal of Empirical Finance*, 14(1), 1–40.

ArcelorMittal. (2023). Sustainability Report.

Aswath Damodaran. Estimating Risk Free Rates. Stern School of Business

Baelen, N., Marsat, S., & Pijourlet, G. (2024). Acute vs chronic physical climate risk and firm value. *Finance Contrôle Stratégie*, 27(4), 1–35.

Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., & Wurgler, J. (2018). Financing the response to climate change: The pricing and ownership of US green bonds. NBER Working Paper No. 25194.

Bank for International Settlements (BIS). (2020). The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change.

Bank for International Settlements. (2005). Zero-coupon yield curves: Technical documentation. BIS Papers No. 25.

Barber, B. M., & Odean, T. (2008). All that glitters: The effect of attention and news on the buying behavior of individual and institutional investors. *Review of Financial Studies*, 21(2), 785–818.

Barberis, N., & Thaler, R. (2003). A survey of behavioral finance. In G. Constantinides, M. Harris, & R. Stulz (Eds.), *Handbook of the Economics of Finance*

Bekaert, G., Engstrom, E., & Xu, Y. (2013). Flight-to-quality or flight-to-liquidity? Evidence from the global financial crisis. *The Review of Financial Studies*, 26(4), 913-949.

- Bernard, T. E., & Pourmoghani, M. (1999). A practical guide to the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index. *AIHA Journal*, 60(3), 242–246.
- Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests. In M. Jensen (Ed.), *Studies in the Theory of Capital Markets*.
- BlackRock Investment Institute. (2022). Sustainability: The tectonic shift transforming investing.
- Blanchard, O. J. (2019). Public Debt and Low Interest Rates. *American Economic Review*, 109(4), 1197-1229.
- Blume, M. E. (1971). On the Assessment of Risk. *Journal of Finance*, 26(1), 1–10.
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2018). *Investments* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31 (3), 307–327.
- Bolton, P. (a cura di). (2021). *Banche centrali nell’era del cambiamento climatico*.
- Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142 (2), 517–549.
- Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2023). Global pricing of carbon-transition risk. *Journal of Financial Economics*.
- Borsa Italiana. (2024). *FTSE MIB Index Factsheet*
- Borsa Italiana. *Glossario Finanziario*
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.)
- Brookings Institution. (2023). *Africa’s Just and Sustainable Transition (AJST)*. Brookings Africa Growth Initiative.
- Bündnis Entwicklung Hilft & Ruhr University Bochum. (2024). *World Risk Report 2024*.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). *Microeconometrics: Methods and Applications*. Cambridge University Press.
- Campbell, J.Y. (2007). *Estimating the Equity Premium*. National Bureau of Economic Research.
- Carhart, M. M. (1997). On persistence in mutual fund performance. *Journal of Finance*, 52(1), 57–82.
- Carrington, D. (2024, November 18). World’s 1.5C climate target “deader than a doornail”, experts say. *The Guardian*.

CFD. (2017). Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures.

Chen, J., & Tindall, M. (2014). Constructing zero-beta VIX portfolios with dynamic CAPM (Occasional Paper No. 14-1). Federal Reserve Bank of Dallas.

Choudhry, T., & Wu, H. (2009). Forecasting the weekly time varied beta of UK firms: GARCH models vs. Kalman filter method. *The European Journal of Finance*, 15 (4), 437–444.

Commissione Europea. (2024, 1° luglio). Rapporto della Commissione Europea

CONSOB (2023), Rapporto sulle scelte di investimento delle famiglie italiane

Crain, M. A. (2011). Is the small firm effect disappearing? *Journal of Applied Finance*, 21(2), 41–50.

Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset* (3rd ed.). Wiley.

Damodaran, A. (2023). *Risk-Free Rates: Determination and Applications*. NYU Stern School of Business.

Damodaran, A. (2024). *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications*. Stern School of Business, NYU.

de Freitas Neto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. d. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 19.

De Roon, F. A., & Szymanowska, M. (2012). The Cross Section of Stock Returns in Emerging Markets: Beta and Beyond. *Journal of International Money and Finance*, 31(3), 416–432.

Deloitte. (2022). *Global Consumer Sustainability Survey 2022*. Deloitte Insights

DeMiguel, V., Garlappi, L., & Uppal, R. (2009). Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? *Review of Financial Studies*, 22(5), 1915-1953

Deutsche Bahn AG. (2024). *Sustainability Report*.

Di Febo, E., & Angelini, E. (2025). Transition Risk in Climate Change: A Literature Review. *Risks*, 13(4), 66.

Dimensional Fund Advisors. (2024). *Investment Philosophy*.

EDHECinfra. (2024). *Low tide: What the data showed about Thames Water*. EDHEC Infrastructure Institute.

EIOPA. *Sensitivity analysis of climate-change related transition risks: EIOPA's first assessment*

Endres. *Carbon transition risk in capital market*

Engle, R., Giglio, S., Kelly, B., Lee, H., & Stroebe, J. (2020). "Hedging Climate Change News." *Review of Financial Studies*.

Eni S.p.A. (2023). *Relazione finanziaria annuale 2022*.

Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles*.

Erb, C. B., Harvey, C. R., & Viskanta, T. E. (1996). Political risk, economic risk and financial risk. *Financial Analysts Journal*, 52(6), 28–46.

ESMA (2023), *Retail Investment Behaviour in the EU*

European Banking Authority (EBA). (2025, 25 aprile). EBA publishes key indicators on climate risk in the EU/EEA banking sector.

European Central Bank. (2023). *Euro area yield curves and government bond benchmarks*.

European Central Bank. (2024). *Statistical Data Warehouse*.

European Central Bank. (2025). *Euro Area Yield Curves*.

European Central Bank. (2025). *Euro area zero-coupon yield curve (spot)*.

European Commission. (2022). *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*.

European Commission. (2022). *EU Emissions Trading System (EU ETS)*.

European Commission. (2023). *Environmental taxation in the EU Member States*.

European Commission. (2023). *REPowerEU Plan – Industrial Decarbonisation*.

European Parliament and Council. (2019). *Regulation (EU) 2019/2088 on sustainability-related disclosures in the financial services sector (SFDR)*. *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and Council. (2020). *Regulation (EU) 2020/852 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment and amending Regulation (EU) 2019/2088 (EU Taxonomy Regulation)*. *Official Journal of the European Union*.

Fabozzi, F. J. (2021). *Bond Markets, Analysis, and Strategies* (10th ed.)

Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417.

Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The Cross Section of Expected Stock Returns. *Journal of Finance*, 47(2), 427–465

Fama, E. F., & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3–56.

Fama, E. F., & French, K. R. (2004). The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 25-46.

Feder Sempach, E., Szczepocki, P., & Dębski, W. (2023). What if beta is not stable? Applying the Kalman filter to risk estimates of top US companies over the long-time horizon . *Bank i Kredyt* , 54 (1), 25–44.

Financial Times. (2024, May). German Bunds hold their safe-haven status amid eurozone stress.

Financial Times. (2024a, March 28). The Thames Water crisis: What went wrong?

Financial Times. (2024b, July 4). UK pension funds slash Thames Water valuations.

Financial Times. (2024c, June 18). Thames Water debacle holds a harsh lesson about asset pricing models.

Fliegel, P. (2025). How (Not) to Measure Companies' Climate Transition Risk: A Framework and Categorized Literature Review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*.

Fondo Monetario Internazionale. Rapporto FMI 2020 sulla stabilità finanziaria globale (2020, aprile 14)

General Motors. (2021). GM's Vision of an All-Electric Future.

Giglio, S., Kelly, B., & Pruitt, S. (2021). Climate finance. *Annual Review of Financial Economics*, 13, 15-36.

Governo italiano. (2019). Legge 27 dicembre 2019, n. 160 - Bilancio di previsione dello Stato 2020.

Green, T. C., & Hwang, B. H. (2012). Investor sentiment and stock returns: The case of aviation disasters. *Journal of Financial Economics*, 104(2), 367–386.

Greene, W. H. (2018). *Econometric Analysis* (8th ed.). Pearson.

Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical Asset Pricing via Machine Learning. *Review of Financial Studies*, 33(5), 2223–2273

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.

Hansen, P. R., Lunde, A., & Voev, V. (2014). Realized Beta GARCH: a multivariate GARCH model with realized measures of volatility. *Journal of Applied Econometrics*, 29 (5), 774–799.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer.

Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). Emissions – the “business as usual” story is misleading. *Nature*, 577 , 618–620.

He, O'Connor (2022). Identificazione di proxy per i tassi privi di rischio

Huij, Joop e Laurs, Dries e Stork, Philip A. e Zwinkels, Remco CJ, Carbon Beta: una misura basata sul mercato dell'esposizione al rischio di transizione climatica (23 marzo 2023)

Hull, J. C. (2018). *Risk Management and Financial Institutions* (5th ed.). Wiley Finance.

Hull, J. C. (2021). *Options, Futures, and Other Derivatives* (11th ed.). Pearson.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

International Energy Agency (IEA). (2023). *Iron and Steel Technology Roadmap*.

International Monetary Fund. (2019). *Scarcity and safe asset premiums* (IMF Working Paper No. 19/235).

International Monetary Fund. (2020). *Global financial stability report: Bridge to recovery*. IMF.

Investopedia. (n.d.). Fama and French Three Factor Model.

Jagannathan, R., & Ma, T. (2003). Risk reduction in large portfolios: Why imposing the wrong constraints helps. *Journal of Finance*, 58(4), 1651-1684.

Johnson, M., Smith, R., & Lee, T. (2024). *Quantifying climate change risks the cost of municipal borrowing*. Brookings Institution.

Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. McGraw-Hill.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decisions under risk . *Econometrica* , 47(2)

Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2015). *Valuation: Measuring and managing the value of companies* (6th ed.)

Korkmaz, T., Çevik, E. İ., & Özataç, N. (2010). Testing CAPM using Markov switching model: The case of coal firms. *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, 23(2), 44–59.

Krueger, P., Sautner, Z., & Starks, L. T. (2020). The importance of climate risks for institutional investors. *The Review of Financial Studies*, 33 (3), 1067–1111.

Li, X., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). Climate risk and corporate debt financing: Evidence from Chinese A-share-listed firms. *Sustainability*, 17(9), 3870.

- Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *Review of Economics and Statistics*, 47(1), 13-37.
- Longin, F., & Solnik, B. (2001). Extreme correlation of international equity markets. *The Journal of Finance*, 56(2), 649-676.
- Loyson, P., & van Wijnbergen, S., & altri. (2023). Transition versus physical climate risk pricing in European financial markets: A text-based approach (SUERF Policy Brief No 443). SUERF – The European Money and Finance Forum.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- McKinsey & Company. (2020). True Gen: Generation Z and its implications for companies.
- Measuring Transition Risk in Investment Fund – Ricardo Crisostromo
- Ministero dell'Economia e delle Finanze. (2022). Ricerca in economia e finanza internazionale: Rapporto 2022 (p. 62).
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). Wiley.
- MSCI Research (2020). Minimum Volatility Indexes: Historical Performance and Strategy.
- Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). Parsimonious Modeling of Yield Curves. *Journal of Business*, 60(4), 473–489.
- Network for Greening the Financial System (NGFS). (2023). NGFS Climate Scenarios for Central Banks and Supervisors – Phase IV.
- NGFS (2022). Final report on bridging climate-related data gaps. Network for Greening the Financial System.
- NGFS. (2019). A Call for Action: Climate Change as a Source of Financial Risk. Network for Greening the Financial System.
- Nippani, Srinivas e Liu, Pu e Schulman, Craig T., 2001. " I titoli del Tesoro sono esenti da default? ", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Cambridge University Press, vol. 36(2), pagine 251-265
- OECD. (2021). ESG investing and climate transition: Market Practices, Issues and Policy Considerations. OECD Publishing.
- Parlamento Europeo (2023, dicembre). L'UE e l'accordo di Parigi
- Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). "Sustainable Investing in Equilibrium." *Journal of Financial Economics*.

Pieroni, V., Bassetti, T., & Dal Maso, L. (2024). Firms' borrowing costs and neighbors' flood risk.

Principles of Corporate Finance – Brealey, Myers, Allen & Edmans (14^a ed., 2022)

PwC. (2023). Consumer Intelligence Series: Sustainability and Pricing. PwC.

Rainforest Action Network, BankTrack, Indigenous Environmental Network, Oil Change International, Reclaim Finance, & Sierra Club. (2024). Banking on Climate Chaos: Fossil Fuel Finance Report 2024.

Robert Hyat (2022, febbraio)

Roll, R. (1977). A critique of the asset pricing theory's tests. Part I: On past and potential testability of the theory. *Journal of Financial Economics*, 4(2), 129–176.

Ross, S. A. (1976). The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341–360.

S&P Global Sustainable1. (2024, marzo 10). Quantifying the financial costs of climate change and physical risks for companies.

Samaniego Alcántar, Á., & Casillas Aceves, S. A. (2018, marzo). Testing the Capital Asset Pricing Model using the Kalman Filter: Empirical evidence from the Mexican Stock Market. In R. Coronado, R. Rojas, & F. Venegas Martínez (Eds.), *Recent Topics in Time Series and Finance: Theory and Applications in Emerging Markets* (pp. 81–94). Guadalajara, Mexico: Universidad de Guadalajara.

Shanken, J. (1990). Intertemporal Asset Pricing: Some Tests and Speculations. *Journal of Financial Economics*, 28(1-2), 3–45.

Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. (1999). *Investments* (6th ed.). Prentice Hall

Shleifer, A. (2000). *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance*. Oxford University Press.

Siegel, J. J. (1992). The equity premium: Stock and bond return since 1802. *Financial Analysts Journal*, 48(1), 28–38.

Simon, D. (2006). *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*. Wiley-Interscience.

Sito ufficiale Unione Europea (novembre 2020) - Guida sui rischi climatici e ambientali

Statman, M. (1987). How Many Stocks Make a Diversified Portfolio?. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 22(3), 353-363.

Stock, J. H., & Watson, M. W. (2020). *Introduction to Econometrics* (4th ed.).

Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2017). *Final report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*.

Thyssenkrupp AG. (2023). *Hydrogen Strategy and Capital Markets Day Report*.

Trading Economics. (2025). *Italy 3 Month Bill Yield*.

Trading Economics. (2025). *Italy Lending Interest Rate*.

Transizione climatica e obbligazioni, rischio o opportunità? (2021) – Raus, Sampieri, Sparks

Treynor, J. L. (1965). How to Rate Management of Investment Funds. *Harvard Business Review*, 43(1)

Two sides of the same coin: Green Taxonomy alignment versus transition risk in financial portfolios – Alessi, Battiston (2021)

U.S. Government Accountability Office (GAO). (2020, 10 settembre). *Natural Disasters: Economic Effects of Hurricanes Katrina, Sandy, Harvey, and Irma* (GAO 20 633R).

Unione Europea (2020, novembre). *Guida UE sui rischi climatici*

US Environmental Protection Agency. (2023). *Climate Risks and Opportunities Defined: Physical Risk Categories*. EPA.

Whaley, R. E. (2000). The investor fear gauge. *The Journal of Portfolio Management*, 26(3), 12-17.

Wiley Online Library. (2012). Regression-based valuation. In *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset* (Capitolo 24). Wiley.

Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th ed.). South-Western Cengage Learning.

Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Cengage Learning.

Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*.

World Bank. (2023). *State and Trends of Carbon Pricing 2023*.