UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

"CLIMATE RISK AND FINANCIAL MARKETS"

RELATORE:

CH.MO PROF. BASSETTI THOMAS

LAUREANDA: SCARPELLI CLAUDIA

MATRICOLA N. 2014188

ANNO ACCADEMICO 2024 – 2025

Dichiaro di aver preso visione del "Regolamento antiplagio" approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione 'Riferimenti bibliografici'.

I hereby declare that I have read and understood the "Anti-plagiarism rules and regulations" approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section 'References'.

Firma (signature)

Indice

CAPITOLO I

INTRODUZIONE..... *4*

CAPITOLO II

RISCHIO CLIMATICO E *ASSET PRICING*: MODELLI TEORICI, EVIDENZE EMPIRICHE E IMPLICAZIONI MACRO-FINANZIARIE *6*

2.1 Cambiamento climatico e asset pricing.....*6*

2.2 Il contributo di Karydas e Xepapadeas *10*

2.3 Evidenze empiriche sui rendimenti di lungo periodo *13*

2.4 Rischi di coda e carbon premium nei mercati finanziari.....*14*

2.5 Implicazioni macro-finanziarie: tasso naturale di interesse e dinamica dei prezzi.....*16*

2.6 Allocazione del capitale, mercati del credito e ruolo delle istituzioni.....*17*

2.7 Conclusioni.....*20*

CAPITOLO III

ANALISI CRITICA DELLA LETTERATURA.....*21*

3.1 Premessa al dibattito critico *21*

3.2 Punti di forza della letteratura.....*21*

3.3 Criticità teoriche ed empiriche.....*22*

3.3.1 L'eterogeneità di definizione del rischio climatico *22*

3.3.2 Ulteriori criticità riscontrabili nella letteratura *24*

3.4 Valutazione complessiva e prospettive *25*

CAPITOLO IV

CONCLUSIONI.....*27*

BIBLIOGRAFIA.....*30*

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo elaborato è analizzare in che modo il rischio climatico venga incorporato nei modelli di *asset pricing*, ossia negli strumenti teorici ed empirici che spiegano come i mercati finanziari determinano il rendimento atteso delle attività. Il lavoro si concentra quindi sul rapporto tra cambiamento climatico e valutazione delle attività finanziarie, tralasciando altri aspetti pure rilevanti – come la definizione ottimale delle politiche ambientali o la misurazione diretta delle emissioni – che esulano dall'ambito finanziario.

La scelta di circoscrivere il campo di indagine nasce dall'esigenza di focalizzare l'analisi sull'interazione tra rischi ambientali e mercati, valutando come i contributi accademici abbiano esteso e, in alcuni casi, messo in discussione i modelli tradizionali. L'attenzione è dunque rivolta non al cambiamento climatico in sé, ma al modo in cui esso modifica la percezione del rischio, i meccanismi di formazione dei prezzi e, in ultima analisi, il costo del capitale per imprese e investitori.

Il legame tra finanza e clima non è soltanto un tema teorico, ma ha conseguenze pratiche significative. Le imprese ad alta intensità di emissioni, ad esempio, si trovano esposte a un rischio crescente di svalutazione dei propri *asset* a causa di nuove regolamentazioni ambientali, *carbon tax* o pressioni reputazionali. Come mostrano Bolton e Kacperczyk (2021), tali fattori incidono direttamente sulla loro capacità di finanziarsi sui mercati e sui rendimenti richiesti dagli investitori.

Allo stesso modo, eventi climatici estremi possono compromettere catene di approvvigionamento, ridurre la produttività e generare perdite improvvise. In questa direzione, modelli come quello proposto da Karydas e Xepapadeas (2022) evidenziano come l'aumento della temperatura globale possa tradursi in shock macroeconomici di lungo periodo, capaci di incidere sulla crescita e sul valore atteso degli *asset*. Le conseguenze si riflettono non solo sui bilanci delle singole imprese, ma anche sulla stabilità complessiva dei mercati finanziari, rendendo necessaria un'analisi che vada oltre i rischi macroeconomici tradizionalmente considerati.

Queste dinamiche incidono sul costo del capitale e sull'allocazione degli investimenti, con effetti su crescita potenziale e trasmissione della politica monetaria. Anche i risparmiatori e i fondi pensione risultano esposti, in quanto la redditività dei portafogli dipende dalla capacità dei mercati di valutare correttamente i rischi legati al cambiamento climatico. In questo senso, comprendere come tali rischi vengano incorporati nei modelli di *asset pricing* diventa una necessità per garantire stabilità e sostenibilità nel lungo periodo.

Questo lavoro si propone di analizzare come il rischio climatico venga incorporato nei modelli di *asset pricing*, valutando i principali contributi teorici ed empirici e discutendone punti di forza, limiti e implicazioni. Il fine è non soltanto presentare le soluzioni proposte dalla letteratura, ma anche valutarne la coerenza, l'aderenza ai dati e la capacità di fornire risposte convincenti a un fenomeno che sta modificando in profondità il funzionamento dei mercati finanziari.

La struttura complessiva dell'elaborato prevede quattro capitoli, concepiti per offrire una trattazione progressiva e coerente del tema. Il secondo capitolo è dedicato alla letteratura di riferimento e ricostruisce i principali contributi che hanno tentato di estendere i modelli di *asset pricing* tradizionali, integrando nuove dimensioni di rischio legate al cambiamento climatico. In questa prospettiva, l'analisi mostra come tali modelli abbiano progressivamente ampliato il perimetro interpretativo della finanza, includendo prima eventi estremi e disastri rari e, successivamente, variabili osservabili come le emissioni di carbonio e le politiche di transizione.

Il terzo capitolo assume una prospettiva critica, valutando la coerenza delle ipotesi formulate, la solidità delle metodologie adottate e l'effettiva capacità dei diversi approcci di cogliere la complessità della relazione tra rischi climatici e mercati finanziari. In particolare, l'obiettivo non è soltanto individuare i contributi più rilevanti, ma anche mettere in evidenza le aree di maggiore incertezza e le questioni che rimangono aperte.

Infine, il quarto capitolo raccoglie le conclusioni, che non si limitano a una sintesi dei risultati, ma intendono collocare le evidenze emerse all'interno di un quadro più ampio, offrendo spunti di riflessione sulle prospettive future della ricerca. In questo modo, l'elaborato mira a restituire una visione complessiva del dibattito, chiarendo i progressi compiuti e i percorsi che restano da esplorare.

CAPITOLO II

RISCHIO CLIMATICO E *ASSET PRICING*: MODELLI TEORICI, EVIDENZE EMPIRICHE E IMPLICAZIONI MACRO-FINANZIARIE

2.1 Cambiamento climatico e asset pricing

In materia di rischio climatico nel contesto dei mercati finanziari, il contributo di Karyadas e Xepapadeas (2022) ha rappresentato un avanzamento significativo della letteratura, integrando il suddetto rischio nella determinazione dei prezzi degli asset finanziari e dei tassi di interesse.

In particolare, l'analisi fornita permette di osservare come il cambiamento climatico rappresenti "*A new type of macroeconomic risk with potential systemic implications for financial asset markets*" (Karydas & Xepapadeas, 2022, p. 2), rendendo necessario lo sviluppo di nuovi strumenti capaci di catturarne gli effetti.

L'obiettivo dello studio è sviluppare un modello di *asset pricing* che estende il *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) tradizionale. Quest'ultimo spiega come determinare il rendimento atteso di un titolo in funzione del suo rischio, considerando un solo tipo di rischio sistematico: quello legato al mercato nel suo complesso. Il modello proposto, invece, include anche i disastri rari (*rare disasters*) (Barro, 2006) – eventi macroeconomici estremi – e i disastri legati al cambiamento climatico, come eventi ambientali catastrofici o un aumento improvviso della temperatura globale.

Il contributo in esame propone una prospettiva innovativa sui rischi climatici, che vengono trattati non più come eventi statici ed isolati, ma come fattori stocastici la cui probabilità aumenta al crescere della temperatura globale. Inoltre, il modello introduce un rischio di transizione che riguarda le attività legate a settori ad alta intensità di emissioni (*asset "brown"*). Queste risultano particolarmente suscettibili a mutamenti delle politiche e delle regolamentazioni ambientali, soprattutto quando gli eventi climatici diventano più frequenti. In questo modo, il modello non solo generalizza il CAPM classico, ma si inserisce anche nel dibattito recente sul beta climatico (*climate beta)* (Dietz, Gollier & Kessler, 2018) e sugli effetti del rischio da emissioni di carbonio sui rendimenti (Ilhan, Sautner & Vilkov, 2020; Bolton & Kacperczyk, 2021).

Lo studio si fonda su tre ipotesi centrali relative alla natura e alla dinamica dei rischi considerati. Per formalizzare tali rischi, il modello utilizza i processi di Poisson, caratterizzati da un parametro di intensità λ, che misura la frequenza attesa degli eventi in un determinato intervallo temporale. In questo quadro si distinguono tre intensità principali: λ_M, relativa ai disastri macroeconomici; λ_E, associata ai disastri climatici; e λ_X, riferita agli shock regolatori

di transizione che interessano i settori ad alta intensità di carbonio. In primo luogo, gli *shock* generati dal cambiamento climatico possono assumere la forma di rischi cronici, ovvero rischi persistenti sul sistema economico, e di rischi acuti, vale a dire eventi estremi improvvisi che non seguono un andamento regolare e prevedibile. Questi ultimi sono modellati come *shock* di Poisson, la cui intensità λ_E rappresenta la frequenza attesa degli eventi;

Il secondo assunto presuppone che l'intensità λ_E non sia costante, ma dipenda dal livello della temperatura globale T. Un aumento di T accresce l'intensità λ_E del processo di Poisson che governa i disastri climatici. In effetti, gli autori scrivono che il valore medio dell'intensità climatica dipende linearmente dalla temperatura

$$\bar{\lambda}_E(T) = \tilde{\lambda}_E + \xi T \qquad (1)$$

dove $\bar{\lambda}_E$ è l'intensità di base e ξ rappresenta la sensibilità della probabilità di disastri alle variazioni di temperatura. Tali variazioni implicano un accrescimento sia del valore atteso sia della varianza, traducendosi rispettivamente in un numero medio più elevato di *shock* climatici e in una maggiore dispersione intorno al valore medio. Da ciò consegue che l'aumento della temperatura non solo accresce la probabilità di eventi estremi, ma ne amplifica anche l'incertezza, rendendo più imprevedibile la loro distribuzione.

Infine, la terza ipotesi si fonda sull'assunto che il rischio regolatorio sulle attività ad elevata intensità di emissioni di carbonio, ossia il rischio che gli investimenti in quest'ultime perdano valore a causa di nuove politiche di transizione climatica, quali, ad esempio, tasse sul carbonio o regolamentazioni ambientali più stringenti, sia proporzionale alla possibilità di disastri climatici: $\lambda_X = \pi\lambda_E$. In altri termini, eventi ambientali più frequenti rendono più probabili politiche di transizione.

Per descrivere l'andamento nel tempo della probabilità che si verifichino disastri climatici, gli autori adottano un processo di *mean-reverting* (Wachter, 2013), cioè un meccanismo che fa sì che le intensità (λ_j) oscillino nel tempo, ma tendano a tornare ad un valore medio di lungo periodo.

Definite le probabilità di disastro, gli autori (Karydas & Xepapadeas, 2022) le collegano all'economia reale. Il modello considera un'economia che produce un unico bene attraverso due attività, una "generale" e una "*brown*". La prima è esposta solo a rischi macro e climatici, mentre la seconda è vulnerabile anche agli *shock* regolatori. Come già evidenziato precedentemente, più i disastri climatici diventano frequenti, più aumenta la probabilità che i governi reagiscano con politiche restrittive verso i settori inquinanti, penalizzando così le attività a forte impatto emissivo. La dinamica della produzione *brown* riflette questi meccanismi e viene descritta da:

$$dY_B = Y_B \left(\mu_B dt + \sigma_B dW_B + \sum j \left(e^{Z_j^B} - 1 \right) dQ_j + (e^X - 1) dQ_X \right) \qquad (2)$$

Più precisamente, la produzione *brown* cresce secondo una tendenza normale (μ_B) e una volatilità (σ_B), ma può subire salti negativi sia quando si verificano disastri macro o climatici (dQ_j) sia quando si attivano politiche di transizione (dQ_X).

Una volta descritti i rischi e la dinamica produttiva, Karydas e Xepapadeas (2022) introducono il comportamento degli agenti economici. Il modello ipotizza un agente rappresentativo che massimizza l'utilità lungo l'intero orizzonte temporale, assumendo preferenze ricorsive nella formulazione di Duffie ed Epstein (1992). A differenza del modello standard di utilità attesa, questa impostazione consente di distinguere due parametri che normalmente coincidono: l'avversione al rischio (γ>1), che misura quanto l'agente penalizza l'incertezza sui consumi futuri, e l'elasticità intertemporale di sostituzione (EIS, indicata con ψ), che cattura la disponibilità a trasferire consumi tra presente e futuro. Questa distinzione risulta fondamentale nello studio dei rischi climatici, poiché consente di modellare un agente che, pur disposto a spostare i consumi nel tempo, reagisce in modo marcato a eventi estremi e incerti. Ciò implica che il benessere dell'agente dipende non solo dalla ricchezza corrente, ma anche dalle aspettative sui rischi futuri. Un aumento delle intensità λ_M o λ_E riduce il valore attribuito alla ricchezza attuale, poiché cresce la probabilità che *shock* futuri compromettano i consumi. In sostanza, la funzione di utilità riflette un *trade-off*: più alta è la ricchezza, maggiore è l'utilità; ma più elevato è il rischio di disastri, minore è il valore che l'agente assegna a quella stessa ricchezza.

Dalla funzione di utilità si possono derivare in forma analitica i principali prezzi di equilibrio del modello, tra cui il tasso privo di rischio, che nel modello di Karydas e Xepapadeas (2022) assume la seguente forma:

$$r = \rho + g - \gamma\sigma^2 + \sum_{j \in M,E} \lambda_j \, \mathbb{E}\left[e^{-\gamma Z_j}\left(e^{Z_j} - 1\right)\right] + \pi\lambda_E \mathbb{E}[1 + n_B(e^X - 1) - \gamma n_B(e^X - 1)] \qquad (3)$$

In questa espressione, il parametro ρ rappresenta il tasso di impazienza del consumatore, ossia la preferenza per i consumi immediati rispetto a quelli futuri, mentre g è il tasso atteso di crescita dei consumi. Il termine $-\gamma\sigma^2$ riflette la penalizzazione per il rischio legato alla volatilità dei consumi: maggiore è l'avversione al rischio, più forte è la riduzione del tasso privo di rischio. A questi si sommano i contributi derivanti dai disastri rari, $\sum_{j \in M,E} \lambda_j \, \mathbb{E}[e^{-\gamma Z_j}(e^{Z_j} - 1)]$, e dal rischio regolatorio sulle attività caratterizzate da un alto livello di emissioni di carbonio, espresso da: $\pi\lambda_E \mathbb{E}[1 + n_B(e^X - 1) - \gamma n_B(e^X - 1)]$.

Tale formula consente di individuare due meccanismi fondamentali: Il primo, denominato "*Precautionary saving effect*", si verifica quando al crescere della probabilità di *shock* (cioè,

all'aumentare di λ_M o λ_E), gli agenti incrementano il risparmio precauzionale per fronteggiare l'aumento dell'incertezza, e questo abbassa il tasso di interesse reale. Il secondo, definito "*Policy effect*", emerge invece quando l'intensità dei disastri climatici diventa più elevata, poiché aumenta la probabilità che i governi adottino politiche restrittive nei confronti delle attività ad alto impatto emissivo. Tale rischio regolatorio si traduce in un costo implicito per gli investitori, contribuendo a un ulteriore abbassamento del tasso di interesse reale.

Si osserva dunque che il tasso privo di rischio non è solo funzione dei parametri di crescita e preferenza, come nel CAPM tradizionale, ma riflette direttamente i rischi climatici e normativi. Questo rende l'equilibrio dei mercati finanziari sensibile all'evoluzione del cambiamento climatico e alle risposte regolatorie, con implicazioni di rilievo per la politica monetaria e per le scelte di portafoglio.

Un aspetto centrale del lavoro di Karydas e Xepapadeas (2022) è l'analisi del premio di mercato, ossia la remunerazione aggiuntiva che gli investitori richiedono per detenere attività rischiose. Nel modello, questo premio viene scomposto in quattro componenti: *(i)* rischio diffuso *standard*, *(ii)* elasticità del valore rispetto alle intensità, *(iii)* contributo dei disastri macro e climatici, e (iv) contributo del rischio normativo. La parte più innovativa è rappresentata dal Premio per il rischio climatico (*Climate Risk Premium*, CRP), che riflette specificamente i rischi legati al clima e alla transizione regolatoria.

Il premio climatico cresce con l'aumentare della probabilità di eventi estremi e con l'esposizione alle attività particolarmente vulnerabili al rischio di politiche regolatorie.

Per validare il modello, Karydas e Xepapadeas (2022) ricorrono alla calibrazione dei parametri utilizzando gli scenari climatici sviluppati dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), organismo scientifico delle Nazioni Unite che rappresenta il punto di riferimento globale per la valutazione del cambiamento climatico (IPCC, 2014). In particolare, gli autori si concentrano su due traiettorie estreme: lo scenario RCP2.6, che presuppone politiche di mitigazione stringenti e basse emissioni, e lo scenario RCP8.5, che rappresenta invece un percorso ad alte emissioni con un aumento della temperatura globale di circa 4°C entro il 2100.

I risultati mostrano che, nello scenario pessimistico (RCP8.5), il premio complessivo di mercato cresce solo marginalmente, passando dal 7,1% al 7,9% annuo. Al contrario, la componente climatica del premio al rischio aumenta in modo molto più significativo, da 0,5% a 1,8%, indicando che i rischi climatici divengono una determinante cruciale nella valutazione degli *asset*. Parallelamente, il tasso privo di rischio mostra un andamento decrescente con l'aumento della temperatura, riflettendo la tendenza degli investitori ad accumulare risparmio

precauzionale. Infine, la quota ottimale di attività a forte impatto emissivo nei portafogli si riduce spontaneamente, generando un processo graduale di decarbonizzazione.

Questi risultati suggeriscono che i mercati finanziari incorporano progressivamente i rischi climatici nelle proprie dinamiche fondamentali. Ne consegue che la transizione verso un sistema finanziario meno dipendente dalle attività ad alta intensità di carbonio può avvenire anche come risultato dei meccanismi di mercato, che penalizzano progressivamente le attività più vulnerabili.

In conclusione, Karydas e Xepapadeas (2022) mostrano come i rischi climatici abbiano effetti concreti e sistematici su tassi di interesse, premi al rischio e allocazione dei portafogli. Il loro modello rappresenta un avanzamento importante perché integra formalmente rischi macroeconomici, climatici e regolatori in un unico quadro teorico, offrendo un contributo originale al dibattito su come il cambiamento climatico entri nei meccanismi fondamentali della finanza.

2.2 Il contributo di Karydas e Xepapadeas

Il modello di Karydas e Xepapadeas (2022) trova le sue radici in un filone di studi consolidato in economia finanziaria che ha tentato di spiegare fenomeni apparentemente anomali nei mercati attraverso l'introduzione di rischi rari e preferenze non standard. È possibile individuare tre pilastri concettuali fondamentali: *(i)* la letteratura sui disastri rari (Barro, 2006), *(ii)* l'analisi dei rischi variabili nel tempo (Wachter, 2013), e *(iii)* il modello di preferenze ricorsive (Duffie & Epstein, 1992).

Barro (2006) parte dall'osservazione che i modelli standard di consumo e crescita non riescano a spiegare l'entità dei premi al rischio osservati nei mercati finanziari. Per risolvere questo limite, l'autore introduce nel modello di crescita un processo di Poisson che rappresenta eventi catastrofici (guerre mondiali, crisi economiche profonde, disastri naturali) capaci di ridurre improvvisamente il livello di consumo e capitale. Formalmente, se il consumo segue un processo stocastico con tasso di crescita g e volatilità σ, la presenza di *shock* rari e negativi viene modellata come:

$$\frac{dC_t}{C_t} = gdt + \sigma C_t - dB_t + (e^{Z_t} - 1)C_t - dN_t \qquad (4)$$

In questa formulazione, C_t rappresenta il livello di consumo, il cui andamento nel tempo è determinato da tre componenti principali: una crescita media al tasso g, una volatilità ordinaria σ legata al moto browniano B_t, e un termine di salto che cattura gli *shock* rari. Tali *shock* sono

descritti dal processo di Poisson N_t, caratterizzato da un'intensità λ, che indica la probabilità che un disastro si verifichi in un piccolo intervallo di tempo ($Pr\{\Delta N_t = 1\} = \lambda dt$).

Al verificarsi di un disastro, il consumo subisce una contrazione istantanea: questa è modellata attraverso un parametro $Z < 0$, che misura la dimensione dello *shock* in termini logaritmici. In altre parole, tale evento riduce il consumo moltiplicandolo per e^Z, che, essendo minore di uno, comporta una contrazione netta. Ne consegue che il termine $(e^{Z_t} - 1)$ assume valore negativo, riflettendo la perdita secca di consumo in corrispondenza del salto $(dN_t = 1)$. Tale meccanismo contribuisce a spiegare perché gli investitori tendano a esigere un premio per il rischio più elevato nel detenere attività finanziarie caratterizzate da maggiore incertezza. Non è infatti la fisiologica volatilità giornaliera a costituire la principale fonte di preoccupazione, bensì la prospettiva del verificarsi di eventi estremi, capaci di compromettere in modo repentino e significativo i rendimenti conseguiti nel lungo periodo, azzerando potenzialmente anni di accumulazione di valore.

Tuttavia, il modello di Barro (2006) assume che la probabilità di disastri sia costante nel tempo, un'ipotesi che semplifica l'analisi ma che risulta poco realistica nel descrivere la dinamica dei mercati. Wachter (2013) supera questo limite, trattando l'intensità dei disastri λ_t come una variabile stocastica, soggetta a *shock* e fluttuazioni endogene. In altri termini, la probabilità di eventi estremi non è statica, ma evolve nel tempo seguendo un processo di tipo *mean-reverting*. Formalmente, la dinamica proposta è:

$$d\lambda_t = \kappa(\bar{\lambda} - \lambda_t)dt + \sigma_t\sqrt{\lambda_t}dB_{\lambda,t} \qquad (5)$$

In questa formulazione, $\kappa > 0$ misura la velocità di ritorno alla media di lungo periodo $\bar{\lambda}$, σ_λ governa l'intensità della volatilità, mentre $B_{\lambda,t}$ è un moto browniano standard, che introduce una componente di casualità continua. Questa specificazione, appartenente alla classe dei processi *Cox–Ingersoll–Ross* (CIR), garantisce che λ_t resti sempre positiva, evitando l'incongruenza di probabilità negative.

Sul piano economico, il modello suggerisce che nei periodi di relativa stabilità, l'intensità tende a ridursi verso il valore medio, ma senza mai annullarsi; al contrario, in fasi di turbolenza o in presenza di *shock* avversi, la probabilità di disastri aumenta e può rimanere elevata per un certo intervallo di tempo. Questo meccanismo cattura il carattere ciclico del rischio sistemico, che tende ad accumularsi e a scaricarsi nel tempo.

Dal punto di vista finanziario, l'introduzione di una probabilità di disastro variabile ha due implicazioni cruciali. In primo luogo, contribuisce a spiegare la volatilità osservata nei mercati azionari: anche in assenza di disastri effettivi, un aumento della percezione del rischio (ossia di λ_t) si traduce in premi al rischio più elevati richiesti dagli investitori. In secondo luogo, il

modello permette di descrivere in maniera più realistica l'interazione tra *shock* rari e dinamiche di *asset pricing*, mostrando come l'incertezza sul verificarsi di eventi estremi possa da sola generare instabilità nei prezzi delle attività finanziarie.

Il terzo pilastro teorico è rappresentato dal contributo di Duffie ed Epstein (1992), i quali introducono il concetto di *stochastic differential utility* (SDU), ossia un'estensione dell'utilità attesa che consente di separare in modo esplicito due dimensioni solitamente coincidenti nei modelli tradizionali: l'elasticità intertemporale di sostituzione (ψ) e il coefficiente di avversione al rischio (γ). Nei modelli *standard* di utilità attesa, infatti, l'agente rappresentativo massimizza un'utilità in cui il parametro γ governa sia l'avversione al rischio che la propensione a sostituire consumo nel tempo. Questa sovrapposizione genera un vincolo restrittivo: un'elevata avversione al rischio implica necessariamente una bassa elasticità intertemporale, e viceversa.

Duffie ed Epstein (1992) superano tale limite formulando una funzione di utilità ricorsiva, in cui l'utilità corrente dipende non soltanto dal consumo istantaneo C_t ma anche dal valore atteso dell'utilità futura. In forma generale, la SDU è definita come:

$$V_t = \left[(1-\beta) C_t^{1-\frac{1}{\psi}} + \beta \left(\mathbb{E}_t \left[V_{t+1}^{1-\gamma} \right] \right)^{\frac{1-\frac{1}{\psi}}{1-\gamma}} \right]^{\frac{1}{1-\frac{1}{\psi}}} \tag{6}$$

Dove ψ misura l'elasticità intertemporale di sostituzione, γ l'avversione al rischio e β il fattore di sconto intertemporale.

Questa formulazione consente di modellare un agente che, pur avendo una certa flessibilità nello spostare consumo tra periodi, può essere al tempo stesso fortemente avverso a *shock* estremi. L'elemento "ricorsivo" si traduce nella dipendenza dell'utilità presente dalle aspettative sull'utilità futura, creando un legame dinamico tra scelte correnti e condizioni prospettiche.

L'innovazione metodologica di Duffie ed Epstein si rivela particolarmente rilevante nell'analisi di rischi rari e persistenti: separando γ da ψ, diventa possibile costruire modelli nei quali la risposta dell'agente agli *shock* estremi non è vincolata dalla sola propensione a sostituire consumo intertemporale. In tal modo, l'approccio SDU fornisce una cornice flessibile e più aderente alle evidenze empiriche, capace di catturare sia l'avversione al rischio legata alla possibilità di eventi catastrofici, sia le preferenze riguardo alla distribuzione temporale del consumo.

Questi tre contributi teorici, pur sviluppati in contesti differenti, convergono nel fornire la base analitica necessaria per modellare formalmente i rischi climatici e di transizione, consentendo di spiegare premi al rischio elevati e instabilità dei mercati.

2.3 Evidenze empiriche sui rendimenti di lungo periodo

A seguito degli studi teorici in materia di disastri rari, l'evoluzione della letteratura ha esteso il paradigma di quest'ultimi alla dimensione ambientale, riconoscendo il cambiamento climatico come una nuova fonte di rischio sistemico per i mercati finanziari. Due contributi risultano fondamentali in questa direzione: lo studio di Bansal, Kiku e Ochoa (2016) e quello di Dietz, Gollier e Kessler (2018).

Bansal, Kiku e Ochoa (2016) partono dal quadro dei rischi di lungo periodo (*long-run risks*), secondo il quale i premi al rischio riflettono non solo le fluttuazioni cicliche ma anche le aspettative di crescita di lungo periodo. In questo contesto, gli autori introducono la variabile climatica come fattore che influisce permanentemente sulla crescita. In particolare, un aumento della temperatura globale tende a ridurre la produttività e i consumi futuri, incidendo negativamente sul valore atteso degli *asset*: ciò avviene perché le variazioni climatiche deprimono le aspettative di crescita di lungo periodo, che costituiscono un canale cruciale nella determinazione dei prezzi delle attività finanziarie. La relazione viene formalizzata stimando esposizioni (beta) dei portafogli azionari alle variazioni di temperatura di lungo termine. I risultati mostrano che i portafogli statunitensi hanno un'esposizione negativa al rischio climatico. Questa evidenza emerge dall'estensione del modello CAPM con l'aggiunta di un fattore climatico, formalizzata come:

$$R_{i,t} - R_{f,t} = \alpha_i + \beta_{i,M}(R_{M,t} - R_{f,t}) + \beta_{i,T}\Delta T_t + \varepsilon_{i.t} \qquad (7)$$

dove $\beta_{i,T} < 0$ indica che i rendimenti dei portafogli si riducono al crescere della temperatura. Ciò implica che il cambiamento climatico, oltre a essere un problema ambientale, è già incorporato nei premi al rischio dei mercati azionari.

Un ulteriore passo è rappresentato dall'introduzione formale del concetto di beta climatico proposto da Dietz, Gollier e Kessler (2018). Richiamando l'analogia con il beta del CAPM tradizionale, che misura la sensibilità del rendimento di un titolo rispetto al rendimento del mercato complessivo, il beta climatico cattura invece la sensibilità dei rendimenti agli *shock* nei consumi aggregati derivanti dal cambiamento climatico. Nel CAPM classico il rendimento atteso è: $\mathbb{E}[R_i] - R_f = \beta_i\big(\mathbb{E}[R_M] - R_f\big)$, dove il coefficiente β_i misura la sensibilità del rendimento del titolo rispetto al rendimento del portafoglio di mercato, ed è formalmente definito come:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_M)}{Var(R_M)} \qquad (8a)$$

Il beta climatico estende la logica sopra richiamata, sostituendo al mercato il fattore climatico, che cattura l'impatto dei cambiamenti climatici sui consumi aggregati. In tal caso, la sensibilità di un titolo agli *shock* climatici è data da:

$$\beta_i^C = \frac{Cov\,(R_i, C)}{Var\,(C)} \tag{8b}$$

dove C rappresenta l'impatto dei suddetti cambiamenti sui consumi aggregati. Un valore positivo di β_i^C implica che il rendimento del titolo peggiora in concomitanza con *shock* climatici avversi, rendendo il titolo rischioso e meritevole di un premio più elevato. Viceversa, un valore negativo identifica *asset* che offrono copertura contro tali *shock*.

Questo approccio assume importanza perché, da un lato, mostra che il rischio climatico può essere trattato come un rischio sistematico endogeno, analogo a quello di mercato, e quindi rilevante ai fini della determinazione dei rendimenti, e dall'altro, suggerisce che il costo del capitale dipenderà dall'esposizione climatica: le imprese ad alta intensità di carbonio (*brown*) dovranno offrire rendimenti maggiori, mentre quelle più resilienti o impegnate nella transizione energetica (*green*) beneficeranno di un costo del capitale inferiore.

Gli studi di Bansal, Kiku e Ochoa (2016) e Dietz, Gollier e Kessler (2018) mostrano dunque come il cambiamento climatico sia già quantificabile nei rendimenti di mercato: da un lato attraverso esposizioni azionarie di lungo periodo negative, dall'altro mediante la formalizzazione del beta climatico come fattore sistematico. Il risultato consiste nell'evidenziare un primo nesso empirico tra cambiamento climatico e costo del capitale.

2.4 Rischi di coda e carbon premium nei mercati finanziari

La rilevanza dei rischi climatici per i mercati finanziari non si esaurisce nella costruzione di modelli teorici, ma trova conferma anche in un numero crescente di contributi empirici che documentano come tali rischi siano già incorporati nei prezzi degli *asset*. Due studi in particolare hanno assunto un ruolo centrale nel dibattito: Ilhan, Sautner e Vilkov (2020) e Bolton e Kacperczyk (2021).

Il lavoro di Ilhan, Sautner e Vilkov (2020) introduce il concetto di *carbon tail risk*, ossia il rischio che eventi estremi legati al cambiamento climatico possano generare perdite eccezionalmente ampie per le imprese ad alte emissioni di carbonio.

L'idea centrale è che l'incertezza regolatoria sul clima (*climate policy uncertainty*) renda più costosa la protezione contro eventi estremi (*tail events*) per le imprese più esposte. Per misurare questo fenomeno, gli autori si avvalgono dei mercati delle opzioni, che forniscono informazioni ricche e in tempo reale sulle aspettative degli investitori riguardo alla distribuzione dei rendimenti futuri. In particolare, utilizzano tre indicatori: *(i)* lo *SlopeD*, che cattura la pendenza

della volatilità implicita sul lato negativo della distribuzione, riflettendo la percezione di probabilità di forti ribassi; *(ii)* la *MFIS (Model-Free Implied Skewness)*, che misura l'asimmetria attesa della distribuzione dei rendimenti e quindi la possibilità di perdite di coda; e *(iii)* il *VRP (Variance Risk Premium)*, cioè il premio richiesto dagli investitori per assicurarsi contro l'incertezza sulla varianza dei rendimenti, dato dalla differenza tra volatilità implicita e volatilità realizzata.

I risultati mostrano che il costo di copertura contro i rischi di coda è significativamente più alto per le imprese con maggior intensità di emissioni. Inoltre, questo premio aumenta nei periodi in cui cresce l'attenzione pubblica verso il cambiamento climatico (ad esempio in seguito a conferenze internazionali o disastri naturali), mentre si riduce quando l'incertezza regolatoria diminuisce.

Un secondo filone empirico è rappresentato dallo studio di Bolton e Kacperczyk (2021), i quali analizzano l'impatto delle emissioni di CO_2 sulla sezione trasversale dei rendimenti azionari statunitensi. Utilizzando dati su emissioni dirette (*Scope 1*) e, in parte, indirette (*Scope 2*) per un ampio campione di imprese nel periodo 2005–2017, gli autori documentano come i titoli delle società con emissioni più elevate generino rendimenti mediamente superiori, anche controllando per fattori noti come dimensione, *book-to-market* e profittabilità inattesa. In termini di regressione lineare:

$$R_{i,t} = \alpha + \beta_1 CarbonEmissions + \beta_2 Controls_i + \varepsilon_{i,t}, \text{ con } \beta_1 > 0 \qquad (9)$$

a conferma dell'esistenza di un *"carbon premium"*, ossia il rendimento richiesto dagli investitori a compensazione del rischio associato alle emissioni e alle politiche di transizione climatica.

Questo risultato è interpretabile in due modi. Da un lato, riflette la compensazione richiesta dagli investitori per detenere *asset* esposti a rischi climatici e regolatori maggiori, in linea con il concetto di beta climatico. Dall'altro, può essere letto come una penalizzazione implicita: poiché molti investitori istituzionali adottano strategie di esclusione nei confronti delle imprese più inquinanti, i prezzi di questi titoli risultano compressi e i rendimenti attesi conseguentemente più elevati.

Gli autori mostrano inoltre che il *carbon premium* è particolarmente marcato nei settori maggiormente esposti a rischi normativi e ambientali, suggerendo che i mercati finanziari incorporano il rischio climatico non solo in termini di probabilità di eventi estremi, ma anche attraverso le politiche e le pressioni regolatorie.

Si può dunque concludere che i due contributi empirici delineano prospettive tra loro complementari. Da un lato, i mercati delle opzioni evidenziano un costo più elevato di copertura

contro le perdite estreme delle imprese ad alta intensità di carbonio (Ilhan, Sautner & Vilkov, 2020); dall'altro, i mercati azionari documentano rendimenti medi superiori per le stesse imprese, a conferma dell'esistenza di un *carbon premium* (Bolton & Kacperczyk, 2021). Nel complesso, tali evidenze convergono nell'indicare che le attività maggiormente inquinanti sono soggette a un crescente onere finanziario, configurandosi come una penalizzazione strutturalmente incorporata nei meccanismi di valutazione del mercato.

2.5 Implicazioni macro-finanziarie: tasso naturale di interesse e dinamica dei prezzi

L'attenzione crescente verso i rischi climatici ha favorito lo sviluppo di una letteratura che ne indaga non soltanto gli effetti microeconomici (come visto nei paragrafi 2.2 e 2.3 che precedono), ossia sulle valutazioni di singoli *asset*, ma anche le conseguenze di ordine macro-finanziario, rivelando come il cambiamento climatico sia in grado di incidere su variabili aggregate fondamentali per la conduzione della politica monetaria. Due contributi risultano particolarmente significativi in questa prospettiva: lo studio pubblicato dalla Banca Centrale Europea (2021) e l'analisi proposta da Schnabel (2021).

Il documento fornito dalla BCE (2021) analizza l'impatto del cambiamento climatico sul tasso naturale di interesse (r*), definito come il tasso reale che equilibra risparmio e investimento in un contesto privo di pressioni inflazionistiche. L'analisi mostra che i rischi climatici, sia fisici sia di transizione, tendono ad aumentare la propensione al risparmio precauzionale e a ridurre la crescita potenziale dell'economia, determinando una riduzione persistente del tasso naturale.

Un r* più basso restringe i margini di manovra della politica monetaria, aumentando la probabilità che i tassi ufficiali si avvicinino al limite inferiore effettivo. Invero, in scenari caratterizzati da transizione disordinata o da *shock* climatici particolarmente intensi, la capacità della Banca Centrale di stimolare la domanda e contrastare le recessioni risulta significativamente compromessa, accrescendo la vulnerabilità complessiva del sistema economico-finanziario dell'area euro.

A questa prospettiva si affianca l'analisi di Schnabel (2021), membro del Comitato esecutivo della BCE, che presenta un'analisi concettuale sul legame tra cambiamento climatico, transizione energetica e dinamica dei prezzi. L'idea chiave è che i rischi ambientali esercitino un impatto diretto e strutturale sull'inflazione, dando origine a tre nuove forme di pressione.

(i) Climateflation: riguarda gli eventi climatici estremi (alluvioni, siccità, ondate di calore) che riducono l'offerta di beni agricoli e industriali, causando *shock* dal lato dell'offerta e, di conseguenza, un aumento dei prezzi;

(ii) *Fossilflation*: evidenzia la dipendenza dai combustibili fossili, che rende l'economia vulnerabile a volatilità e *shock* geopolitici legati al petrolio e al gas; la scarsità o la speculazione sui mercati si riflette direttamente sull'inflazione

(iii) *Greenflation*: riflette i costi della transizione economica verso tecnologie pulite e le conseguenti pressioni inflazionistiche dovute a vincoli di offerta.

Secondo Schnabel, queste forme inflattive hanno natura diversa rispetto agli *shock* tradizionali: non sono transitorie né cicliche, ma derivano da trasformazioni strutturali di lungo periodo.

Ciò implica che le banche centrali non possono più limitarsi a interpretare l'inflazione come fenomeno temporaneo da correggere con strumenti *standard*: il rischio climatico entra direttamente nella formazione dei prezzi e condiziona la capacità delle istituzioni monetarie di perseguire la stabilità.

Alla luce di quanto esposto, Schnabel sottolinea la necessità di aggiornare i modelli di analisi e gli strumenti della politica monetaria, riconoscendo che il cambiamento climatico influenza simultaneamente l'andamento degli attivi reali e la dinamica dei prezzi. L'intervento segna così un cambio di paradigma: integrare il rischio climatico non come variabile esterna, ma come determinante endogeno della stabilità macro-finanziaria ed elemento imprescindibile per l'efficacia della politica monetaria.

Da quanto discusso si evince che queste analisi mostrano come il cambiamento climatico debba essere considerato non soltanto nella sua dimensione ambientale, ma anche come determinante strutturale dei principali equilibri macro-finanziari. L'impatto sui tassi di interesse naturali e sulle dinamiche inflazionistiche evidenzia la necessità di integrare stabilmente il rischio climatico nei modelli di riferimento delle banche centrali, affinché esso sia trattato come una variabile endogena e persistente del sistema economico.

2.6 Allocazione del capitale, mercati del credito e ruolo delle istituzioni

Ai fini di completezza, vale la pena osservare come, negli ultimi anni, la letteratura ha ulteriormente ampliato l'analisi dei rischi climatici nei mercati finanziari, sviluppando estensioni che toccano: *(i)* la diversificazione dei portafogli, *(ii)* i rischi di transizione e *(iii)* la solidità dei mercati del credito. Queste componenti, pur muovendosi in direzioni differenti, condividono un filo comune, vale a dire l'integrazione dei rischi climatici nei meccanismi di determinazione dei prezzi degli *asset*.

Un primo filone particolarmente rilevante della letteratura recente ha posto in relazione la teoria della diversificazione dei portafogli con i vincoli derivanti dall'azione climatica. Hambel,

Kraft e van der Ploeg (2024) mostrano come, in un contesto di equilibrio finanziario generale, l'ottimizzazione dei portafogli non possa più essere concepita esclusivamente in termini di *trade-off* rischio-rendimento. La crescente probabilità di *shock* climatici estremi introduce infatti una componente addizionale nella funzione obiettivo degli investitori, la quale deve incorporare la disutilità associata all'intensità dei disastri ambientali. Da ciò deriva che gli *asset* ad alta intensità di carbonio risultano sistematicamente penalizzati, poiché più vulnerabili tanto ai rischi fisici quanto a quelli regolatori, orientando così le scelte di portafoglio verso una progressiva decarbonizzazione.

Successivamente, Hambel e van der Ploeg (2025) analizzano il ruolo del rischio di transizione politica, mostrando come la transizione normativa futura – anche in assenza di politiche immediate – si rifletta da subito nei prezzi degli *asset*, traducendosi in rendimenti attesi più elevati per le attività inquinanti e in una riduzione del tasso privo di rischio per effetto del risparmio precauzionale. L'evidenza è coerente con la scomposizione proposta da Karydas e Xepapadeas (2022), confermando che la transizione normativa contribuisce alla formazione di un *carbon premium* e orienta l'allocazione del capitale verso settori meno esposti.

Un secondo filone si concentra, invece, sugli effetti del rischio climatico sui mercati del credito. Trinh et al. (2024), attraverso un'analisi empirica condotta su un ampio campione di imprese europee, documentano come l'esposizione ai rischi fisici e di transizione sia sistematicamente associata a *credit spread* più elevati. In altri termini, le imprese che operano in settori maggiormente vulnerabili al cambiamento climatico o alla regolamentazione ambientale, devono corrispondere un rendimento più alto ai finanziatori, a compensazione del maggior rischio da quest'ultimi percepito. A riguardo, l'effetto risulta particolarmente marcato nei paesi caratterizzati da mercati finanziari meno sviluppati, dove la capacità di assorbire gli *shock* è più limitata e il costo del capitale riflette più direttamente le vulnerabilità ambientali. Questa evidenza sottolinea come il rischio climatico non sia soltanto un fattore che influenza la volatilità dei rendimenti azionari, ma costituisca una variabile strutturale capace di incidere sulle condizioni di accesso al credito e, quindi, sugli investimenti produttivi.

In una prospettiva complementare, Boungou e Urom (2023) analizzano il settore bancario, mostrando che rischi climatici si trasmettono anche attraverso i mercati finanziari. L'evidenza empirica indica che *shock* climatici estremi, così come i rischi legati alla transizione energetica, tendono a ridurre i rendimenti azionari delle banche maggiormente esposte. Ciò implica che il rischio climatico non solo accresce la fragilità delle imprese debitrici, ma si riflette anche sulla solidità degli intermediari finanziari, i quali, detenendo esposizioni rilevanti verso settori ad alta intensità carbonica, risultano maggiormente vulnerabili.

Nel loro insieme, questi contributi mettono in luce una dinamica di rilievo sistemico: il cambiamento climatico agisce come un moltiplicatore di rischi lungo il canale creditizio, aumentando i costi di finanziamento per le imprese e riducendo la stabilità del sistema bancario. Ne emerge un quadro in cui la sostenibilità ambientale incide direttamente sulla resilienza macro-finanziaria, influenzando costi di finanziamento e stabilità bancaria.

In tale prospettiva si colloca anche il contributo di Campiglio, Dietz e Venmans (2022), i quali sottolineano come i rischi climatici pongano una sfida diretta alla politica monetaria e alla stabilità finanziaria. Le banche centrali non possono più limitarsi agli strumenti tradizionali, ma devono integrare i criteri climatici nella valutazione dei rischi e nelle proprie strategie operative. L'aspetto cruciale riguarda i rischi di transizione: la decarbonizzazione non genera soltanto benefici ambientali, ma produce *shock* economici legati all'inerzia del capitale *brown* e ai costi di adeguamento. In questa prospettiva, le misure regolamentari appaiono endogene ai mercati finanziari, incidendo direttamente sulla formazione dei prezzi degli *asset* e sulla trasmissione della politica monetaria. Tale impostazione risulta coerente con il quadro di Karydas e Xepapadeas (2022), in cui il rischio di transizione è formalizzato come fattore sistemico che interagisce con il rischio climatico fisico.

Da ultimo, un contributo utile a collocare in prospettiva la letteratura analizzata è offerto da Zhai, Zhang e Xu (2024), che attraverso un'analisi bibliometrica mappano in maniera sistematica l'evoluzione degli studi sul rapporto tra cambiamento climatico e mercati finanziari. Gli autori individuano cinque linee di ricerca principali: *(i)* la valutazione dei rischi climatici; *(ii)* la quantificazione delle perdite economiche associate; *(iii)* la progettazione di strumenti finanziari innovativi, come *green bonds*, *green insurance* e *green securities*; *(iv)* l'adeguamento delle politiche finanziarie esistenti; e *(v)* lo sviluppo di modelli sempre più accurati per misurare e prevedere l'impatto dei rischi climatici. Questa sistematizzazione non ha soltanto valore descrittivo, ma indica anche le direzioni verso cui la ricerca futura potrà contribuire a una più completa integrazione tra finanza e sostenibilità ambientale.

Nel complesso, questi studi documentano come il rischio climatico condizioni già oggi le condizioni di finanziamento: dalle scelte di portafoglio più prudenti, ai maggiori spread sul credito, fino alla vulnerabilità del settore bancario. Questo implica che il canale creditizio diventa uno snodo cruciale nella trasmissione degli shock climatici all'economia reale.

2.7 Conclusioni

L'analisi svolta in questo Capitolo ha permesso di ricostruire in modo sistematico come la letteratura abbia progressivamente incorporato il rischio climatico nei modelli di *asset pricing*, nei mercati del credito e nelle dinamiche macro-finanziarie. Dai contributi teorici sui disastri rari e sulle preferenze ricorsive, fino agli studi empirici sugli *spread*, sul settore bancario e sulla politica monetaria, emerge una convergenza nell'evidenziare che i rischi ambientali non costituiscono variabili esogene, ma fattori strutturali che incidono sui rendimenti attesi, sul costo del capitale e sulla stabilità del sistema finanziario. In questa prospettiva, il cambiamento climatico si configura come una determinante endogena dei mercati, richiedendo un ripensamento delle tradizionali cornici analitiche della finanza.

CAPITOLO III

ANALISI CRITICA DELLA LETTERATURA

3.1 Premessa al dibattito critico

Alla luce di quanto emerso dall'esame dei principali contributi teorici ed empirici (*cfr.* Capitolo II), appare dunque necessario interrogarsi non solo sui progressi compiuti con riferimento all'influenza del cambiamento climatico sui mercati finanziari, ma anche sui limiti e sulle divergenze che caratterizzano la letteratura analizzata: è in questa prospettiva che si colloca il presente Capitolo, dedicato a un'analisi critica volta a mettere in luce i punti di forza e le fragilità delle ricerche oggetto di rassegna al Capitolo II che precede.

Come si ha avuto modo di apprezzare, la crescente attenzione rivolta al rischio climatico in ambito finanziario riflette l'urgenza di integrare variabili ambientali in modelli nati per contesti economici molto diversi. Da un lato, tale spinta ha favorito l'emergere di approcci più attenti alla realtà contemporanea; dall'altro, ha generato una pluralità di metodologie e definizioni non sempre facilmente confrontabili.

In questo quadro, risulta necessario distinguere i risultati ormai consolidati da quelli ancora controversi. L'analisi critica permette infatti di chiarire quali contributi abbiano valore duraturo e quali richiedano ulteriori verifiche o approfondimenti.

3.2 Punti di forza della letteratura

La letteratura oggetto di analisi, come visto, ha introdotto taluni strumenti che hanno reso possibile trattare il rischio climatico con gli stessi criteri analitici impiegati in finanza. La modellizzazione di *shock* ambientali come processi stocastici, e in particolare l'idea che la loro intensità possa variare nel tempo, ha rappresentato un salto di qualità rispetto alla rigidità dei modelli classici (come, ad esempio, il *Capital Asset Pricing Model*, sul punto *cfr.* il Capitolo II che precede). Tale impostazione consente infatti di spiegare fenomeni osservati nei mercati finanziari, come la persistenza della volatilità anche in assenza di eventi estremi, e di restituire un quadro più aderente alla natura ciclica e incerta del rischio sistemico.

Accanto a questa innovazione teorica, si colloca il tentativo di costruire un ponte con l'evidenza empirica. Concetti come beta climatico e *carbon premium* hanno avuto la funzione di tradurre il rischio climatico in variabili osservabili, aprendo la strada a verifiche statistiche e a misurazioni concrete. Ciò ha permesso di avvicinare un tema spesso percepito come astratto alle esigenze degli investitori e dei *policy maker*, contribuendo a spostare il dibattito sul terreno operativo. Pur non privi di limiti, questi indicatori hanno reso possibile collegare direttamente

le emissioni di carbonio, le politiche di transizione e l'andamento dei rendimenti finanziari, trasformando intuizioni teoriche in strumenti di analisi concreta.

Un ulteriore contributo di rilievo è rappresentato dalla capacità di questa letteratura di stimolare un dialogo interdisciplinare. L'incontro tra economia finanziaria, macroeconomia e studi sul cambiamento climatico ha ampliato il raggio dell'analisi, superando l'idea di mercati isolati e restituendo una visione più complessa e realistica delle interazioni tra finanza e ambiente. In questo senso, il valore aggiunto non risiede unicamente nei modelli proposti, ma anche nella possibilità di sviluppare un terreno comune da cui scaturiscono nuove prospettive di ricerca interdisciplinare.

Nel complesso, i punti di forza messi in luce dalla letteratura mostrano come siano già emersi strumenti teorici ed empirici di rilievo, rappresentando un avanzamento significativo verso una comprensione più realistica dei rischi che il cambiamento climatico pone ai mercati finanziari.

3.3 Criticità teoriche ed empiriche

3.3.1 L'eterogeneità di definizione del rischio climatico

Uno degli aspetti più complessi nello studio del rischio climatico riguarda la varietà di prospettive con cui esso viene concettualizzato. Non esiste, infatti, una definizione univoca, e le diverse impostazioni teoriche portano a risultati non sempre immediatamente confrontabili, né facilmente integrabili in un quadro comune.

Una prima linea di ricerca (*cfr.* paragrafo 2.2 *supra*) considera il rischio climatico come uno *shock* macroeconomico di lungo periodo, capace di incidere sulle prospettive di crescita e sui consumi futuri. In questa visione, adottata ad esempio da Karydas e Xepapadeas (2022), il cambiamento climatico opera principalmente attraverso la riduzione della produttività e del benessere collettivo, trasmettendosi ai mercati finanziari come componente aggiuntiva del rischio sistemico.

L'aspetto positivo di questo approccio è la sua capacità di collocare il rischio climatico all'interno di un impianto teorico ampio e coerente, che mette in relazione dinamiche ambientali, crescita economica e valutazione degli *asset*. Tuttavia, la natura fortemente aggregata della variabile climatica rischia di ridurre la precisione empirica: legare direttamente gli andamenti macro al *pricing* dei titoli risulta difficile, perché le catene di trasmissione sono indirette e poco osservabili nei dati. Questa distanza tra livello macroeconomico e osservazioni di mercato solleva inoltre una questione metodologica cruciale: la difficoltà di validare empiricamente i modelli di lungo periodo. Se infatti le previsioni macroeconomiche richiedono orizzonti temporali molto estesi, i dati finanziari disponibili operano su scale temporali più

brevi, caratterizzate da fluttuazioni di breve periodo legate a fattori specifici dei mercati e da una volatilità che può oscurare le tendenze climatiche sottostanti. Il rischio è quindi quello di costruire teorie coerenti ma difficili da tradurre in strumenti operativi, con un divario tra la rilevanza concettuale del modello e la sua effettiva utilità per investitori e *policy maker*.

Una seconda prospettiva (*cfr.* paragrafo 2.3 *supra*), rappresentata dal lavoro di Dietz, Gollier e Kessler (2018), concepisce il rischio climatico come fattore sistematico di *asset pricing*, ossia come una variabile in grado di incidere direttamente sui rendimenti finanziari al pari di altre fonti di rischio già riconosciute in letteratura. In tale visione, il cambiamento climatico non viene trattato come uno *shock* esogeno di lungo periodo, ma come un elemento strutturale che entra nei modelli finanziari attraverso il cosiddetto beta climatico. L'introduzione di questa variabile rappresenta un tentativo di estendere modelli consolidati senza alterarne la struttura di base, garantendo così una certa continuità metodologica. Un pregio ulteriore della concezione di rischio climatico quale fattore sistematico di *asset pricing* risiede nella possibilità di formulare ipotesi verificabili empiricamente, ponendo le basi per test statistici e applicazioni concrete.

Tuttavia, la natura stessa del beta climatico solleva questioni concettuali rilevanti. La sua costruzione presuppone la possibilità di isolare il rischio climatico rispetto ad altre fonti di rischio sistemico, condizione che risulta difficilmente soddisfatta nella realtà dei mercati. Inoltre, in molte applicazioni risulta complesso distinguere in maniera netta tra rischio climatico fisico (legato ad eventi estremi e disastri naturali) e rischio di transizione (connesso a mutamenti regolatori, tecnologici o di *policy*).

Ne deriva che il beta climatico, pur innovativo e teoricamente promettente, tende ad inglobare dimensioni eterogenee del fenomeno, con il conseguente rischio di ambiguità interpretativa.

Infine, una terza impostazione (*cfr.* paragrafo 2.4 *supra*), sviluppata da Bolton e Kacperczyk (2021), interpreta il rischio climatico come caratteristica micro osservabile delle imprese, misurata attraverso i livelli di emissioni di carbonio. In questo caso, il legame con i mercati è diretto: le imprese con maggiori emissioni vengono percepite come più rischiose e pertanto presentano rendimenti attesi più elevati, generando il cosiddetto *carbon premium*. Il principale vantaggio risiede nella concretezza dell'indicatore, che traduce il rischio climatico in una variabile misurabile e comparabile tra imprese e settori, in contrasto con approcci macro o sistemici. Tuttavia, questa impostazione rischia di trascurare dimensioni più ampie del fenomeno, quali i rischi macroeconomici di lungo periodo e gli effetti sistemici che superano la scala aziendale.

In definitiva, la pluralità di approcci riflette la ricchezza del dibattito, ma allo stesso tempo ostacola la costruzione di un quadro interpretativo coerente, riducendo l'impatto operativo dei contributi e rendendo più complesso il dialogo tra teoria ed evidenza empirica.

3.3.2 Ulteriori criticità riscontrabili nella letteratura

Accanto ai progressi e alle criticità legate all'eterogeneità di definizione di rischio climatico evidenziati nei paragrafi che precedono, la letteratura presenta ulteriori limiti che meritano di essere approfonditi. Non si tratta di elementi che ne annullano i risultati, ma di aspetti che riducono la portata delle conclusioni e che impongono cautela nell'interpretazione.

Un primo nodo riguarda la struttura delle ipotesi teoriche. Nel modello di Karydas e Xepapadeas (2022), la frequenza degli *shock* climatici è modellata come funzione lineare della temperatura. Questa specificazione è utile per mantenere semplicità analitica e rigore formale, ma appare riduttiva rispetto alla natura dei fenomeni ambientali. In realtà, il cambiamento climatico è caratterizzato da effetti non lineari, con soglie critiche oltre le quali l'impatto economico può crescere in modo sproporzionato. La linearità ipotizzata rischia dunque di sottovalutare scenari in cui piccoli incrementi di temperatura determinano impatti economici sproporzionati, difficili da prevedere e gestire nei modelli lineari**.** Da questo punto di vista, la difficoltà principale non è soltanto teorica, ma riguarda anche la calibrazione dei modelli: assumere linearità nelle relazioni tra temperatura ed effetti economici può condurre a una sottostima sistematica dei rischi estremi, esattamente quelli che i mercati finanziari faticano maggiormente a incorporare. La questione è rilevante perché mette in discussione la capacità dei modelli lineari di fornire una rappresentazione attendibile degli scenari futuri.

Un ulteriore limite riguarda gli strumenti sviluppati per tradurre il rischio climatico in variabili operative, in particolare il *carbon premium* e il beta climatico. Entrambi rappresentano innovazioni concettualmente rilevanti, ma le applicazioni empiriche mostrano fragilità che ne riducono la solidità come parametri di riferimento.

Nel caso del *carbon premium* (Bolton e Kacperczyk, 2021), come si è già avuto modo di apprezzare (*cfr.* paragrafo 2.4 *supra*), l'idea è che gli investitori richiedano un rendimento aggiuntivo per detenere titoli di imprese ad alta intensità di carbonio. Tuttavia, il differenziale osservato potrebbe riflettere anche caratteristiche settoriali o cicliche, oltre che l'effettiva esposizione climatica, rendendo incerta l'interpretazione del fenomeno.

Analogamente, il beta climatico proposto da Dietz, Gollier e Kessler (2018) mira a trattare il cambiamento climatico come un fattore sistematico di *asset pricing* (sul punto *cfr.* paragrafo 2.3 che precede). Le stime empiriche, però, risultano altamente sensibili ai dati e alle

metodologie adottate, il che ne limita la validità generalizzabile e lo relega, per ora, a una dimensione sperimentale.

In entrambi i casi, la criticità comune consiste nella difficoltà di isolare l'effetto climatico da altre fonti di rischio: strumenti concettualmente promettenti, ma ancora troppo instabili per un impiego operativo.

I limiti non si esauriscono tuttavia negli indicatori micro come beta climatico o *carbon premium*. Anche i modelli di portafoglio che integrano il rischio climatico, come quelli proposti da Hambel, Kraft e van der Ploeg (2024), sollevano questioni rilevanti e ancora aperte. Come già evidenziato (*cfr.* paragrafo 2.6 *supra*), tali modelli rappresentano un passo in avanti importante, poiché mostrano come l'inclusione di variabili climatiche possa influenzare in modo significativo la composizione ottimale dei portafogli e i *trade-off* tra rischio e rendimento. Tuttavia, questi modelli raggiungono tali risultati partendo da ipotesi fortemente semplificate riguardo alle preferenze e ai vincoli degli investitori. In molti casi, si assume un decisore rappresentativo che massimizza una funzione di utilità standard, con orizzonti temporali uniformi e condizioni di mercato relativamente stabili. Una tale astrazione, pur utile per derivare risultati teorici chiari, appare distante dalla realtà dei mercati finanziari, dove gli operatori presentano caratteristiche eterogenee. Trascurare questa eterogeneità riduce la capacità predittiva dei modelli e rischia di fornire indicazioni operative parziali.

Da ultimo, l'utilità operativa dei modelli di Hambel, Kraft e van der Ploeg (2024) - che hanno il merito di evidenziare in modo inequivocabile come il rischio climatico costituisca una variabile non trascurabile nelle decisioni di portafoglio - risulta ancora limitata, in quanto fondata su ipotesi semplificate circa le preferenze e i vincoli degli investitori.

Nel complesso, questi limiti non ridimensionano i progressi compiuti, ma mostrano come la letteratura, pur avendo introdotto strumenti innovativi e rilevanti, debba ancora affrontare nodi teorici ed empirici significativi prima di poter giungere a un quadro interpretativo condiviso e stabile.

3.4 Valutazione complessiva e prospettive

Il quadro che emerge dall'analisi della letteratura evidenzia progressi significativi, ma anche elementi che invitano a cautela. I modelli proposti hanno mostrato come il rischio climatico possa essere integrato nei tradizionali schemi di valutazione finanziaria, offrendo strumenti utili a coglierne la rilevanza. Allo stesso tempo, rimangono aperti nodi teorici ed empirici che ne limitano la piena applicabilità.

Sul piano teorico, la varietà di impostazioni ha favorito un arricchimento del dibattito, ma ha anche reso più difficile individuare un linguaggio comune. Sul versante empirico, i risultati disponibili hanno il pregio di tradurre il rischio climatico in misure osservabili, pur lasciando irrisolti problemi di identificazione e comparabilità.

Nel complesso, la letteratura ha compiuto un passo importante nel riconoscere la dimensione finanziaria del cambiamento climatico, ma non ha ancora raggiunto una sistematizzazione capace di fornire risposte univoche. La sfida dei prossimi sviluppi sarà proprio quella di ridurre la frammentarietà attuale, coniugando rigore teorico ed evidenza empirica per offrire strumenti più solidi a investitori e decisori pubblici.

CAPITOLO IV

CONCLUSIONI

In questo elaborato ci siamo occupati del tema del rischio climatico nei modelli di *asset pricing*, con l'obiettivo di analizzare come la letteratura recente abbia cercato di integrare una variabile complessa e di crescente rilevanza in strumenti nati per descrivere dinamiche economiche tradizionali. Abbiamo mostrato come il cambiamento climatico non rappresenti soltanto una questione ambientale, ma si configuri come una dimensione capace di incidere in profondità sulla stabilità finanziaria, sulle strategie di investimento e, più in generale, sul funzionamento dei mercati.

Il percorso seguito si è articolato in tre momenti principali. In primo luogo, abbiamo ripercorso gli sviluppi teorici che hanno esteso il CAPM tradizionale e altri modelli di *asset pricing* per includere gli *shock* rari, i rischi climatici e i costi della transizione. In secondo luogo, abbiamo condotto un'analisi critica della letteratura, volta a mettere in luce tanto i progressi compiuti quanto i nodi ancora irrisolti. Infine, abbiamo cercato di restituire una valutazione complessiva, individuando i contributi più promettenti e le aree che richiedono ulteriori approfondimenti.

La tesi si è quindi proposta di colmare un duplice obiettivo: da un lato, fornire un quadro organico delle principali prospettive teoriche ed empiriche sviluppate finora; dall'altro, valutare criticamente la loro capacità di tradurre il rischio climatico in strumenti operativi utili agli investitori e ai decisori pubblici. In questo senso, non si è trattato soltanto di un'esercitazione di ricognizione bibliografica, ma di un tentativo di interrogare la coerenza, i limiti e le prospettive future di un campo di studio in rapido consolidamento.

Dall'analisi svolta è emersa innanzitutto la constatazione che il rischio climatico non può più essere considerato un tema marginale o confinato alla responsabilità sociale d'impresa. Al contrario, esso rappresenta ormai una dimensione strutturale della finanza contemporanea, in grado di incidere sui rendimenti, sulla volatilità e sul funzionamento dei mercati nel loro complesso (*cfr.* Cap. II)

Uno dei contributi più rilevanti della letteratura è stato quello di aver tradotto una questione apparentemente astratta – il cambiamento climatico – in variabili osservabili e misurabili. Come analizzato nel Capitolo III, il concetto di *beta climatico*, così come quello di *carbon premium*, ha permesso di rendere tangibile ciò che rischiava di restare confinato al piano del discorso politico o etico. In questo modo, la finanza ha acquisito strumenti analitici per integrare il rischio climatico nei processi di valutazione, aprendo nuove prospettive tanto per gli investitori quanto per i regolatori.

Allo stesso tempo, la pluralità di approcci teorici ha arricchito il dibattito, dimostrando che il fenomeno può essere studiato da diverse angolazioni (sul punto *cfr.* paragrafo 3.3). La dimensione macroeconomica, i fattori sistematici e le caratteristiche osservabili delle imprese offrono ciascuno uno spaccato utile e complementare. Questa varietà riflette la complessità del tema e suggerisce che nessuna prospettiva, da sola, sia sufficiente a restituire la portata del rischio climatico.

Infine, un ulteriore aspetto emerso è la spinta interdisciplinare di questo filone di studi. Come discusso nel Capitolo II, l'incontro tra economia finanziaria, macroeconomia e scienze ambientali ha aperto un terreno di ricerca condiviso, mostrando che la finanza non può più essere analizzata come un sistema chiuso ma deve essere compresa in relazione a dinamiche ambientali e sociali più ampie. Questo allargamento di prospettiva costituisce uno dei principali valori aggiunti della letteratura sul rischio climatico.

L'analisi critica svolta ha mostrato come i progressi della letteratura siano significativi, ma al tempo stesso ancora parziali (*cfr.* Capitolo III). I nodi irrisolti non riguardano soltanto la coerenza interna dei modelli, ma hanno anche importati implicazioni sul piano operativo. Come evidenziato nel paragrafo 3.4, la mancanza di una definizione condivisa di rischio climatico e le difficoltà di identificazione empirica rendono complesso il raggiungimento di un consenso metodologico, limitando la possibilità di disporre di strumenti pienamente affidabili per orientare decisioni finanziarie e politiche.

Per gli investitori, ciò si traduce in una maggiore incertezza nella valutazione degli *asset* esposti al rischio climatico: l'assenza di metriche consolidate rende difficile stabilire se i prezzi di mercato incorporino adeguatamente i potenziali costi futuri del cambiamento climatico (*cfr.* paragrafo 3.5). Per i *policy maker*, la diversità di approcci e metodologie rappresenta invece una sfida nella definizione di regolamentazioni coerenti, capaci di bilanciare la tutela della stabilità finanziaria con le esigenze di crescita economica.

Le conseguenze non sono soltanto tecniche, ma di welfare. Una valutazione distorta del rischio climatico può comportare allocazioni inefficienti del capitale, con investimenti insufficienti nella transizione ecologica e una maggiore esposizione ai danni ambientali futuri. Al tempo stesso, la difficoltà di stimare correttamente tali rischi può generare squilibri distributivi, trasferendo i costi sui soggetti economicamente più deboli.

In questo senso, le questioni ancora aperte non vanno intese come meri dettagli metodologici, bensì come aspetti centrali per la costruzione di mercati finanziari più resilienti e inclusivi.

Le considerazioni sviluppate in questo elaborato mostrano come l'integrazione del rischio climatico nei modelli finanziari non sia soltanto una questione tecnica, ma anche un passaggio cruciale per la stabilità dei mercati e per l'orientamento della transizione economica. La letteratura ha aperto prospettive nuove e promettenti, ma non ha ancora raggiunto una sistematizzazione tale da fornire risposte univoche.

Ciò che colpisce, in ultima analisi, è la tensione tra l'urgenza del problema e i limiti della conoscenza attuale. Da un lato, i mercati hanno bisogno immediato di integrare il rischio climatico nelle proprie valutazioni; dall'altro, la ricerca procede con la cautela e i tempi che le sono propri. Questo divario rappresenta, a mio avviso, la sfida più grande: costruire modelli capaci di mantenere rigore teorico senza rinunciare alla loro utilità pratica.

In questa prospettiva, l'aspetto forse più rilevante che emerge è la necessità di un dialogo più stretto tra mondo accademico e operatori. Solo attraverso un confronto continuo sarà possibile trasformare intuizioni teoriche in strumenti realmente utilizzabili, capaci non solo di misurare il rischio climatico, ma anche di guidare scelte di investimento coerenti con obiettivi di sostenibilità e di equità sociale.

In conclusione, il contributo di questa letteratura va oltre la dimensione strettamente finanziaria: mette in gioco la capacità dei mercati di anticipare i costi del cambiamento climatico e, al tempo stesso, la responsabilità collettiva di distribuire tali costi in modo equo. È in questa intersezione tra rigore scientifico, applicabilità operativa e implicazioni di *welfare* che si giocheranno i prossimi sviluppi, e credo che qui risieda il vero valore di una ricerca che resta ancora aperta, ma imprescindibile.

BIBLIOGRAFIA

Bansal, R., Kiku, D., & Ochoa, M., 2016. *Price of long-run temperature shifts in capital markets*. Technical Report, National Bureau of Economic Research.

Barro, R.J., 2006. *Rare disasters and asset markets in the twentieth century*. *The Quarterly Journal of Economics*, 121(3), 823–866.

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

Boungou, W., & Urom, C., 2023. *Climate change-related risks and bank stock returns*. *Economics Letters*, 224, 111011.

Campiglio, E., Dietz, S., & Venmans, F., 2022. *Optimal climate policy as if the transition matters*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper No. 387.

Dietz, S., Gollier, C., & Kessler, L., 2018. *The climate beta*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 87, 258–274.

Duffie, D., & Epstein, L.G., 1992b. *Stochastic differential utility*. *Econometrica*, 60(2), 353–394.

European Central Bank (ECB), 2021. *Climate change and monetary policy in the euro area*. Technical Report, ECB Strategy Review.

Hambel, C., Kraft, H., & van der Ploeg, F., 2024. *Asset diversification versus climate action*. *International Economic Review*, 65(3), 1323–1355.

Hambel, C., & van der Ploeg, F., 2025. *Policy transition risk, carbon premiums, and asset prices*. *Journal of Monetary Economics*, 103780.

Ilhan, E., Sautner, Z., & Vilkov, G., 2020. *Carbon tail risk*. *The Review of Financial Studies*, 34(3), 1540–1571.

Karydas, C., & Xepapadeas, A., 2022. *Climate change financial risks: Implications for asset pricing and interest rates*. *Journal of Financial Stability*, 63, 101061.

Schnabel, I., 2021. *Climate change and monetary policy*. *Finance & Development*, 58(1).

Trinh, V.Q., Trinh, H.H., Li, T., & Vo, X.V., 2024. *Climate change exposure, financial development, and the cost of debt: Evidence from EU countries*. *Journal of Financial Stability*, 74, 101315.

Wachter, J.A., 2013. *Can time-varying risk of rare disasters explain aggregate stock market volatility? The Journal of Finance*, 68(3), 987–1035.

Zhai, P., Fan, Y., Ji, Q., & Ma, Y.R., 2024. *Climate risks and financial markets: A review of the literature*. *Climate Change Economics*, 15(4), 2440008.