

"Il rischio climatico come rischio sistemico: Impatti sulla stabilità finanziaria di banche e assicurazioni in Europa."

Prof. Domenico Curcio

RELATORE

Prof. Francesco Maria Drudi

CORRELATORE

Gabriele Rullo Matr. 785591

CANDIDATO

Indice

Introduzione.....	3
Capitolo 1: Il cambiamento climatico e il rischio sistemico finanziario.....	7
1.1 Concetti chiave: rischio fisico e rischio di transizione	8
1.2 Impatti del cambiamento climatico sui mercati e sfide per gli attori	13
1.3 Cambiamento climatico e iniziative di regolamentazione nell'Unione Europea ..	23
Capitolo 2: Analisi della letteratura	31
2.1 Approcci teorici allo studio del rischio sistemico finanziario	32
2.2 Modelli e metriche per la misurazione del rischio sistemico	43
2.3 Studi empirici sugli effetti del cambiamento climatico sui mercati finanziari	54
Capitolo 3: Dati e metodologia.....	68
3.1 Dataset	69
3.2 Metodologia	74
Capitolo 4: Analisi empirica.....	79
4.1 Statistiche descrittive e correlazioni degli indici.....	80
4.2 Reazione degli SRMs agli eventi climatici estremi.....	84
4.3 Influenza della performance delle aziende <i>green</i> e <i>brown</i> sul rischio sistemico ..	89
Conclusioni.....	101
Bibliografia.....	110

Introduzione

Negli ultimi anni, il cambiamento climatico è diventato una delle minacce più rilevanti per la stabilità economica e finanziaria globale. Gli impatti diretti e indiretti del riscaldamento globale non solo alterano gli equilibri ambientali, ma si ripercuotono profondamente sulle dinamiche di mercato, mettendo a rischio la solidità di banche, assicurazioni e altri attori finanziari. Questo fenomeno non rappresenta solo una questione ecologica, ma si configura come un vero e proprio rischio sistemico, in grado di generare crisi economiche di ampia portata attraverso diversi canali di trasmissione.

Bolton et al. (2020) sottolineano come il rischio climatico presenti caratteristiche peculiari che lo rendono più complesso rispetto ai rischi tradizionali affrontati dai mercati finanziari. La sua evoluzione è incerta, non lineare e caratterizzata da effetti intersettoriali difficilmente prevedibili. Gli autori descrivono il fenomeno con il termine *green swan*, evidenziando le analogie con i *black swan* di Taleb (2007), eventi imprevedibili con conseguenze catastrofiche. Tuttavia, a differenza di questi ultimi, il rischio climatico non è un'incognita futura, ma una realtà già in atto, i cui effetti sono destinati a intensificarsi nel tempo. Per questa ragione, la sua gestione non può limitarsi a reazioni ex post, ma richiede un approccio strutturato e lungimirante.

Dal punto di vista finanziario, i rischi climatici si suddividono in rischi fisici e rischi di transizione (Curcio et al., 2023). I primi derivano dall'intensificarsi di eventi climatici estremi, come uragani, inondazioni e incendi, che causano danni materiali a infrastrutture, proprietà e attività produttive, riducendo il valore degli asset e aumentando la volatilità nei mercati. I secondi sono legati alle politiche di decarbonizzazione e alle trasformazioni tecnologiche necessarie per ridurre le emissioni di gas serra. Se non gestiti adeguatamente, questi processi possono portare alla svalutazione improvvisa di attività ad alta intensità di carbonio (*stranded assets*), con ripercussioni sui bilanci di imprese e istituzioni finanziarie.

L'impatto del cambiamento climatico sulla stabilità finanziaria si manifesta attraverso molteplici canali di trasmissione. In primo luogo, gli eventi climatici estremi possono ridurre significativamente il valore di proprietà immobiliari, infrastrutture e altri asset, con conseguenze dirette sui bilanci di banche e compagnie assicurative (Curcio et al.,

2023). Un secondo canale riguarda i rischi per la solvibilità delle imprese: le aziende maggiormente esposte agli effetti del cambiamento climatico vedono aumentare il rischio di default, con un conseguente deterioramento della qualità del credito per le istituzioni finanziarie. A ciò si aggiungono gli effetti sui mercati finanziari derivanti dalla crescente attenzione alla sostenibilità: si osserva una progressiva riallocazione del capitale verso asset “verdi”, mentre quelli legati ai combustibili fossili sono soggetti a un progressivo deprezzamento (Monasterolo et al., 2020). Infine, la perdita di valore nei settori più vulnerabili ai rischi climatici può propagarsi all’intero sistema finanziario attraverso le interconnessioni tra banche, assicurazioni e altri intermediari, amplificando l’instabilità sistemica (Battiston et al., 2017). Un altro aspetto critico è la difficoltà di prevedere e quantificare questi effetti nel breve periodo. I modelli di risk management tradizionali, basati su dati storici, non sono in grado di cogliere la complessità delle interazioni tra economia, finanza e cambiamento climatico (Bolton et al., 2020). Questo implica il rischio di sottovalutare le conseguenze di fenomeni che potrebbero manifestarsi in modo improvviso e amplificato, compromettendo la stabilità dell’intero sistema finanziario.

Le istituzioni finanziarie e le autorità di regolamentazione stanno progressivamente integrando il rischio climatico nei loro framework di supervisione. L’European Banking Authority (EBA), la Banca Centrale Europea (BCE) e il Network for Greening the Financial System (NGFS) stanno sviluppando strategie per incorporare i fattori ESG (*Environmental, Social, and Governance*) nei processi di gestione del rischio finanziario, con l’obiettivo di rafforzare la resilienza del sistema e promuovere la transizione ecologica (NGFS, 2019; EBA, 2022). Tuttavia, persistono sfide significative, tra cui la carenza di dati affidabili, la difficoltà di integrare il rischio climatico nei modelli di valutazione e la necessità di un maggiore coordinamento tra le istituzioni finanziarie per garantire una transizione equa e ordinata.

Questa ricerca mira ad analizzare il legame tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario, con particolare attenzione al settore bancario e assicurativo in Europa. La crescente esposizione agli shock climatici solleva interrogativi sulla stabilità finanziaria e sulle misure necessarie per contenerne gli effetti. La tesi si propone di esaminare in che modo i mercati finanziari, le banche e le compagnie assicurative siano

esposti a questi rischi, valutando sia l'impatto diretto degli eventi estremi sia le conseguenze delle politiche di transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

Per rispondere a questa esigenza, la ricerca si focalizzerà su tre interrogativi principali. In primo luogo, si intende indagare quali siano i meccanismi attraverso cui il cambiamento climatico contribuisce alla formazione e alla propagazione del rischio sistemico finanziario. In secondo luogo, verrà analizzato l'impatto degli eventi climatici estremi sui mercati e sulle istituzioni finanziarie europee, con particolare attenzione ai settori bancario e assicurativo. Infine, si esploreranno le implicazioni macroeconomiche e regolatorie derivanti dalla relazione tra cambiamento climatico e rischio sistemico, valutando l'efficacia delle strategie adottate per mitigarne gli effetti.

L'approccio metodologico combina un'analisi teorica con un'indagine empirica, utilizzando strumenti quantitativi per valutare l'esposizione del settore finanziario ai rischi climatici. L'uso di metriche come il ΔCoVaR e il MES consentirà di misurare l'impatto degli shock climatici sulla stabilità finanziaria. L'analisi si baserà su dati relativi agli eventi climatici estremi in Europa e sulla performance degli indici di mercato "verdi" e "marroni", rappresentativi rispettivamente delle aziende impegnate nella transizione ecologica e di quelle ad alta intensità di carbonio.

La struttura della tesi è articolata in quattro capitoli principali. Il primo capitolo introduce il concetto di rischio sistemico finanziario legato al cambiamento climatico, analizzandone i meccanismi di trasmissione e le implicazioni per la stabilità del sistema. Il secondo capitolo presenta una revisione della letteratura, soffermandosi sia sulle teorie del rischio sistemico sia sugli studi empirici che indagano le reazioni dei mercati finanziari agli shock climatici. Il terzo capitolo descrive la metodologia adottata, illustrando i modelli di rischio impiegati e le fonti di dati utilizzate per l'analisi. Il quarto capitolo espone i risultati dell'indagine empirica, con un'attenzione particolare agli effetti degli eventi climatici estremi e alla performance delle imprese classificate come "verdi" e "marroni". Nelle conclusioni si discutono i principali risultati emersi, formulando implicazioni di *policy* e strategie per rafforzare la resilienza del sistema finanziario europeo di fronte ai rischi climatici.

Alla luce di queste considerazioni, il cambiamento climatico deve essere considerato come un fattore rilevante del rischio sistemico finanziario a tutti gli effetti, capace di destabilizzare il sistema bancario e assicurativo europeo e globale. La crescente interconnessione tra finanza e ambiente impone una revisione delle strategie di risk management e la creazione di strumenti normativi adeguati a mitigare gli impatti della crisi climatica.

Questa ricerca si inserisce in un dibattito accademico e istituzionale in continua evoluzione, contribuendo a una maggiore comprensione dei rischi climatici per la stabilità finanziaria. Attraverso un'analisi empirica dettagliata, lo studio esaminerà l'impatto dei rischi climatici sui mercati finanziari europei e sulle istituzioni finanziarie, adottando un approccio multidisciplinare che combina modelli di analisi del rischio sistemico, studi empirici sui mercati e valutazioni delle politiche regolatorie in atto. L'analisi dei dati e delle strategie adottate dalle istituzioni offrirà spunti utili per *policy maker*, regolatori e attori finanziari, con l'obiettivo di individuare le soluzioni più efficaci per mitigare le vulnerabilità del sistema e affrontare una delle sfide più urgenti del XXI secolo.

Capitolo 1: Il cambiamento climatico e il rischio sistemico finanziario

Il cambiamento climatico rappresenta una delle sfide più complesse e urgenti per la stabilità finanziaria globale. Questo capitolo analizza le interazioni tra il cambiamento climatico e il rischio sistemico finanziario, con un focus particolare sul contesto europeo e sul ruolo delle banche e delle assicurazioni.

Nella sezione 1.1, verranno esplorati i concetti fondamentali di rischio fisico e rischio di transizione, le due principali categorie attraverso cui il cambiamento climatico incide sulla stabilità finanziaria.

La sezione 1.2 esaminerà gli impatti del cambiamento climatico sui mercati finanziari e le sfide che questi pongono agli attori economici. Saranno analizzati i meccanismi di trasmissione del rischio climatico al sistema finanziario, evidenziando il modo in cui tali rischi influenzano la valutazione degli asset, la stabilità delle istituzioni finanziarie e le strategie di investimento. Inoltre, verranno approfondite le difficoltà che banche, assicurazioni e altri intermediari devono affrontare nell'adattarsi a un contesto in evoluzione, caratterizzato da una crescente attenzione alla sostenibilità e da un quadro normativo in continua trasformazione.

Nella sezione 1.3 vedremo le iniziative normative e regolatorie messe in atto dall'Unione Europea per integrare i rischi climatici nelle politiche finanziarie. Saranno analizzati i principali strumenti normativi, come la Tassonomia Europea, le linee guida della Banca Centrale Europea e le strategie per la finanza sostenibile, con l'obiettivo di comprendere come il quadro regolatorio possa influenzare la resilienza del sistema finanziario europeo.

Attraverso queste analisi, il capitolo fornirà una visione chiara e strutturata del legame tra cambiamento climatico e rischio finanziario sistemico, evidenziando le sfide e le opportunità per il settore finanziario nell'attuale contesto di transizione ecologica.

1.1 Concetti chiave: rischio fisico e rischio di transizione

I rischi derivanti dal cambiamento climatico possono essere distinti in rischi fisici, legati agli impatti diretti degli eventi climatici estremi e ai cambiamenti gradualmente del clima, e rischi di transizione, connessi alle politiche e ai cambiamenti economici necessari per adattarsi a un'economia a basse emissioni di carbonio.

In questa sezione saranno analizzate in dettaglio le due principali categorie di rischio climatico – fisico e di transizione – facendo riferimento a tre contributi fondamentali della letteratura accademica e istituzionale. Il primo è il rapporto pubblicato dal Financial Stability Board nel 2020, che offre un'analisi approfondita dei meccanismi attraverso cui i rischi climatici si trasmettono e si amplificano all'interno del sistema finanziario globale. Il secondo contributo è rappresentato dal report della Federal Reserve Board del 2021, che esamina le conseguenze del cambiamento climatico sulla stabilità finanziaria e individua le principali vulnerabilità del sistema economico. In seguito, lo studio di Battiston et al. (2017) adotta un approccio basato su stress-test finanziari per valutare l'impatto potenziale delle politiche climatiche sulle istituzioni finanziarie, proponendo un quadro metodologico utile per l'integrazione del rischio climatico nei modelli di analisi sistemica. Attraverso l'integrazione di queste fonti, forniremo un'analisi approfondita dei rischi fisici e di transizione, evidenziando le loro implicazioni per il settore finanziario europeo, con un focus su banche e assicurazioni.

Il Financial Stability Board (FSB) identifica due categorie principali di rischio climatico che impattano il sistema finanziario: rischio fisico e rischio di transizione.

Il rischio fisico è legato agli impatti diretti del cambiamento climatico, inclusi eventi meteorologici estremi (uragani, incendi, inondazioni) e cambiamenti climatici cronici (aumento delle temperature, innalzamento del livello del mare). Questi fenomeni possono causare perdite economiche ingenti, con danni significativi alle infrastrutture, una riduzione della produttività agricola e un deterioramento della qualità degli asset finanziari. Inoltre, il deterioramento del valore degli asset può generare incertezza tra gli investitori, aumentando la volatilità nei mercati finanziari e amplificando le fluttuazioni di mercato. Le imprese e le economie più esposte agli eventi climatici estremi potrebbero incontrare difficoltà nel ripagare i propri debiti, determinando un aumento

del rischio di credito e di mercato per le banche. Infine, gli effetti sistemici sulla stabilità finanziaria potrebbero essere particolarmente pronunciati in alcune economie emergenti, che risultano più vulnerabili agli shock climatici e dispongono di meccanismi di condivisione del rischio meno sviluppati, aggravando ulteriormente le ripercussioni economiche e finanziarie del cambiamento climatico.

Secondo il FSB, la manifestazione di questi rischi potrebbe innescare effetti domino nel settore finanziario, influenzando la solvibilità delle istituzioni e amplificando il rischio di destabilizzazione economica.

Il rischio di transizione è associato alle perdite economiche e finanziarie derivanti dall'adattamento a un'economia a basse emissioni di carbonio. Le principali implicazioni del rischio di transizione riguardano innanzitutto la svalutazione degli asset legati ai combustibili fossili, poiché politiche ambientali più stringenti possono ridurre rapidamente il valore di tali investimenti, rendendoli di fatto *stranded assets* – ossia asset destinati a perdere valore in un'economia a basse emissioni di carbonio. Inoltre, le imprese devono affrontare un incremento significativo dei costi di adeguamento normativo, dovendo conformarsi a regolamentazioni più rigide e adottare tecnologie sostenibili per rimanere competitive. L'incertezza legata alle politiche climatiche può inoltre generare una maggiore volatilità nei mercati finanziari, determinando improvvisi aggiustamenti nei prezzi degli asset e aumentando il rischio per gli investitori. Infine, banche e compagnie assicurative con portafogli fortemente esposti a settori ad alta intensità di carbonio potrebbero subire perdite consistenti, mettendo a rischio la stabilità complessiva del sistema finanziario.

I due tipi di rischio sono strettamente interconnessi e possono amplificarsi reciprocamente. Una transizione disordinata o ritardata potrebbe infatti aggravare il rischio fisico, poiché la mancanza di politiche climatiche efficaci favorirebbe un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, con conseguenze sempre più rilevanti per l'economia e il sistema finanziario. Allo stesso tempo, un'implementazione improvvisa e non pianificata di regolamentazioni ambientali potrebbe generare instabilità finanziaria, colpendo duramente le aziende più esposte ai combustibili fossili, che vedrebbero il valore dei loro asset ridursi rapidamente, con ripercussioni negative sui mercati e sugli investitori.

Dal punto di vista del Federal Reserve Board¹, fenomeni come uragani, incendi boschivi, ondate di calore e inondazioni stanno diventando più frequenti e intensi, causando danni significativi alle infrastrutture, riducendo la produttività economica e aumentando i costi assicurativi.

L'impatto economico di questi eventi si riflette direttamente sulle istituzioni finanziarie. Ad esempio, le banche possono trovarsi esposte a crediti deteriorati se i debitori colpiti da eventi climatici estremi non sono in grado di rimborsare i prestiti. Le assicurazioni, invece, devono far fronte a una crescita dei sinistri, con il rischio di dover aumentare i premi o di ritirarsi da mercati particolarmente vulnerabili, riducendo così la disponibilità di copertura assicurativa. Oltre ai disastri improvvisi, i cambiamenti climatici cronici, come l'innalzamento del livello del mare e la desertificazione, possono influenzare il valore degli asset immobiliari e agricoli, portando a una svalutazione delle garanzie bancarie e incidendo sulla stabilità del mercato finanziario. In particolare, alcune regioni potrebbero diventare economicamente meno attrattive, con impatti significativi sugli investimenti di lungo termine.

Il rischio di transizione, invece, deriva dai cambiamenti economici e normativi necessari per ridurre le emissioni di carbonio e mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Secondo il report della Federal Reserve Board, la transizione verso un'economia sostenibile comporta rischi significativi per le istituzioni finanziarie, in particolare per quelle con un'esposizione elevata ai settori dei combustibili fossili e delle industrie ad alta intensità di carbonio.

Uno dei principali canali attraverso cui il rischio di transizione può colpire la stabilità finanziaria è la svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio. Le nuove regolamentazioni ambientali e il crescente spostamento degli investimenti verso soluzioni sostenibili potrebbero ridurre il valore di asset legati al petrolio, al gas e al carbone, con conseguenze significative sui portafogli di investimento delle banche e delle assicurazioni.

¹ Federal Reserve Board (2021), *Climate Change and Financial Stability*, per approfondimenti visitare il link: [Climate Change and Financial Stability](#).

Inoltre, il rischio di transizione può derivare da un cambiamento delle preferenze dei consumatori e degli investitori. Con l'aumento della consapevolezza ambientale, molte aziende stanno subendo pressioni per adottare strategie più sostenibili, e le istituzioni finanziarie devono adeguare i loro modelli di rischio per tenere conto di queste trasformazioni.

Un ulteriore elemento di rischio è la disparità di adattamento tra settori e paesi. Le economie che dipendono fortemente dall'estrazione di risorse fossili potrebbero affrontare gravi difficoltà economiche e finanziarie se la transizione avviene in modo brusco e non coordinato. Questo scenario potrebbe portare a turbolenze nei mercati finanziari, con conseguente aumento della volatilità e rischi di instabilità sistemica.

Infine per Battiston et al. (2017), l'esposizione del sistema finanziario ai rischi climatici è ampia e diversificata, con impatti che si manifestano attraverso il deterioramento del valore degli asset e la crescente incertezza nei mercati finanziari.

Le istituzioni finanziarie, in particolare le banche, le compagnie assicurative e i fondi pensione, sono direttamente esposte agli effetti dei rischi fisici attraverso le loro partecipazioni azionarie e prestiti a settori vulnerabili, come quelli immobiliari, energetici e agricoli. Un evento climatico estremo può comportare una riduzione del valore degli immobili, aumentando il rischio di default sui mutui e riducendo il valore dei collaterali bancari.

Inoltre, il rischio fisico non è distribuito uniformemente tra le istituzioni finanziarie: le esposizioni variano a seconda della loro allocazione di portafoglio. Secondo Battiston et al., le esposizioni dirette e indirette ai settori vulnerabili rappresentano una quota significativa dei portafogli di investimento, con valori che vanno dal 36% al 48% per i fondi pensione e le assicurazioni. Ciò dimostra che un aggravarsi degli eventi climatici potrebbe avere ripercussioni sistemiche sul mercato finanziario.

Il rischio di transizione è associato all'adozione di politiche per ridurre le emissioni di gas serra, come l'introduzione di tasse sul carbonio o l'eliminazione dei sussidi ai combustibili fossili. Queste politiche possono portare a una svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio e a un aumento della volatilità nei mercati finanziari.

Secondo Battiston et al. (2017), l'ammontare di *stranded assets* è stato stimato come segue:

- 82% delle riserve globali di carbone,
- 49% delle riserve globali di gas naturale,
- 33% delle riserve globali di petrolio.

Questi numeri dimostrano l'entità della potenziale svalutazione nel settore energetico, con conseguenze per le istituzioni finanziarie che detengono investimenti in aziende legate ai combustibili fossili. Le banche europee, ad esempio, hanno un'esposizione media dell'1,3% ai settori ad alta intensità di carbonio, mentre per i fondi pensione e le assicurazioni tale esposizione è rispettivamente del 5% e del 4,4%.

Un ulteriore elemento critico del rischio di transizione riguarda il timing delle politiche climatiche. Se la transizione verso un'economia a basse emissioni avviene in modo ordinato e graduale, gli investitori possono adeguare le proprie strategie senza subire perdite improvvise. Tuttavia, se la transizione è tardiva e improvvisa, potrebbe causare gravi turbolenze finanziarie, con effetti amplificati dalle interconnessioni tra istituzioni finanziarie.

I due tipi di rischio non sono indipendenti ma possono amplificarsi a vicenda. Secondo Battiston et al., il rischio fisico può incentivare un'azione politica più aggressiva per ridurre le emissioni, aumentando a sua volta il rischio di transizione. D'altra parte, un'azione ritardata potrebbe esacerbare il rischio fisico, con impatti negativi sia sui mercati finanziari che sull'economia reale.

L'analisi dei rischi fisici e di transizione evidenzia come il cambiamento climatico rappresenti una minaccia concreta per la stabilità del sistema finanziario. Dai tre studi esaminati emerge un consenso sulla necessità di integrare questi rischi nei modelli di valutazione finanziaria per evitare crisi sistemiche future. Il Financial Stability Board (2020) e la Federal Reserve Board (2021) sottolineano il ruolo cruciale delle istituzioni finanziarie nel riconoscere e mitigare l'impatto del cambiamento climatico, mentre Battiston et al. (2017) dimostrano come l'interconnessione tra attori finanziari possa

amplificare gli effetti dei rischi climatici, con conseguenze sistemiche sull'intero mercato.

Un punto chiave su cui concordano i tre studi analizzati è la necessità di una transizione ordinata e prevedibile. Una regolamentazione chiara e una pianificazione strategica potrebbero ridurre il rischio di shock improvvisi e consentire agli operatori finanziari di adeguare gradualmente le proprie strategie di investimento. Al contrario, ritardi nelle politiche climatiche o interventi improvvisi potrebbero amplificare gli effetti negativi, generando turbolenze nei mercati e aumentando l'instabilità finanziaria.

Alla luce di queste considerazioni, diventa essenziale per banche, assicurazioni e investitori adottare strumenti adeguati di gestione del rischio climatico, come lo sviluppo di modelli di stress-test e l'implementazione di strategie di investimento sostenibile. Inoltre, l'armonizzazione delle normative a livello internazionale potrebbe favorire un approccio coordinato, minimizzando i rischi e promuovendo una transizione più equilibrata verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

1.2 Impatti del cambiamento climatico sui mercati e sfide per gli attori

I rischi fisici e di transizione analizzati nella sezione precedente non solo incidono sulle istituzioni finanziarie, ma si riflettono direttamente sulle dinamiche di mercato, influenzando la valutazione degli asset, la stabilità degli investimenti e la gestione del rischio. Questa sezione esaminerà come il cambiamento climatico stia modificando le condizioni di finanziamento e di accesso al credito, aumentando la volatilità nei mercati e alterando le strategie di investimento.

Oltre agli impatti diretti sulla stabilità finanziaria, verranno approfondite le sfide specifiche per gli attori economici, come banche, assicurazioni e investitori, che devono affrontare un contesto sempre più complesso, caratterizzato da incertezze normative, evoluzione delle preferenze di mercato e necessità di adeguare i propri modelli di rischio. Saranno analizzati i principali canali di trasmissione attraverso cui i rischi

climatici si propagano nel sistema finanziario, mettendo in luce le implicazioni sia per la stabilità macroeconomica che per la transizione verso un'economia sostenibile.

Secondo Battiston et al. (2021), la stabilità finanziaria è esposta a due principali canali di trasmissione del rischio climatico: il rischio fisico, legato agli eventi meteorologici estremi e ai cambiamenti climatici a lungo termine, e il rischio di transizione, che emerge dalle politiche volte a ridurre le emissioni di carbonio e dal conseguente adattamento del mercato.

Uno degli aspetti più critici riguarda la valutazione degli asset finanziari, poiché i mercati tendono a non incorporare correttamente i rischi climatici nelle loro metriche di prezzo. Fino a tempi recenti, gli investitori hanno sottostimato l'impatto del cambiamento climatico sui rendimenti finanziari, con il risultato che molte istituzioni finanziarie detengono asset potenzialmente a rischio di svalutazione. Le imprese che dipendono dai combustibili fossili, ad esempio, potrebbero subire perdite significative a causa delle politiche climatiche sempre più stringenti. L'improvvisa perdita di valore di questi asset potrebbe generare shock finanziari e destabilizzare i mercati.

Un altro elemento di rilievo riguarda la volatilità dei mercati finanziari. Il cambiamento climatico e le politiche di transizione ecologica possono provocare aggiustamenti improvvisi nei prezzi degli asset, innescando reazioni a catena tra investitori e istituzioni finanziarie. L'elevato grado di interconnessione del sistema finanziario amplifica questi effetti, aumentando il rischio di contagio e di instabilità sistemica. Inoltre, la percezione del rischio da parte degli operatori di mercato può accentuare tali fluttuazioni, poiché le aspettative degli investitori giocano un ruolo cruciale nella determinazione dei prezzi degli strumenti finanziari.

L'attenzione crescente dei regolatori verso il rischio climatico ha portato all'introduzione di stress-test climatici, che mirano a valutare la resilienza delle istituzioni finanziarie di fronte a scenari climatici avversi. Tuttavia, come evidenziato da Battiston et al. (2021), esistono ancora importanti lacune metodologiche nella modellizzazione di questi rischi. La complessità del cambiamento climatico, caratterizzato da incertezze profonde, non-linearità ed effetti retroattivi, rende difficile l'applicazione dei tradizionali strumenti di analisi del rischio. Per questo motivo, l'integrazione di modelli più avanzati e sofisticati

che siano in grado di catturare le interconnessioni tra le istituzioni finanziarie e l'impatto sistemico che un evento avverso può generare, come quelli basati su *network analysis*² e *agent-based models*³, offrono un quadro più realistico rispetto ai modelli economici tradizionali.

Inoltre, la mancanza di standardizzazione nelle informazioni sui rischi climatici rappresenta un ulteriore ostacolo per gli investitori e le istituzioni finanziarie. L'assenza di criteri chiari per classificare asset ad alta e bassa intensità di carbonio, nonché la scarsa trasparenza sui dati ambientali delle imprese, limita la capacità del mercato di integrare correttamente i rischi climatici nelle decisioni di investimento. L'UE *Taxonomy*, insieme ad altre iniziative come la Task Force for Climate-Related Financial Disclosure (TCFD), rappresenta un passo avanti verso una maggiore chiarezza, ma la loro implementazione è ancora in corso e i risultati devono essere valutati nel lungo periodo.

Lo studio di Dietz et al. (2016), d'altro canto, introduce il concetto di *Climate Value at Risk* (*Climate VaR*), una misura dell'impatto atteso del cambiamento climatico sul valore degli asset finanziari globali. L'analisi mostra che il *Climate VaR* globale ammonta a circa 1.8% del valore attuale degli asset finanziari in uno scenario di *business-as-usual*, il che equivale a circa 2.5 trilioni di dollari in perdite finanziarie attese. Tuttavia, gli scenari peggiori rivelano un rischio molto più elevato: nel 99°

² La *network analysis* è un metodo di analisi che studia le interconnessioni tra diversi attori all'interno di un sistema complesso. Nel contesto finanziario, permette di mappare le esposizioni delle istituzioni ai settori vulnerabili al cambiamento climatico, identificare i possibili effetti domino causati da shock climatici e simulare scenari di crisi per valutarne le conseguenze sistemiche. Questo approccio aiuta a comprendere come il rischio climatico si propaghi tra le istituzioni finanziarie, aumentando il rischio di contagio e instabilità.

³ I modelli basati su agenti (*Agent-Based Models*, ABM) sono strumenti di simulazione che rappresentano il comportamento di diversi attori economici, come investitori, aziende e regolatori, e analizzano le loro interazioni nel tempo. A differenza dei modelli economici tradizionali, gli ABM considerano agenti con comportamenti eterogenei e informazioni imperfette, permettendo di simulare scenari di transizione e di valutare come politiche climatiche, come una tassa sul carbonio, possano influenzare il mercato finanziario e la stabilità economica.

percentile, le perdite potrebbero arrivare fino al 16.9%, pari a 24.2 trilioni di dollari, mettendo a rischio la stabilità del sistema economico.

Uno dei meccanismi principali attraverso cui il cambiamento climatico influisce sul valore degli asset è il suo impatto sulla produttività economica. Poiché il valore degli asset finanziari è direttamente legato alla capacità di produzione e di generazione di reddito delle imprese, un calo della produttività dovuto a eventi climatici estremi o a shock economici legati alla transizione ecologica può tradursi in una riduzione dei rendimenti finanziari. Inoltre, il cambiamento climatico può portare a un'accelerazione della svalutazione degli asset fisici, in particolare nei settori più vulnerabili come quello immobiliare, agricolo ed energetico. Questo effetto si manifesta sia attraverso la distruzione diretta degli asset a causa di eventi climatici estremi, sia attraverso la graduale obsolescenza degli investimenti ad alta intensità di carbonio.

Un altro aspetto critico emerso dallo studio di Dietz et al. è il rischio sistemico derivante dall'interconnessione tra istituzioni finanziarie. Le perdite subite da un settore specifico possono infatti propagarsi attraverso il sistema finanziario, amplificando l'instabilità complessiva. Questo effetto a catena è particolarmente preoccupante nei mercati altamente interconnessi, dove il default di una grande istituzione potrebbe generare crisi di liquidità e turbolenze finanziarie su vasta scala.

L'analisi di Dietz et al. evidenzia anche il ruolo della regolamentazione climatica nella mitigazione dei rischi finanziari. Limitare il riscaldamento globale a 2°C rispetto ai livelli preindustriali attraverso politiche di decarbonizzazione potrebbe ridurre il *Climate VaR* globale di 0.6 punti percentuali, con una riduzione più significativa del rischio estremo (fino a 7.7 punti percentuali nel 99° percentile). Questo dimostra che l'adozione di politiche climatiche efficaci non solo è cruciale per limitare gli impatti ambientali del cambiamento climatico, ma rappresenta anche una strategia di mitigazione del rischio finanziario a lungo termine.

Secondo il contributo di Lamperti et al. (2019), l'impatto del cambiamento climatico sulle istituzioni finanziarie si manifesta attraverso un aumento del rischio sistemico, con implicazioni dirette sulla stabilità economica e sulla sostenibilità del debito pubblico.

Uno degli effetti più critici del cambiamento climatico riguarda l'incremento delle crisi bancarie. Lo studio di Lamperti et al. mostra che l'intensificarsi degli eventi climatici estremi e l'aumento delle temperature globali potrebbero far crescere la frequenza delle crisi bancarie tra il 26% e il 148%. Il deterioramento della stabilità bancaria è strettamente legato a una serie di fattori che amplificano il rischio di crisi finanziaria nel contesto del cambiamento climatico. Uno degli aspetti più critici è l'aumento dei crediti deteriorati (NPLs - *Non-Performing Loans*), particolarmente rilevante per le aziende operanti nei settori più esposti ai rischi climatici, come l'agricoltura, l'edilizia e l'energia. Le perdite significative subite da queste imprese potrebbero comprometterne la capacità di ripagare i prestiti, determinando un incremento del rischio di insolvenza per le banche.

A questo fenomeno si aggiungono gli effetti a catena sull'economia reale. Le crisi bancarie riducono la capacità del sistema finanziario di concedere credito, determinando una contrazione degli investimenti produttivi e un rallentamento della crescita economica. Secondo le stime di Lamperti et al., le crisi bancarie innescate dai cambiamenti climatici potrebbero comportare una perdita annua del 2-3% del PIL, accentuando ulteriormente le difficoltà economiche.

Infine, un ulteriore elemento di preoccupazione è l'incremento del debito pubblico, conseguenza diretta della necessità di interventi governativi per il salvataggio delle istituzioni finanziarie in difficoltà. Il costo di questi interventi potrebbe avere un impatto significativo sulla stabilità macroeconomica, con il rischio di un raddoppio del rapporto debito/PIL nei prossimi decenni. Questo scenario evidenzia la necessità di strategie di prevenzione e mitigazione del rischio climatico nel settore finanziario, al fine di evitare situazioni di instabilità sistemica che potrebbero mettere a dura prova l'equilibrio economico globale.

Per mitigare questi rischi, è essenziale che le banche adottino criteri di valutazione del rischio climatico nei loro modelli di credito e che le autorità di regolamentazione introducano requisiti patrimoniali più stringenti per le istituzioni esposte ai settori più vulnerabili. Tuttavia, tali misure devono essere bilanciate con la necessità di garantire l'accesso al credito per finanziare progetti di transizione ecologica.

Le compagnie assicurative sono altrettanto esposte agli impatti del cambiamento climatico, in particolare attraverso l'aumento dei sinistri legati ai disastri ambientali. Il settore assicurativo si trova ad affrontare una pressione crescente a causa dell'aumento dei rischi climatici, con implicazioni significative sulla sostenibilità finanziaria delle compagnie e sulla loro capacità di offrire coperture adeguate. Uno dei problemi principali è rappresentato dall'incremento delle richieste di risarcimento, determinato dalla crescente frequenza e intensità di eventi climatici estremi come uragani, inondazioni e incendi. Questi fenomeni stanno diventando sempre più distruttivi, comportando un aumento esponenziale delle richieste di indennizzo da parte di imprese e privati. Il conseguente aggravio sui bilanci delle compagnie assicurative potrebbe comprometterne la stabilità e costringere molte di esse a rivedere le proprie strategie di gestione del rischio.

Un altro problema rilevante è il ritiro dal mercato di alcune coperture assicurative. In alcune aree particolarmente esposte ai cambiamenti climatici, le compagnie potrebbero ritenere non più sostenibile l'offerta di polizze per determinati eventi catastrofici, lasciando interi settori economici e comunità senza un'adeguata protezione finanziaria. Questo fenomeno potrebbe aumentare la vulnerabilità economica delle imprese e dei cittadini, accentuando le disuguaglianze territoriali e amplificando gli effetti negativi del cambiamento climatico.

Infine, la necessità di aggiornare i modelli di pricing del rischio rappresenta una sfida cruciale per il settore assicurativo. L'esposizione sempre più elevata agli eventi estremi richiede l'adozione di metodologie più sofisticate per valutare il rischio climatico e determinare premi assicurativi adeguati. Senza un adeguato aggiornamento dei modelli di valutazione, le compagnie potrebbero trovarsi esposte a perdite impreviste e a situazioni di instabilità finanziaria, compromettendo la loro capacità di far fronte ai risarcimenti e garantire la continuità operativa. Per affrontare queste sfide, è essenziale che il settore assicurativo integri strumenti avanzati di analisi del rischio e collabori con le istituzioni per sviluppare strategie di mitigazione che garantiscano una maggiore resilienza del sistema finanziario di fronte agli impatti del cambiamento climatico.

Lo studio di Lamperti et al. evidenzia che le autorità di regolamentazione possono giocare un ruolo cruciale nel contenere i rischi finanziari derivanti dal cambiamento

climatico. Per stabilizzare il sistema finanziario e favorire la transizione ecologica, sono state proposte diverse misure volte a mitigare i rischi derivanti dal cambiamento climatico e a incentivare pratiche finanziarie più sostenibili. Una delle strategie principali riguarda l'introduzione di requisiti patrimoniali differenziati per il rischio climatico, che obbligherebbero le banche a detenere un capitale di riserva maggiore per i prestiti concessi ai settori più esposti ai rischi climatici. Questa misura avrebbe l'obiettivo di rafforzare la resilienza delle istituzioni finanziarie, riducendo il rischio di insolvenza in caso di svalutazione improvvisa degli asset legati ai combustibili fossili o di altri shock climatici.

Un altro intervento fondamentale è l'obbligo di disclosure climatica per le istituzioni finanziarie, volto a migliorare la trasparenza sui rischi climatici presenti nei portafogli di banche e compagnie assicurative. Una maggiore chiarezza su queste esposizioni permetterebbe agli investitori di prendere decisioni più informate, facilitando la riallocazione del capitale verso settori meno vulnerabili ai rischi climatici e più orientati alla sostenibilità.

Parallelamente, è essenziale prevedere incentivi per gli investimenti sostenibili, attraverso agevolazioni fiscali e l'accesso a finanziamenti agevolati per quelle istituzioni finanziarie che supportano infrastrutture e progetti a basse emissioni di carbonio. Questo tipo di politica economica favorirebbe il graduale disinvestimento dai settori inquinanti e incoraggerebbe lo sviluppo di tecnologie verdi, accelerando la transizione ecologica senza destabilizzare il sistema economico.

Infine, la creazione di assicurazioni pubbliche per eventi climatici estremi potrebbe rappresentare una soluzione efficace per ridurre il rischio per le compagnie assicurative e garantire una protezione adeguata alle comunità più vulnerabili. L'istituzione di fondi pubblici di compensazione permetterebbe di distribuire il costo dei disastri climatici su una scala più ampia, evitando che le compagnie assicurative si trovino costrette a ritirare le coperture da determinate aree ad alto rischio, con gravi conseguenze per cittadini e imprese.

Monasterolo et al. (2017) affermano che una delle principali sfide che gli investitori e i regolatori devono affrontare è la mancanza di informazioni chiare e comparabili

sull'esposizione dei portafogli finanziari ai rischi climatici. Questa carenza di dati ostacola la capacità delle istituzioni finanziarie di valutare correttamente il rischio climatico e di adottare strategie efficaci per la transizione ecologica.

Il rischio di transizione, derivante dall'evoluzione delle politiche climatiche e dei mercati energetici, può generare shock economici improvvisi, come la svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio o il rapido sviluppo di nuove tecnologie a basse emissioni. Tuttavia, gli investitori spesso non dispongono di strumenti adeguati per anticipare questi cambiamenti e adeguare le loro strategie di portafoglio. Il rischio fisico, d'altra parte, legato agli eventi climatici estremi e ai danni agli asset, è altrettanto rilevante e può influenzare la stabilità finanziaria attraverso la perdita di valore di proprietà, infrastrutture e settori produttivi vulnerabili.

Uno dei problemi principali evidenziati dallo studio di Monasterolo et al. è l'assenza di indicatori standardizzati per misurare l'esposizione finanziaria ai rischi climatici. A tal fine, gli autori propongono due nuovi indici:

- *GHG Exposure Index*, che quantifica l'esposizione di un portafoglio finanziario ai rischi di transizione climatica, ponderando gli investimenti nei vari settori economici in base alla loro intensità di emissioni di gas serra.
- *GHG Holding Index*, che misura l'influenza di un attore finanziario sulla transizione ecologica, valutando il suo peso di mercato nei settori ad alta emissione.

Questi strumenti permettono di identificare gli investitori maggiormente vulnerabili alle politiche di decarbonizzazione e quelli che hanno un impatto più significativo sul mercato, fornendo una base più solida per la regolamentazione finanziaria e la gestione del rischio climatico.

L'analisi di Monasterolo et al. suggerisce che l'introduzione di una maggiore trasparenza nella *Climate-Related Financial Disclosure* (CRFD) potrebbe migliorare la stabilità finanziaria e facilitare la transizione verso un'economia sostenibile. La mancanza di dati chiari e comparabili sui rischi climatici compromette la capacità del mercato di apprezzare correttamente gli asset e di gestire i rischi legati al cambiamento

climatico. La creazione di un sistema di reporting obbligatorio e standardizzato consentirebbe agli investitori di prendere decisioni più informate e ai regolatori di intervenire in modo più efficace per mitigare il rischio sistemico.

Il miglioramento della trasparenza finanziaria sui rischi climatici potrebbe accelerare il processo di disinvestimento dai settori più inquinanti e promuovere investimenti in tecnologie pulite. In assenza di misure adeguate, le istituzioni finanziarie rischiano di subire perdite significative a causa della svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio e degli effetti economici dei disastri climatici. Per evitare tali scenari, è fondamentale che banche, assicurazioni e investitori istituzionali integrino la valutazione del rischio climatico nei loro modelli finanziari e adottino strategie di investimento sostenibile.

L'impatto del cambiamento climatico sui mercati finanziari si manifesta attraverso molteplici canali, con effetti che possono compromettere la stabilità economica e sistemica se non adeguatamente gestiti. Le istituzioni finanziarie devono affrontare una realtà in rapida evoluzione, caratterizzata da rischi climatici fisici e di transizione che incidono sulla valutazione degli asset, sulla volatilità dei mercati e sulle strategie di investimento. Gli studi analizzati convergono sull'idea che l'integrazione del rischio climatico nei modelli finanziari sia ormai indispensabile per evitare gravi shock economici e garantire una transizione sostenibile.

In particolare, il concetto di *Climate Value at Risk*, introdotto da Dietz et al. (2016), quantifica le perdite potenziali derivanti dal cambiamento climatico, evidenziando il rischio di svalutazione di asset globali fino a 24,2 trilioni di dollari negli scenari peggiori. Questo dato sottolinea l'urgente necessità di adattare i modelli di gestione del rischio per evitare una destabilizzazione improvvisa dei mercati finanziari. Battiston et al. (2021) ampliano questa prospettiva, mettendo in luce il ruolo cruciale delle interconnessioni finanziarie nella propagazione degli shock climatici. L'alto grado di esposizione reciproca tra istituzioni finanziarie potrebbe amplificare gli effetti di eventi estremi o di politiche climatiche inaspettate, generando fenomeni di contagio che aggraverebbero il rischio sistemico.

Allo stesso tempo, Lamperti et al. (2019) evidenziano le sfide specifiche che il cambiamento climatico impone al settore bancario e assicurativo. L'aumento dei crediti deteriorati, la maggiore instabilità del mercato e il rischio di crisi bancarie derivanti dagli impatti climatici potrebbero richiedere costosi interventi pubblici, con un potenziale raddoppio del rapporto debito/PIL nei prossimi decenni. In parallelo, Monasterolo et al. (2017) sottolineano l'importanza della trasparenza finanziaria, indicando che la mancanza di dati affidabili e standardizzati sui rischi climatici limita la capacità delle istituzioni finanziarie di valutare correttamente le proprie esposizioni. La creazione di strumenti di disclosure climatica chiari e comparabili potrebbe facilitare la riallocazione dei capitali verso investimenti più sostenibili e resilienti.

Un elemento comune a tutti gli studi analizzati è la necessità di un approccio coordinato tra settore pubblico e privato per mitigare i rischi climatici. L'adozione di modelli avanzati di valutazione, come la *network analysis* e i modelli basati su agenti (ABM), potrebbe migliorare la capacità di prevedere gli effetti sistemici del cambiamento climatico e ridurre l'incertezza legata alla transizione ecologica. Parallelamente, le autorità di regolamentazione devono garantire un quadro normativo chiaro e prevedibile, evitando una transizione disordinata che potrebbe destabilizzare il sistema finanziario.

In conclusione, se investitori e istituzioni finanziarie non iniziano a incorporare seriamente i rischi climatici nei loro processi decisionali, il sistema economico globale potrebbe trovarsi esposto a shock improvvisi e incontrollabili. Tuttavia, una mitigazione ben pianificata, combinata con una maggiore trasparenza nella divulgazione dei rischi climatici e politiche di incentivazione per gli investimenti sostenibili, potrebbe ridurre significativamente queste vulnerabilità. Attraverso un'azione tempestiva e coordinata, è possibile facilitare una transizione più ordinata verso un'economia resiliente e a basse emissioni di carbonio, garantendo al contempo la stabilità del sistema finanziario globale.

1.3 Cambiamento climatico e iniziative di regolamentazione nell'Unione Europea

Il cambiamento climatico rappresenta una sfida crescente per la stabilità finanziaria, e le autorità di regolamentazione stanno progressivamente adottando misure per integrare i rischi climatici nei framework normativi del settore finanziario. L'Unione Europea, in particolare, ha assunto un ruolo di leadership nella definizione di strategie per la gestione del rischio climatico, attraverso una serie di iniziative volte a rafforzare la resilienza delle istituzioni finanziarie e a promuovere una transizione ordinata verso un'economia sostenibile.

Questa sezione analizzerà le principali misure regolatorie adottate a livello europeo, evidenziando il loro impatto sul sistema finanziario. Verranno esaminati gli strumenti normativi chiave, come le linee guida della Banca Centrale Europea (BCE) sull'integrazione dei rischi climatici nella supervisione finanziaria, il quadro d'azione del Network for Greening the Financial System (NGFS) e il Report dell'European Banking Authority (EBA) sulla gestione dei rischi ESG da parte delle istituzioni finanziarie. L'obiettivo è comprendere in che modo queste iniziative stiano influenzando le strategie di gestione del rischio di banche e assicurazioni, favorendo la transizione ecologica e garantendo la stabilità del sistema finanziario europeo.

L'Autorità Bancaria Europea (EBA) ha riconosciuto il cambiamento climatico come una delle principali minacce alla stabilità finanziaria, sviluppando un quadro normativo per integrare i rischi ambientali, sociali e di governance (ESG) nei processi di supervisione bancaria e degli investimenti. Il report EBA (2022) evidenzia come la gestione di questi rischi richieda un approccio graduale e proporzionato, in modo da garantire la resilienza del settore finanziario senza comprometterne la capacità di finanziamento della transizione ecologica.

Uno degli aspetti fondamentali della regolamentazione riguarda l'integrazione dei rischi ESG nel *Supervisory Review and Evaluation Process* (SREP), il principale strumento di vigilanza bancaria nell'Unione Europea. Secondo l'EBA, l'integrazione dei fattori ESG nello SREP deve avvenire lungo tre dimensioni principali. In primo luogo, è necessaria un'analisi del modello di business delle istituzioni finanziarie, che devono dimostrare la

sostenibilità delle proprie strategie operative rispetto ai rischi climatici e alla transizione ecologica. Questo richiede una valutazione approfondita del grado di esposizione a settori ad alta intensità di carbonio e della capacità dell'organizzazione di adattarsi alle nuove regolamentazioni ambientali. In secondo luogo, la governance interna e la gestione del rischio devono essere strutturate in modo da includere meccanismi efficaci per il monitoraggio e la mitigazione dei rischi ESG. L'EBA raccomanda, a tal fine, che i consigli di amministrazione dispongano di competenze specifiche in materia di rischio climatico e che tali competenze siano pienamente integrate nei processi decisionali. Infine, la valutazione dei rischi per il capitale e la liquidità rappresenta un ulteriore elemento centrale: poiché i rischi ESG possono incidere sulla solidità patrimoniale delle istituzioni finanziarie, l'EBA sottolinea l'importanza di incorporare stress-test climatici nei modelli di analisi, al fine di stimare l'impatto potenziale di questi fattori sulla resilienza finanziaria complessiva.

L'integrazione dei rischi ESG nella supervisione bancaria presenta diverse sfide metodologiche. Il report sottolinea che attualmente esiste una carenza di dati affidabili e una mancanza di metriche standardizzate per quantificare il rischio climatico, come anticipato nella sezione precedente. Per questo motivo, l'EBA raccomanda un'adozione graduale, iniziando con l'identificazione e l'integrazione qualitativa dei rischi ESG nelle strategie aziendali, per poi evolvere verso una valutazione quantitativa più strutturata man mano che migliorano la disponibilità dei dati e le metodologie di misurazione.

Le autorità di vigilanza devono monitorare attentamente le esposizioni delle istituzioni finanziarie ai rischi climatici, valutando il grado di concentrazione del rischio nei portafogli di investimento e l'impatto delle politiche di transizione ecologica sulle attività finanziarie. Per facilitare questo processo, l'EBA suggerisce l'uso di modelli di scenario per valutare la sostenibilità a lungo termine dei modelli di business finanziari in un contesto di cambiamento climatico.

Un altro aspetto chiave del quadro regolatorio è la proporzionalità nell'applicazione della normativa ESG. L'EBA distingue tra istituzioni sistemicamente rilevanti, che richiedono un'analisi più approfondita e requisiti di supervisione più stringenti, e istituzioni di dimensioni minori, che potrebbero essere soggette a obblighi più flessibili. Tuttavia, tutte le istituzioni finanziarie devono adottare misure adeguate alla trasparenza

nella gestione del rischio climatico, migliorando la raccolta e la divulgazione dei dati ESG.

Il report sottolinea l'importanza dell'obbligo di disclosure climatica, che richiede alle istituzioni finanziarie di comunicare le proprie esposizioni ai rischi climatici e le strategie adottate per mitigarli. Questa maggiore trasparenza permetterà agli investitori e ai regolatori di avere una visione più chiara delle vulnerabilità del settore finanziario e delle azioni intraprese per affrontarle.

La Banca Centrale Europea (BCE) ha assunto un ruolo sempre più rilevante nella regolamentazione dei rischi climatici per il sistema finanziario europeo. Nel report *Climate-related risk and financial stability* (2021), pubblicato in collaborazione con l'European Systemic Risk Board (ESRB), la BCE analizza l'impatto del cambiamento climatico sulla stabilità finanziaria, evidenziando la necessità di adottare strumenti di monitoraggio più sofisticati e di integrare i rischi climatici nelle politiche macroprudenziali.

Il report evidenzia come la vulnerabilità del sistema finanziario europeo ai rischi climatici sia caratterizzata da una notevole eterogeneità, che si manifesta a livello settoriale, istituzionale e geografico. In particolare, si individuano tre principali aree di concentrazione del rischio. La prima riguarda l'esposizione ai rischi fisici: uno studio condotto dalla BCE ha rilevato che fino al 30% delle esposizioni creditizie delle banche dell'Eurozona è legato a imprese particolarmente vulnerabili a eventi climatici estremi. La seconda area concerne l'esposizione ai rischi di transizione: circa il 14% degli attivi bancari totali nell'area euro è associato a imprese con elevati livelli di emissioni di gas serra, il che comporta un rilevante rischio di svalutazione degli asset qualora vengano introdotte politiche climatiche più restrittive. Per l'ultima area, si osserva una forte concentrazione della vulnerabilità in un numero limitato di istituzioni finanziarie: il 70% del credito bancario concesso a imprese altamente esposte ai rischi climatici risulta concentrato in sole 25 banche. Questo dato suggerisce che una transizione disordinata o una crisi climatica potrebbe generare conseguenze sistemiche significative, qualora si verificasse una svalutazione improvvisa degli asset detenuti da tali istituzioni.

Per affrontare questi rischi, la BCE ha sviluppato metodologie di stress test climatici al fine di valutare l'impatto del cambiamento climatico sui bilanci bancari, sui mercati assicurativi e sugli investimenti finanziari. Il report analizza diversi scenari di rischio, basati sulle proiezioni del Network for Greening the Financial System (NGFS), tra cui:

- Scenario di transizione ordinata: prevede un'azione tempestiva per ridurre le emissioni di carbonio con un impatto moderato sul settore finanziario.
- Scenario di transizione disordinata: ipotizza politiche climatiche ritardate o improvvise, che potrebbero causare perdite più elevate per le banche e gli investitori.
- Scenario *Hot House World*⁴: prevede un aumento incontrollato delle temperature globali, con impatti devastanti sulla stabilità finanziaria globale.

Secondo le simulazioni della BCE, se la transizione ecologica non sarà gestita in modo ordinato, le perdite sui crediti bancari nell'Eurozona potrebbero raggiungere fino al 1,75% degli attivi ponderati per il rischio nel lungo periodo, mentre il valore di alcuni investimenti nel settore energetico e industriale potrebbe ridursi fino al 15% nei prossimi 15 anni.

Nonostante i progressi compiuti nella misurazione del rischio climatico, il report evidenzia ancora significative lacune nei dati e nella standardizzazione delle metodologie di valutazione. Le disclosure delle imprese sui rischi climatici rimangono insufficienti e i modelli di previsione devono ancora integrare le interconnessioni tra rischi fisici e di transizione.

Per affrontare queste sfide, la Banca Centrale Europea (BCE) sottolinea la necessità di integrare i rischi climatici nel quadro di supervisione prudenziale, incorporandoli nei

⁴ Il termine *Hot House World* è stato introdotto dal Network for Greening the Financial System (NGFS) per descrivere uno scenario climatico in cui le emissioni di gas serra continuano a crescere senza interventi significativi, portando a un aumento della temperatura superiore ai 3°C entro la fine del secolo. Questo scenario prevede impatti climatici estremi, tra cui l'innalzamento del livello del mare e l'aumento della frequenza di eventi meteorologici catastrofici. Per una descrizione dettagliata, si veda Network for Greening the Financial System (NGFS), "*NGFS Climate Scenarios for Central Banks and Supervisors*", giugno 2020.

requisiti di capitale per le banche. Questo approccio mira a garantire che le istituzioni finanziarie dispongano di riserve adeguate a far fronte alle potenziali perdite derivanti dai rischi ambientali e di transizione.

Un altro aspetto fondamentale riguarda l'adozione di obblighi più stringenti di disclosure climatica, con l'obiettivo di aumentare la trasparenza delle esposizioni finanziarie ai rischi legati al cambiamento climatico. Una maggiore chiarezza sulle vulnerabilità climatiche degli istituti finanziari consentirebbe agli investitori e ai regolatori di valutare con maggiore precisione l'impatto del cambiamento climatico sui bilanci bancari, promuovendo al contempo una riallocazione più efficiente dei capitali verso investimenti sostenibili.

Inoltre, la BCE raccomanda il rafforzamento delle metodologie di stress test climatici, affinché le istituzioni finanziarie possano migliorare la loro capacità di prevedere gli impatti finanziari delle variazioni climatiche. L'applicazione di scenari dettagliati consentirebbe di valutare le potenziali perdite economiche derivanti sia dagli eventi climatici estremi sia dalle politiche di transizione ecologica, permettendo una gestione più efficace del rischio climatico a livello sistemico.

Il Network for Greening the Financial System (NGFS) è una coalizione di banche centrali e autorità di regolamentazione nata con l'obiettivo di integrare il cambiamento climatico nella supervisione finanziaria. Nel report *A Call for Action: Climate Change as a Source of Financial Risk* (2019), l'NGFS evidenzia come i rischi climatici rappresentino una minaccia sistemica per la stabilità finanziaria globale, richiedendo un'azione coordinata da parte di banche centrali, regolatori e istituzioni finanziarie.

Secondo il Network for Greening the Financial System (NGFS), il cambiamento climatico rappresenta una minaccia unica per il sistema economico e finanziario, caratterizzata da tre elementi distintivi. In primo luogo, la sua ampiezza e magnitudo rendono il fenomeno pervasivo, colpendo governi, imprese e consumatori senza distinzione, e interessando tutti i settori economici e le diverse aree geografiche. Gli effetti del cambiamento climatico non seguono un andamento lineare, ma possono intensificarsi improvvisamente, amplificando il rischio di shock finanziari e destabilizzando il sistema economico.

Un altro elemento da considerare è la natura prevedibile ma irreversibile del fenomeno. Sebbene vi siano incertezze riguardo alle tempistiche e alle specifiche conseguenze, è certo che i rischi fisici e di transizione si concretizzeranno nel tempo. Inoltre, una volta superate determinate soglie di emissioni di gas serra, gli effetti del cambiamento climatico diventeranno irreversibili, rendendo ancora più complessa la gestione delle sue implicazioni economiche e finanziarie.

Inoltre, l'entità degli impatti futuri dipende dalle azioni intraprese nel presente. Le misure adottate oggi saranno determinanti per il grado di severità delle conseguenze future. Ritardi nell'attuazione di politiche climatiche efficaci o una gestione non coordinata della transizione ecologica potrebbero portare a uno scenario di transizione disordinata, caratterizzato da forti instabilità nei mercati finanziari e da impatti economici ancora più gravi.

Il NGFS sottolinea che i rischi climatici sono rischi finanziari a tutti gli effetti e, di conseguenza, devono essere integrati nei mandati delle banche centrali e degli enti di supervisione per garantire la resilienza del sistema finanziario.

Per affrontare i rischi climatici, il NGFS ha formulato sei raccomandazioni chiave per banche centrali, autorità di regolamentazione e *policy maker*:

1. Integrazione dei rischi climatici nella supervisione finanziaria: le banche centrali e i regolatori devono includere i rischi climatici nelle loro valutazioni di stabilità finanziaria e nei processi di micro-supervisione. Ciò include l'uso di indicatori chiave di rischio climatico, analisi quantitative e test di scenario per valutare l'impatto del cambiamento climatico sugli istituti finanziari.
2. Incorporazione dei fattori di sostenibilità nella gestione dei portafogli delle banche centrali: le banche centrali dovrebbero integrare considerazioni ambientali nella gestione delle loro riserve e nei fondi pensione, contribuendo così a orientare il mercato verso investimenti più sostenibili.
3. Riduzione del gap informativo sui rischi climatici: l'NGFS evidenzia la necessità di migliorare la disponibilità di dati sul rischio climatico,

incoraggiando la creazione di database centralizzati accessibili ai regolatori e agli istituti finanziari.

4. Sensibilizzazione e rafforzamento delle competenze: è fondamentale investire nella formazione e nella collaborazione tra regolatori, settore privato e istituzioni accademiche per sviluppare modelli più avanzati di gestione del rischio climatico.
5. Rafforzamento della disclosure climatica: l'NGFS sostiene l'adozione di standard internazionali di trasparenza, come le raccomandazioni della Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), per garantire che le istituzioni finanziarie comunichino in modo chiaro le loro esposizioni ai rischi climatici.
6. Sviluppo di una tassonomia delle attività economiche: creare una classificazione chiara tra asset “verdi” e “marroni” è essenziale per facilitare la gestione del rischio climatico da parte degli investitori e garantire una transizione ordinata verso un'economia sostenibile.

Il NGFS sottolinea l'importanza dell'uso di stress test climatici per valutare la vulnerabilità del sistema finanziario. In collaborazione con le banche centrali, il network ha sviluppato tre scenari per simulare diversi percorsi di transizione climatica, già esposti sopra. Queste simulazioni aiutano le banche centrali e gli enti regolatori a valutare la solidità del sistema finanziario e ad adottare misure preventive per mitigare i rischi climatici.

L'analisi del quadro regolatorio europeo evidenzia un consenso unanime sulla necessità di integrare i rischi climatici e ambientali nei modelli di supervisione finanziaria per garantire una transizione sostenibile e stabile del sistema economico. Le iniziative dell'EBA, della BCE e del NGFS sono concordi nell'identificare il cambiamento climatico come una minaccia sistemica per la stabilità finanziaria, capace di generare impatti significativi su banche, assicurazioni e mercati finanziari. La gestione di questi rischi non può essere lasciata a singole istituzioni, ma deve essere supportata da un quadro normativo chiaro, strumenti di valutazione avanzati e una maggiore trasparenza nei processi di disclosure.

L'approccio dell'EBA prevede un'integrazione graduale dei rischi ESG nei modelli di vigilanza, partendo da un'analisi qualitativa fino ad arrivare a una valutazione quantitativa più solida, supportata da strumenti analitici avanzati. Questo metodo consentirà di ridurre l'incertezza legata ai rischi climatici e di garantire una maggiore resilienza del settore finanziario europeo di fronte alle sfide ambientali future.

Parallelamente, la BCE sottolinea l'urgenza di misure preventive per evitare una crisi climatico-finanziaria, evidenziando l'importanza degli stress test climatici e dell'integrazione dei rischi ambientali nei requisiti di capitale per le banche. Tuttavia, affinché queste iniziative abbiano successo, è fondamentale che la regolamentazione sia accompagnata da una raccolta dati più accurata e da obblighi di disclosure più stringenti, in modo da migliorare la trasparenza delle esposizioni finanziarie ai rischi climatici e agevolare la transizione ecologica.

Allo stesso modo, il report del NGFS enfatizza il ruolo chiave delle banche centrali e delle autorità di vigilanza nel promuovere una regolamentazione chiara e nell'implementare strumenti per la gestione del rischio climatico. Le sei raccomandazioni fornite dal network rappresentano una guida concreta per la supervisione bancaria, promuovendo una tassonomia chiara degli asset verdi e *brown*, la standardizzazione della *disclosure* climatica e lo sviluppo di metodologie di valutazione più sofisticate.

In sintesi, la regolamentazione europea sta evolvendo per rispondere in modo efficace ai rischi climatici e garantire una transizione ordinata e sostenibile verso un'economia a basse emissioni di carbonio. Tuttavia, affinché queste misure siano efficaci, sarà necessaria una collaborazione costante tra banche centrali, regolatori e attori di mercato, accompagnata da un rafforzamento degli strumenti di supervisione e dalla creazione di un sistema finanziario più trasparente e resiliente di fronte alle sfide climatiche future.

Capitolo 2: Analisi della letteratura

L'obiettivo di questo capitolo è duplice: da un lato, fornire una base teorica e metodologica solida per l'analisi empirica sviluppata nei capitoli successivi; dall'altro, evidenziare le principali lacune nella letteratura esistente, suggerendo possibili direzioni per future ricerche.

La crescente attenzione da parte delle istituzioni finanziarie e dei regolatori riflette la consapevolezza che gli impatti climatici si propagano attraverso il sistema economico e finanziario, generando potenziali crisi sistemiche. La letteratura accademica ha progressivamente integrato il rischio climatico nelle teorie del rischio finanziario sistemico, sviluppando modelli e metriche per misurarne l'impatto sui mercati e sulle istituzioni finanziarie.

Viene fornita una revisione critica della letteratura sul rischio sistemico finanziario, con particolare attenzione alla relazione tra cambiamento climatico e stabilità del sistema finanziario europeo. Verranno analizzati gli approcci teorici e metodologici utilizzati per valutare il rischio sistemico, nonché gli studi empirici che esaminano le reazioni dei mercati finanziari agli eventi climatici estremi e alle politiche di transizione ecologica.

Nella prima sezione, verranno esaminati i principali contributi teorici alla definizione e alla misurazione del rischio sistemico finanziario. Saranno discussi lavori fondamentali come quelli di Acharya et al. (2017) sulla misurazione del rischio sistemico, Adrian & Brunnermeier (2016) sul concetto di CoVaR, e Brownlees & Engle (2017) sullo SRISK. Questi studi forniscono le basi metodologiche per comprendere come i rischi climatici possano essere incorporati nei framework tradizionali di analisi del rischio finanziario.

Successivamente, il capitolo analizzerà le principali metriche utilizzate per valutare il rischio sistemico, con un focus su modelli quantitativi come il *CoVaR*, il *Marginal Expected Shortfall* (MES) e il *Climate Stress-Test* proposto da Battiston et al. (2017). Questi strumenti consentono di stimare l'impatto degli shock climatici sulla stabilità del sistema finanziario e di identificare le istituzioni maggiormente esposte.

Nell'ultima parte verrà presentata una rassegna degli studi empirici che investigano gli effetti del cambiamento climatico sui mercati finanziari. Saranno analizzati i lavori di

Monasterolo & De Angelis (2020) sulla reazione del mercato azionario all'Accordo di Parigi, Roncoroni et al. (2021) sull'interconnessione tra rischio climatico e stabilità finanziaria, e Curcio et al. (2023) sugli effetti del rischio climatico sul settore bancario e assicurativo americano. Questi studi forniscono evidenze empiriche sull'evoluzione della percezione del rischio climatico da parte degli investitori e delle istituzioni finanziarie.

2.1 Approcci teorici allo studio del rischio sistemico finanziario

Il rischio sistemico finanziario è un concetto chiave nell'analisi della stabilità economica, riferendosi alla possibilità che shock endogeni o esogeni possano innescare crisi che si propagano attraverso l'intero sistema finanziario, minacciandone la funzionalità. La letteratura ha sviluppato diversi approcci teorici per la misurazione e la comprensione di questo fenomeno, integrando progressivamente anche il rischio climatico come una nuova fonte di instabilità.

Negli ultimi anni, studiosi e *policy maker* hanno riconosciuto che il cambiamento climatico può fungere da catalizzatore di rischio sistemico, amplificando le vulnerabilità esistenti nel sistema finanziario. Da un lato, gli eventi climatici estremi e le transizioni improvvise delle politiche ambientali possono colpire direttamente il valore degli asset finanziari e la solvibilità delle istituzioni; dall'altro, le interconnessioni tra attori finanziari possono amplificare gli shock, generando effetti di contagio che compromettono l'intero sistema.

Questa sezione fornirà una panoramica dei principali contributi teorici alla definizione e misurazione del rischio sistemico finanziario, con particolare riferimento agli strumenti sviluppati per valutarne l'impatto. Saranno analizzati lavori fondamentali come *Measuring Systemic Risk* di Acharya et al. (2017), che introduce metriche di vulnerabilità per le istituzioni finanziarie, CoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016), che propone un approccio basato sulla co-varianza del rischio, e *SRISK: A Conditional Capital Shortfall Measure of Systemic Risk* di Brownlees & Engle (2017), che valuta l'ammontare di capitale necessario per fronteggiare crisi sistemiche.

Un aspetto centrale della discussione sarà il contributo di Battiston et al. (2017), che introduce il *Climate Stress-Test of the Financial System*, un framework innovativo per valutare l'impatto del cambiamento climatico sul rischio sistemico. Questa prospettiva amplia il dibattito tradizionale, evidenziando come la dimensione ambientale debba essere integrata nei modelli di analisi del rischio finanziario.

L'analisi dei diversi approcci teorici permetterà di comprendere i punti di forza e le limitazioni delle metriche esistenti, fornendo una base concettuale per la successiva valutazione empirica dell'impatto del cambiamento climatico sulla stabilità finanziaria.

Uno dei contributi più illustri alla letteratura sul rischio sistemico finanziario è lo studio di Acharya et al. (2017), che propone un framework teorico per quantificare il contributo di singole istituzioni finanziarie alla vulnerabilità del sistema economico. Secondo gli autori, il rischio sistemico emerge quando le istituzioni finanziarie, nella loro ricerca di rendimento, sottostimano le esternalità negative delle loro scelte d'investimento, contribuendo così a fenomeni di instabilità diffusa.

Lo studio si concentra in particolare sul *Systemic Expected Shortfall* (SES), una misura che permette di quantificare il contributo di un'istituzione al rischio sistemico complessivo, valutando quanto essa sia vulnerabile in uno scenario di stress finanziario generale. Il SES è definito come:

$$SES_i = E[Capital\ Shortfall_i \mid Crisis]$$

dove:

- E indica il valore atteso della carenza di capitale dell'istituzione i ,
- La condizione *Crisis* rappresenta uno scenario di forte stress finanziario globale.

Questa metrica si basa su due elementi fondamentali: il *leverage*, che indica il grado di indebitamento dell'istituzione rispetto al capitale proprio (maggiore è il *leverage*, maggiore è il rischio che la banca non sia in grado di assorbire perdite improvvise) e il *Marginal Expected Shortfall*, che rappresenta la perdita media attesa del capitale di un'istituzione durante periodi di elevata turbolenza del mercato.

L'intuizione alla base del SES è che istituzioni con un elevato *leverage* e una significativa esposizione a eventi estremi di mercato abbiano maggiori probabilità di contribuire a crisi finanziarie sistemiche. Acharya et al. dimostrano empiricamente che banche con valori elevati di SES prima della crisi del 2007-2009 sono state quelle che hanno subito le perdite maggiori durante la fase più acuta della crisi.

L'evidenza empirica dimostra che il SES ha un'elevata capacità predittiva e che la sua integrazione nei modelli di regolamentazione finanziaria potrebbe contribuire a mitigare il rischio di future crisi, attraverso requisiti patrimoniali differenziati e strategie di contenimento del *leverage*. La sua adozione da parte delle autorità di vigilanza potrebbe quindi rappresentare un passo avanti nella gestione della stabilità del sistema finanziario globale. Gli autori propongono l'integrazione del *Systemic Expected Shortfall* (SES) nei requisiti patrimoniali delle banche, come strumento volto a rafforzare la stabilità del sistema finanziario. A tal fine, suggeriscono due possibili interventi regolatori. Il primo consiste nell'introduzione di requisiti patrimoniali differenziati: le banche che presentano un valore elevato di SES dovrebbero essere soggette a obblighi di capitale più stringenti, al fine di contenere il rischio di insolvenza sistemica. Il secondo intervento proposto riguarda l'adozione di una forma di tassazione del rischio sistemico, denominata *Systemic Risk Tax*, che si baserebbe sul livello di SES. Tale imposta avrebbe la funzione di incentivare le istituzioni finanziarie a ridurre il proprio grado di leva e a limitare il contributo complessivo alla vulnerabilità del sistema.

Questi suggerimenti si allineano alle proposte di altre riforme regolatorie, come Basilea III, che ha introdotto misure per rafforzare la resilienza delle banche a shock di mercato.

Uno degli approcci più rilevanti alla misurazione del rischio sistemico finanziario è il *Conditional Value at Risk* (CoVaR), proposto da Adrian & Brunnermeier (2016). Questo metodo si basa sull'idea che la vulnerabilità di un'istituzione finanziaria non possa essere valutata isolatamente, ma debba essere contestualizzata rispetto alla stabilità dell'intero sistema finanziario. L'indicatore principale derivato da questa metodologia è il ΔCoVaR , che misura la variazione del *Value at Risk* (VaR) del sistema finanziario condizionato al fatto che una specifica istituzione sia in difficoltà, rispetto al suo stato mediano. Questa misura si distingue dai tradizionali indicatori di rischio, come

il VaR individuale, perché tiene conto degli effetti di *spillover*⁵ e delle interconnessioni tra le istituzioni finanziarie. Infatti, il rischio sistemico si manifesta non solo attraverso il fallimento di un singolo ente, ma anche attraverso il deterioramento simultaneo di più istituzioni connesse, generando effetti amplificati di contagio finanziario.

L'approccio di Adrian & Brunnermeier alla modellizzazione del rischio sistemico si basa su due dimensioni fondamentali. Da un lato, considera la dimensione trasversale, che analizza come il rischio si diffonda tra le diverse istituzioni finanziarie. Questo avviene attraverso contratti, esposizioni comuni o meccanismi di mercato che amplificano gli shock iniziali, creando effetti di contagio. Dall'altro, introduce la dimensione temporale, che mette in evidenza la natura pro-ciclica del rischio sistemico. In pratica, nei periodi di stabilità e bassa volatilità, il sistema tende a sottovalutare il rischio, mentre nei momenti di crisi e alta volatilità, lo stesso rischio viene invece sovrastimato, contribuendo ad aggravare le turbolenze finanziarie.

Per stimare il CoVaR, gli autori applicano regressioni quantiliche, che consentono di identificare le relazioni tra la rischiosità di un'istituzione e quella del sistema finanziario, anche nelle code della distribuzione dei rendimenti. In questo modo, è possibile modellare la dipendenza condizionale tra le istituzioni finanziarie nei momenti di maggiore stress di mercato.

L'indicatore ΔCoVaR è costruito nel seguente modo:

$$\Delta\text{CoVaR} = \text{CoVaR}_{i|stress} - \text{CoVaR}_{i|median}$$

In cui:

- $\text{CoVaR}_{i|distress}$ rappresenta il *Value at Risk* del sistema finanziario condizionato al fatto che l'istituzione i si trovi in una situazione di difficoltà finanziaria.

⁵ Lo *spillover* è il fenomeno per cui uno shock economico, finanziario o politico che colpisce un'istituzione, un settore o un paese si propaga ad altri soggetti interconnessi, amplificandone gli effetti. Nel contesto del rischio sistemico finanziario, lo *spillover* si riferisce alla trasmissione del rischio tra istituzioni finanziarie attraverso legami di mercato, esposizioni comuni o dinamiche di contagio.

- $CoVaR_{i|median}$ è invece il VaR del sistema finanziario quando l'istituzione è nel suo stato mediano, ossia in condizioni normali.

Adrian e Brunnermeier (2016) individuano diversi fattori che incidono sul valore del $\Delta CoVaR$, contribuendo così a determinare la vulnerabilità sistemica di un'istituzione finanziaria. In primo luogo, il *leverage* rappresenta un elemento cruciale poiché le istituzioni caratterizzate da un elevato livello di indebitamento tendono a presentare un $\Delta CoVaR$ più alto, in quanto la leva finanziaria amplifica le perdite in contesti di crisi. Un secondo fattore rilevante è la dimensione dell'istituzione (*size*): banche e intermediari di grandi dimensioni esercitano un'influenza maggiore sul rischio sistemico complessivo, riflettendo il ben noto principio del *too big to fail*. A ciò si aggiunge il *maturity mismatch*, ossia il disallineamento tra le scadenze degli attivi e quelle delle passività, che aumenta la probabilità di crisi di liquidità e accresce la vulnerabilità dell'istituzione nei confronti di shock esterni. Infine, i boom finanziari e le bolle speculative rappresentano un ulteriore elemento di rischio, dato che fasi di crescita accelerata degli asset, spesso alimentate da un'espansione del credito, possono anticipare episodi di instabilità, facendo presagire un aumento del rischio sistemico nei periodi successivi.

L'adozione del $CoVaR$ come misura di rischio sistemico ha importanti implicazioni per la regolamentazione finanziaria. I tradizionali requisiti patrimoniali delle banche si basano spesso su indicatori di rischio individuale, ignorando il rischio sistemico generato dalle interconnessioni tra istituzioni. Adrian & Brunnermeier suggeriscono che i regolatori dovrebbero adottare un framework basato su $\Delta CoVaR$ per identificare e mitigare le vulnerabilità del sistema finanziario, intervenendo preventivamente su quelle istituzioni che contribuiscono in misura maggiore alla propagazione del rischio.

Un'altra implicazione chiave riguarda la necessità di stress test sistemici che incorporino il rischio di contagio e la trasmissione degli shock tra le istituzioni finanziarie. L'uso del *forward-looking* $\Delta CoVaR$, proposto dagli autori, potrebbe consentire ai regolatori di monitorare in anticipo la formazione di rischi sistemici, implementando misure macroprudenziali tempestive per contenere le crisi.

Un altro importante contributo alla letteratura sulla misurazione del rischio sistemico finanziario nel contesto del cambiamento climatico è rappresentato dal *Climate Stress-Test Model*, proposto da Battiston et al. (2017). Questo approccio introduce un framework metodologico innovativo che combina modelli di rete finanziaria e stress-test per valutare come i rischi climatici possano propagarsi attraverso il sistema finanziario. L'obiettivo è quello di superare i limiti delle tradizionali metriche di rischio sistemico, che spesso trascurano le interconnessioni tra attori finanziari e i canali di trasmissione del rischio climatico.

Uno degli elementi centrali dell'approccio di Battiston et al. è l'uso di modelli di rete finanziaria, che permettono di analizzare non solo il rischio diretto derivante dall'esposizione agli asset ad alta intensità di carbonio (*stranded assets*), ma anche i rischi indiretti dovuti alle interconnessioni tra istituzioni finanziarie. Questo metodo consente di individuare come il rischio sistemico possa amplificarsi a causa dei legami tra banche, fondi di investimento, assicurazioni e altri intermediari finanziari.

Il framework sviluppato dagli autori identifica cinque settori economici rilevanti per la politica climatica (*climate-policy-relevant sectors*):

- *Fossil fuel* (estrazione e produzione di combustibili fossili);
- *Utilities* (fornitura di elettricità e servizi energetici);
- *Energy-intensive industries* (settori industriali con elevati consumi energetici);
- *Transport* (settore dei trasporti);
- *Housing* (settore immobiliare e costruzioni).

Questa classificazione permette di stimare con maggiore precisione la vulnerabilità del sistema finanziario rispetto agli shock climatici e alle transizioni politiche verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

Il modello di Battiston et al. utilizza uno stress-test climatico per valutare l'impatto delle politiche ambientali sui principali istituti finanziari europei, analizzando due scenari alternativi.

Il primo, lo scenario *brown*, ipotizza un'implementazione tardiva e improvvisa delle politiche climatiche. Questo potrebbe avere effetti negativi significativi sugli asset legati ai combustibili fossili, poiché il mercato non avrebbe il tempo di adattarsi gradualmente alle nuove normative. In particolare, le istituzioni con una forte esposizione ai settori ad alta intensità di carbonio subirebbero le perdite maggiori, aumentando così il rischio di instabilità finanziaria.

Al contrario, lo scenario *green* prevede una transizione più graduale e anticipata, consentendo un adeguamento progressivo dei prezzi degli asset finanziari. Questo approccio ridurrebbe il rischio sistemico, poiché gli investitori e le istituzioni finanziarie avrebbero il tempo di riadattare i loro portafogli in modo più controllato, evitando shock improvvisi e turbolenze di mercato.

Un aspetto innovativo dello studio è la distinzione tra perdite di primo e secondo ordine, le prime derivano direttamente dal deprezzamento degli asset legati ai settori ad alta intensità di carbonio, mentre le seconde risultano dalla trasmissione degli shock attraverso il sistema finanziario, aggravata dall'interconnessione tra istituzioni.

I risultati indicano che, sebbene le perdite dirette siano gestibili per la maggior parte delle istituzioni, gli effetti di rete possono amplificare significativamente il rischio sistemico.

L'approccio di Battiston et al. mette in evidenza l'importanza di integrare il rischio climatico nella regolamentazione finanziaria, riconoscendolo come un elemento essenziale per la stabilità del sistema economico. In particolare, gli autori sottolineano la necessità di adottare misure specifiche per mitigare gli effetti del cambiamento climatico sul settore finanziario.

Un primo aspetto riguarda il monitoraggio del rischio climatico nei bilanci bancari. Le istituzioni finanziarie dovrebbero essere obbligate a rendere trasparenti le loro esposizioni ai settori ad alta intensità di carbonio, poiché queste attività potrebbero subire svalutazioni improvvise a seguito delle politiche di transizione ecologica. Una maggiore trasparenza permetterebbe agli investitori e ai regolatori di valutare meglio la vulnerabilità del sistema finanziario ai rischi legati al cambiamento climatico.

Un'altra misura fondamentale è l'integrazione del rischio climatico nei test di stress finanziari. Le autorità di vigilanza dovrebbero implementare scenari di stress-test che tengano conto delle possibili ripercussioni delle politiche climatiche e degli eventi meteorologici estremi sul sistema finanziario. Questo approccio consentirebbe di valutare la resilienza delle istituzioni finanziarie e di anticipare eventuali criticità prima che diventino sistemiche.

Infine, è essenziale sviluppare politiche macroprudenziali per limitare il rischio sistemico climatico. Strumenti come requisiti di capitale differenziati potrebbero essere introdotti per penalizzare le istituzioni con elevata esposizione ai settori *carbon-intensive*. Questo meccanismo incentiverebbe il disinvestimento dalle attività più rischiose dal punto di vista ambientale, favorendo una transizione più ordinata verso un'economia sostenibile.

Uno degli strumenti più avanzati per la misurazione del rischio sistemico è l'indicatore SRISK (*Systemic Risk Index*), proposto da Brownlees & Engle (2017). Questo indicatore misura il deficit di capitale atteso di una istituzione finanziaria in condizioni di mercato avverso, fornendo una stima del capitale necessario per stabilizzare il sistema finanziario in caso di crisi.

L'idea centrale di SRISK è che, in un contesto di stress finanziario generalizzato, le istituzioni con elevata leva finanziaria e alta esposizione al rischio di mercato potrebbero non disporre di capitale sufficiente per mantenere la stabilità finanziaria. Il deficit di capitale sistemico viene calcolato come:

$$SRISK_i = kD_i - (1 - k) W_i (1 - LRMES_i)$$

dove:

- D_i è il valore contabile del debito dell'istituzione i ;
- W_i è il valore di mercato del capitale proprio;
- k è il rapporto di capitale regolamentare minimo richiesto (tipicamente fissato all'8%);

- $LRMES_i$ è il *Long-Run Marginal Expected Shortfall*, ossia la perdita attesa del valore del capitale in caso di shock sistemico.

Un valore elevato di SRISK indica che l'istituzione finanziaria contribuisce significativamente al rischio sistemico, poiché richiederebbe un'elevata iniezione di capitale per rimanere solvibile in caso di crisi.

L'approccio sviluppato da Brownlees e Engle (2017) mette in luce tre fattori determinanti nella definizione del livello di SRISK, ovvero l'indice che misura il deficit di capitale atteso di un'istituzione finanziaria in caso di crisi sistemica. Il primo fattore è rappresentato dal *leverage*: quanto maggiore è il grado di indebitamento rispetto al capitale proprio, tanto più elevata è la probabilità che l'istituzione si trovi in difficoltà durante una fase di stress finanziario. Il secondo elemento è la sensibilità ai crolli del mercato, misurata attraverso il *Long-Run Marginal Expected Shortfall* (LRMES). Le istituzioni fortemente esposte alle fluttuazioni del mercato tendono infatti a registrare perdite più consistenti nei periodi di elevata volatilità. Infine, anche la dimensione dell'istituzione gioca un ruolo significativo: gli enti di grandi dimensioni, come le cosiddette banche *too big to fail*, sono in grado di trasmettere rapidamente le proprie difficoltà al resto del sistema finanziario, contribuendo ad amplificare il rischio sistemico.

Per stimare LRMES, gli autori utilizzano un modello GARCH-DCC, che permette di catturare la volatilità condizionata e la dipendenza temporale tra i rendimenti del mercato e delle singole istituzioni.

Uno degli aspetti innovativi di SRISK è la sua capacità di anticipare le crisi finanziarie. Brownlees & Engle (2017) applicano l'indicatore per analizzare la crisi finanziaria del 2007-2009, dimostrando che istituzioni come Fannie Mae, Freddie Mac, Morgan Stanley e Lehman Brothers mostravano livelli elevati di SRISK già dal 2005. Questo suggerisce che l'indicatore potrebbe essere utilizzato dai regolatori per identificare in anticipo le istituzioni più vulnerabili. Inoltre, SRISK si è dimostrato un buon predittore di eventi macroeconomici negativi, come il calo della produzione industriale e l'aumento della disoccupazione. In particolare, gli autori evidenziano che l'incremento di SRISK aggregato anticipa le fasi di recessione economica.

L'approccio SRISK presenta rilevanti implicazioni per la regolamentazione finanziaria, offrendo uno strumento utile per monitorare e mitigare il rischio sistemico.

In primo luogo, lo SRISK consente di identificare le istituzioni finanziarie più vulnerabili, evidenziando quelle con un deficit di capitale critico. Grazie a questa capacità di previsione, i regolatori possono intervenire tempestivamente per rafforzare la stabilità del sistema finanziario, adottando misure correttive mirate.

Un altro aspetto fondamentale è la definizione di requisiti di capitale dinamici. Le banche e le istituzioni con un elevato livello di SRISK potrebbero essere soggette a vincoli patrimoniali più stringenti, in modo da ridurre la loro esposizione al rischio sistemico e aumentarne la resilienza in caso di crisi.

Inoltre, lo SRISK potrebbe essere integrato nei test di stress finanziari, migliorando la capacità di previsione della vulnerabilità del sistema. L'adozione di scenari basati su questa misura permetterebbe di valutare con maggiore precisione l'impatto di shock finanziari e climatici sulle istituzioni, aiutando i *policy maker* a implementare strategie più efficaci per la stabilità finanziaria.

Le misure di rischio sistemico finanziario analizzate – SES, CoVaR, SRISK e il *Climate Stress-Test Model* – si differenziano per obiettivi, metodologia e applicazione. Ognuna di esse fornisce una prospettiva unica sulla valutazione del rischio sistemico, offrendo strumenti complementari per la gestione della stabilità finanziaria.

L'approccio di Acharya et al. (2017) alla misurazione del rischio sistemico si distingue per la sua capacità di integrare informazioni sulla carenza di capitale attesa, il leverage e l'esposizione al rischio di mercato. Il *Systemic Expected Shortfall* (SES) permette di quantificare il contributo di un'istituzione finanziaria alla vulnerabilità complessiva del sistema, evidenziando quali attori sarebbero maggiormente esposti in uno scenario di crisi globale.

Rispetto ad altre misure di rischio sistemico, il SES presenta caratteristiche complementari. Il CoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016) rappresenta un avanzamento significativo nella misurazione del rischio sistemico, poiché quantifica il contributo di una singola istituzione alla stabilità del sistema finanziario. Questo

indicatore misura il *Value at Risk* (VaR) del sistema finanziario condizionato allo stress di una specifica istituzione, catturando i meccanismi di *spillover* e il rischio di contagio tra gli intermediari finanziari. Il CoVaR aiuta a comprendere come il rischio si accumuli in periodi di apparente stabilità e si manifesti improvvisamente durante le crisi, rendendolo uno strumento utile per la regolamentazione finanziaria. Tuttavia, questa misura non considera il fabbisogno di capitale necessario per assorbire gli shock, limitandone l'applicazione nella gestione del rischio patrimoniale.

A differenza del CoVaR, lo SRISK di Brownlees & Engle (2017) fornisce un indicatore quantitativo della carenza di capitale attesa di un'istituzione finanziaria in scenari di crisi, valutando la quantità di capitale necessaria per ripristinare la stabilità del sistema. Questo approccio consente ai regolatori di identificare le istituzioni più vulnerabili prima che una crisi si manifesti, migliorando così la capacità di intervento preventivo. SRISK risulta particolarmente utile per stabilire requisiti patrimoniali dinamici e per integrare l'analisi del rischio sistemico nei test di stress finanziari. Tuttavia, pur essendo uno strumento efficace per la previsione del rischio, SRISK rimane una misura generale che non tiene conto delle specificità legate alla transizione climatica e ai rischi ambientali.

Un'ulteriore dimensione è introdotta dal *Climate Stress-Test Model* di Battiston et al. (2017), che amplia il concetto di rischio sistemico includendo il rischio climatico nelle valutazioni di stabilità finanziaria. Questo modello analizza le interconnessioni finanziarie e simula scenari di transizione climatica per identificare le istituzioni e i settori più vulnerabili alle politiche ambientali. A differenza di CoVaR e SRISK, che si focalizzano rispettivamente sul contagio finanziario e sulla resilienza patrimoniale, il *Climate Stress-Test Model* valuta esplicitamente l'effetto delle politiche climatiche sulle esposizioni finanziarie, distinguendo tra transizioni gradualmente e improvvisamente. L'applicazione di questo modello permette di anticipare il rischio sistemico derivante dalla svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio (*stranded assets*) e dalla trasformazione dei mercati finanziari in risposta alle normative ambientali.

Le diverse misure di rischio sistemico analizzate – SES, CoVaR, SRISK e il *Climate Stress-Test Model* – non sono alternative tra loro, ma strumenti complementari che rispondono a esigenze differenti nella valutazione della stabilità finanziaria.

Il CoVaR è utile per misurare il contagio tra istituzioni finanziarie, evidenziando come il rischio di una singola banca possa amplificarsi e propagarsi all'intero sistema. Lo SRISK, invece, si concentra sulla carenza di capitale necessaria per garantire la solvibilità delle istituzioni in scenari di crisi, aiutando i regolatori a identificare le banche più vulnerabili e a definire requisiti patrimoniali più stringenti. Il *Systemic Expected Shortfall* (SES), sviluppato da Acharya et al. (2017), combina questi aspetti fornendo una misura immediata del rischio sistemico, basata su dati di mercato, che integra l'effetto leva e l'esposizione al rischio finanziario.

A differenza di queste metriche, il *Climate Stress-Test Model* introduce una prospettiva innovativa, includendo il rischio climatico nella valutazione della stabilità finanziaria. Questo modello amplia il concetto tradizionale di rischio sistemico, evidenziando come la transizione ecologica e le politiche ambientali possano diventare nuovi driver di instabilità finanziaria.

In sintesi, mentre CoVaR e SRISK si concentrano principalmente sulle crisi di natura finanziaria tradizionale, il *Climate Stress-Test Model* integra fattori ambientali e regolatori, offrendo una visione più completa dei rischi emergenti per il sistema finanziario globale. Il contributo di Acharya et al. (2017) con il SES si distingue per la sua capacità di individuare le istituzioni più vulnerabili in caso di crisi globale, fornendo un indicatore essenziale per la regolamentazione e la gestione del rischio sistemico.

2.2 Modelli e metriche per la misurazione del rischio sistemico

Dopo aver esaminato, nella sezione 2.1, i principali approcci teorici allo studio del rischio sistemico finanziario, questa sezione approfondisce gli strumenti quantitativi utilizzati per misurarlo, con un focus sulle metriche più rilevanti sviluppate nella letteratura economica e finanziaria. Questa sezione si propone di analizzare in che modo gli approcci teorici al rischio sistemico si traducano in strumenti quantitativi, ovvero in metriche e modelli utilizzati per stimare la probabilità e l'entità di crisi finanziarie di natura sistemica. Verranno esaminati quattro strumenti principali. Il primo è il ΔCoVaR , una misura che consente di valutare l'impatto potenziale di una singola istituzione sul rischio sistemico complessivo, mettendo in evidenza le interdipendenze tra gli attori del

mercato finanziario. A seguire, lo SRISK rappresenta un indicatore utile a stimare il capitale che un'istituzione dovrebbe detenere per rimanere solvibile in scenari di forte stress di mercato. Il *Marginal Expected Shortfall* (MES), invece, permette di quantificare il contributo marginale di una singola istituzione al rischio complessivo del sistema finanziario, in particolare durante le fasi di turbolenza. Per ultimo, il *Climate Risk Assessment Model* sviluppato da Battiston et al. (2019) integra nella misurazione del rischio sistemico anche la componente climatica, considerando gli effetti della transizione ecologica e il rischio di svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio, noti come *stranded assets*.

L'obiettivo di questa sezione è quindi duplice: da un lato, fornire una panoramica chiara delle metriche più avanzate per la misurazione del rischio sistemico, evidenziandone le differenze concettuali e metodologiche; dall'altro, esplorare come queste metriche possano essere adattate per affrontare le sfide emergenti legate al cambiamento climatico e alla stabilità finanziaria globale.

L'approccio quantitativo di Acharya et al. (2017) si basa sulla misura del *Systemic Expected Shortfall* (SES), che quantifica la carenza di capitale di un'istituzione finanziaria in uno scenario di crisi globale. L'idea centrale è che le istituzioni con elevato *leverage* e forte esposizione alle code della distribuzione dei rendimenti del mercato contribuiscono in misura maggiore al rischio sistemico.

Il SES è definito come:

$$SES_i = E[Capital\ Shortfall_i \mid W_1 < zA]$$

dove:

- SES_i rappresenta il capitale mancante atteso dell'istituzione i durante una crisi sistemica.
- W_1 è il capitale aggregato del sistema finanziario nel periodo successivo.
- zA è la soglia di capitale necessaria per evitare effetti negativi sulla stabilità finanziaria.

Il SES è direttamente proporzionale al *Marginal Expected Shortfall* (MES) dell'istituzione finanziaria, che misura la perdita media attesa nei peggiori giorni del mercato, e al suo *leverage*:

$$SES_i = LVG_i \times MES_i$$

dove:

- LVG_i è il *leverage* dell'istituzione i , calcolato come il rapporto tra il valore delle attività e il capitale proprio.
- MES_i rappresenta la perdita attesa dell'istituzione nei giorni in cui il mercato sperimenta le peggiori performance.

Questa relazione evidenzia come banche con elevata leva finanziaria e una maggiore esposizione ai rischi di mercato abbiano un SES più alto e contribuiscano in modo significativo al rischio sistemico.

Il modello di Acharya et al. sviluppa un quadro quantitativo per determinare una tassazione ottimale del rischio sistemico, che incentivi le istituzioni finanziarie a ridurre il proprio contributo al rischio complessivo. L'equazione ottimale della tassa sistemica è data da:

$$\tau_i = \frac{\alpha_i g}{c} Pr(w_1^i < 0) \cdot ES_i + \frac{e}{c} Pr(W_1 < zA) \cdot SES_i + \tau_0$$

dove:

- τ_i è la tassa imposta sull'istituzione i .
- $\frac{\alpha_i g}{c}$ rappresenta il costo della garanzia governativa sui depositi bancari.
- $Pr(w_1^i < 0)$ è la probabilità che l'istituzione i sia sotto-capitalizzata.
- $Pr(W_1 < zA)$ è la probabilità di una crisi sistemica.
- $\frac{e}{c}$ misura l'entità dell'esternalità generata dalla crisi finanziaria.
- τ_0 è un termine di aggiustamento per bilanciare il budget del sistema regolatorio.

L'intuizione economica di questa tassa è che le istituzioni con SES elevato devono pagare una tassa proporzionale al loro contributo al rischio sistemico, incentivandole a ridurre la leva finanziaria e migliorare la gestione del rischio.

Uno degli strumenti quantitativi più avanzati per la misurazione del rischio sistemico è il *Conditional Value at Risk* (CoVaR), proposto da Adrian & Brunnermeier (2016). A differenza del tradizionale *Value at Risk* (VaR), che misura il rischio di una singola istituzione in isolamento, il CoVaR quantifica la variazione del rischio sistemico condizionato allo stress di una specifica istituzione finanziaria. Questo modello consente quindi di stimare le relazioni di dipendenza tra le istituzioni e il rischio di contagio finanziario.

Formalmente, il CoVaR di un'istituzione i rispetto al sistema finanziario s è definito come:

$$CoVaR_{s|i}^{\alpha} = VaR_{s|C(X_i)}$$

dove:

- $VaR_{s|C(X_i)}$ rappresenta il *Value at Risk* del sistema condizionato a un evento relativo all'istituzione i , come il suo stato di difficoltà o il suo valore mediano.
- $C(X_i)$ rappresenta una condizione specifica sull'istituzione i , come ad esempio il suo stato di difficoltà o il suo valore mediano. In altre parole, il CoVaR misura il *Value at Risk* del sistema finanziario condizionato a una particolare situazione di un'istituzione.
- α rappresenta il livello di confidenza con cui viene calcolato il *Value at Risk* (VaR). Nella pratica, α è solitamente fissato a valori come 1% o 5%, indicando che la misura viene calcolata considerando una probabilità di perdita estrema associata a quel livello di confidenza.

L'elemento chiave del modello è il $\Delta CoVaR$, che misura il contributo marginale di un'istituzione al rischio sistemico e viene definito come:

$$\Delta CoVaR_i^{\alpha} = CoVaR_{s|i_{stress}}^{\alpha} - CoVaR_{s|i_{median}}^{\alpha}$$

Questa differenza consente di valutare quanto un'istituzione amplifichi il rischio sistemico rispetto a una situazione normale. Un valore elevato di ΔCoVaR indica che l'istituzione è fortemente interconnessa con il resto del sistema e potrebbe generare effetti di *spillover* significativi in caso di crisi.

La stima del CoVaR viene effettuata attraverso *quantile regressions*, che consentono di modellare le relazioni condizionali tra il rischio di una singola istituzione e quello del sistema nelle code della distribuzione dei rendimenti. L'equazione di stima del CoVaR viene formalizzata come:

$$X_s = \alpha_q + \beta_q X_i + \epsilon_q$$

dove:

- X_s è il rendimento del sistema finanziario;
- X_i è il rendimento dell'istituzione finanziaria i ;
- α_q e β_q sono i parametri stimati per il quantile q ;
- ϵ_q è l'errore residuo.

La regressione quantilica permette di ottenere una stima condizionata degli eventi estremi, evitando i limiti delle regressioni lineari tradizionali che non catturano adeguatamente la dipendenza nelle code della distribuzione.

Una caratteristica chiave del modello è la direzionalità del CoVaR. È possibile stimare le varianti $\text{CoVaR}_{s|i}$, che misura l'impatto del rischio di una specifica istituzione sul sistema finanziario e $\text{CoVaR}_{i|s}$, che misura quanto un'istituzione sia vulnerabile a uno shock sistemico. Questa distinzione consente di differenziare tra istituzioni che propagano il rischio e istituzioni che sono più esposte al rischio sistemico.

Per migliorare la precisione della stima del CoVaR, Adrian & Brunnermeier (2016) introducono un modello che integra variabili di stato del mercato finanziario. In particolare, la stima del *forward-looking* ΔCoVaR viene ottenuta tramite regressioni sulle caratteristiche istituzionali e sui fattori di mercato:

$$\Delta CoVaR_{i,t}^{\alpha} = \gamma_0 + \gamma_1 Leverage_i + \gamma_2 Size_i + \gamma_3 MaturityMismatch_i + \gamma_4 AssetValuation_i + \epsilon_t$$

dove le variabili esplicative includono:

- *Leverage*: grado di indebitamento dell'istituzione.
- *Size*: dimensione dell'istituzione.
- *Maturity Mismatch*: disallineamento tra la durata degli attivi e delle passività.
- *Asset Valuation*: presenza di bolle speculative negli asset finanziari.

Questo modello consente di prevedere la futura evoluzione del rischio sistemico, evidenziando come la crescita eccessiva dell'indebitamento e l'euforia finanziaria possano aumentare il rischio di crisi.

Uno degli strumenti quantitativi più avanzati per la valutazione del rischio sistemico è SRISK (*Systemic Risk Index*), sviluppato da Brownlees & Engle (2017). A differenza di altre metriche, SRISK misura il deficit di capitale atteso di un'istituzione finanziaria in condizioni di mercato avverso, fornendo un'indicazione diretta della quantità di capitale necessaria per stabilizzare il sistema finanziario in caso di crisi.

SRISK è definito come il capitale mancante che un'istituzione dovrebbe raccogliere per rimanere solvibile in caso di un grave deterioramento del mercato. La formula principale che definisce SRISK è:

$$SRISK_i = kD_i - (1 - k) W_i (1 - LRMES_i)$$

dove:

- D_i è il valore contabile del debito dell'istituzione i ;
- W_i è il valore di mercato del capitale proprio;
- k è il rapporto di capitale regolamentare minimo richiesto (tipicamente fissato all'8%);

- $LRMES_i$ è il *Long-Run Marginal Expected Shortfall*, ossia la perdita attesa del valore del capitale in caso di shock sistemico.

SRISK è positivo per le istituzioni che necessitano di ricapitalizzazione in caso di crisi finanziaria e negativo per quelle che dispongono di capitale in eccesso. Un valore elevato di SRISK indica che l'istituzione rappresenta un rischio maggiore per la stabilità del sistema finanziario.

Una misura complementare di SRISK è l'aggregato SRISK, che somma il deficit di capitale di tutte le istituzioni finanziarie per fornire una stima del capitale totale necessario per evitare una crisi sistemica:

$$SRISK_t = \sum_{i=1}^N (SRISK_i)^+$$

dove il simbolo $(x)^+$ indica che si considerano solo i valori positivi, ossia i deficit di capitale, escludendo eventuali surplus di capitale di alcune istituzioni.

Un elemento chiave nella misurazione di SRISK è il *Long-Run Marginal Expected Shortfall* (LRMES), che rappresenta la perdita percentuale attesa del valore azionario di un'istituzione nel caso in cui il mercato subisca un calo significativo. Il LRMES è definito come:

$$LRMES_i = -E(R_i \mid R_m < C)$$

dove:

- R_i è il rendimento del capitale proprio dell'istituzione i ;
- R_m è il rendimento del mercato finanziario aggregato;
- C è una soglia critica che definisce un evento sistemico (tipicamente una perdita di almeno il 10% del mercato in un mese).

Per stimare il LRMES, Brownlees & Engle utilizzano un modello GARCH-DCC (*Dynamic Conditional Correlation*), che permette di catturare le variazioni dinamiche nella volatilità e nella correlazione tra i rendimenti del mercato e quelli delle singole istituzioni. Il processo di stima si articola in più fasi. Nella prima, viene modellata la

volatilità dei rendimenti sia delle singole istituzioni finanziarie sia del mercato nel suo complesso, utilizzando il modello GJR-GARCH, che consente di catturare gli effetti asimmetrici della volatilità. Successivamente, si procede con la stima delle correlazioni dinamiche tra le istituzioni e il mercato mediante il modello *Dynamic Conditional Correlation* (DCC) sviluppato da Engle (2002), il quale permette di analizzare l'evoluzione nel tempo delle interdipendenze tra i rendimenti. Nella terza fase, viene effettuata una simulazione Monte Carlo al fine di stimare il *Long-Run Marginal Expected Shortfall* (LRMES) in condizioni di stress di mercato, offrendo una misura probabilistica della perdita attesa in caso di shock sistemici. Questa metodologia consente di ottenere una misura *forward-looking*, capace di anticipare il rischio sistemico prima che una crisi si manifesti.

Un'altra metrica per la misurazione del rischio climatico nel sistema finanziario è il *CLIMAFIN framework*, sviluppato da Battiston et al. (2019). Questo modello permette di integrare i rischi di transizione climatica nella valutazione del rischio finanziario, applicandolo in particolare ai titoli sovrani detenuti dalle compagnie assicurative europee.

Il modello CLIMAFIN si basa su un approccio *forward-looking*, che combina scenari economici di transizione climatica con metriche finanziarie avanzate per prevedere l'impatto di possibili politiche ambientali sulla stabilità finanziaria. L'obiettivo è quello di stimare la probabilità di default dei titoli sovrani in funzione di scenari climatici, il cosiddetto *Climate Sovereign Spread*, e il potenziale impatto sulle istituzioni finanziarie esposte a tali asset.

L'approccio quantitativo adottato dal modello CLIMAFIN si articola in una serie di passaggi fondamentali per la valutazione del rischio sistemico connesso alla transizione climatica. Il primo passaggio consiste nella definizione di scenari di politica climatica, attraverso l'utilizzo di proiezioni sviluppate dall'IPCC⁶ e dalla comunità scientifica

⁶ L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici. Fondato nel 1988 dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) e dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), l'IPCC fornisce valutazioni scientifiche sul cambiamento climatico, i suoi impatti e le possibili strategie di mitigazione e adattamento, basandosi sulle ricerche più aggiornate disponibili a livello globale.

internazionale. Tali scenari consentono di simulare l'introduzione di misure regolatorie come la *carbon tax* o gli incentivi per le energie rinnovabili. In secondo luogo, viene stimato l'impatto di queste politiche sulla redditività dei vari settori economici, modellando la variazione delle quote di mercato tra attività ad alta e a bassa intensità di carbonio. Il terzo passaggio riguarda la valutazione della probabilità di default dei titoli sovrani, mediante l'integrazione degli shock climatici all'interno delle metriche di rischio finanziario, al fine di stimare il *Climate Sovereign Spread* e i relativi rischi di insolvenza per gli emittenti sovrani. Nell'ultimo passaggio, viene analizzato l'impatto di tali scenari sui portafogli degli investitori istituzionali, simulando le perdite attese per le compagnie assicurative europee che detengono titoli di Stato esposti a rischi climatici, così da cogliere le implicazioni sistemiche di una transizione disordinata.

L'elemento centrale del modello CLIMAFIN è la stima della probabilità di default sovrano $q_j(P)$ sotto uno scenario di politica climatica P , data dalla relazione:

$$q_j(P) = Prob(\eta_j < \theta_j(P))$$

dove:

- η_j rappresenta il livello di solvibilità del sovrano j ;
- $\theta_j(P)$ è la soglia di default che dipende dallo scenario climatico P ;
- $q_j(P)$ misura la probabilità di insolvenza del paese a seguito dell'introduzione della politica climatica.

L'impatto delle politiche climatiche sui titoli sovrani viene quantificato attraverso il *Climate Sovereign Spread* $\Delta q_j(P)$, definito come:

$$\Delta q_j(P) = q_j(P) - q_j(B)$$

dove $q_j(B)$ è la probabilità di default nello scenario di *business-as-usual*, senza politiche climatiche restrittive.

L'effetto delle politiche climatiche viene quindi incorporato in un modello di valutazione dei titoli di stato, che tiene conto della probabilità di default e del valore atteso dei bond:

$$P_j = e^{-r_f(T-t)} E[V_j(T)]$$

dove:

- P_j è il prezzo del titolo sovrano emesso dal paese j ;
- r_f è il tasso privo di rischio;
- $E[V_j(T)]$ è il valore atteso del titolo alla scadenza T .

La variazione del valore dei titoli sovrani a seguito di uno shock climatico è quindi determinata dall'aumento del rischio di insolvenza $\Delta q_j(P)$, che si riflette nel rendimento richiesto dagli investitori.

L'adozione del modello CLIMAFIN ha rilevanti implicazioni per la regolamentazione finanziaria, in quanto fornisce strumenti innovativi per monitorare e gestire il rischio climatico nel settore obbligazionario.

Un primo aspetto riguarda il monitoraggio del rischio climatico nei titoli sovrani. Gli enti regolatori possono utilizzare CLIMAFIN per analizzare l'esposizione delle istituzioni finanziarie ai rischi di transizione, valutando l'impatto delle politiche climatiche sui portafogli obbligazionari. Questo permetterebbe di individuare in anticipo eventuali vulnerabilità nei mercati finanziari e adottare misure preventive per contenere il rischio sistemico.

Un altro ambito di applicazione riguarda la definizione di requisiti di capitale più stringenti per le istituzioni finanziarie con elevate esposizioni a titoli di stati *carbon-intensive*. Le economie fortemente dipendenti dai combustibili fossili potrebbero subire una significativa svalutazione dei propri asset a seguito di politiche di transizione climatica. Per questo motivo, le banche e le compagnie assicurative che detengono un elevato numero di titoli sovrani di questi paesi potrebbero essere soggette a requisiti patrimoniali più elevati, con l'obiettivo di rafforzare la loro stabilità finanziaria e ridurre il rischio di contagio.

Infine, CLIMAFIN può essere integrato nei test di stress climatici, consentendo di valutare il rischio sovrano in scenari di transizione climatica. L'inclusione di questa

metodologia nei test di resistenza finanziaria permetterebbe di simulare l'impatto di shock climatici sui mercati obbligazionari, fornendo indicazioni utili per l'elaborazione di politiche macroprudenziali più efficaci.

Le metodologie avanzate per la misurazione del rischio sistemico forniscono strumenti sempre più sofisticati per identificare e gestire le vulnerabilità finanziarie, sia di origine endogena che legate alla transizione climatica. Ogni modello analizzato offre una prospettiva complementare, contribuendo a una comprensione più approfondita del rischio sistemico e delle sue implicazioni per la stabilità finanziaria globale.

Il *Systemic Expected Shortfall* (SES) di Acharya et al. (2017) rappresenta un framework solido per la valutazione del rischio sistemico, combinando due dimensioni fondamentali: l'effetto leva, che amplifica la vulnerabilità delle istituzioni finanziarie, e l'esposizione ai rischi di mercato, catturata dal *Marginal Expected Shortfall* (MES). L'integrazione del SES nella regolamentazione macroprudenziale potrebbe migliorare la capacità di prevenire crisi future, attraverso stress-test più accurati e requisiti patrimoniali calibrati in base al contributo delle istituzioni al rischio sistemico.

Il CoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016) offre un approccio focalizzato sul contagio tra istituzioni finanziarie, quantificando il rischio che una crisi in una singola banca possa propagarsi al resto del sistema. Grazie all'impiego delle regressioni quantiliche, il CoVaR permette ai regolatori di monitorare l'accumulo del rischio anche nei periodi di apparente stabilità, riducendo la probabilità di shock improvvisi.

Lo SRISK di Brownlees & Engle (2017) introduce una prospettiva complementare, concentrandosi sulla carenza di capitale necessaria per garantire la solvibilità delle istituzioni finanziarie in caso di shock sistemici. L'uso di modelli avanzati come il GARCH-DCC per la stima del *Long-Run Marginal Expected Shortfall* (LRMES) fornisce una misura dinamica del rischio, capace di anticipare il deterioramento delle condizioni macroeconomiche e finanziarie, supportando così l'adozione di misure preventive da parte delle autorità di vigilanza.

Il modello CLIMAFIN, sviluppato da Battiston et al. (2019), rappresenta un'innovazione nella valutazione del rischio sistemico legato alla transizione climatica. Integrando scenari di politica ambientale nella probabilità di default sovrano, questo

modello permette di quantificare l'impatto della transizione ecologica sui portafogli degli investitori istituzionali. L'introduzione del *Climate Sovereign Spread* fornisce un quadro più accurato dei rischi finanziari derivanti dalle politiche climatiche, sottolineando l'importanza di una gestione ordinata della transizione per garantire la stabilità economica e finanziaria nel lungo periodo.

L'integrazione di queste metodologie nei modelli di regolamentazione finanziaria rappresenta un passo essenziale per una supervisione più efficace. Una combinazione di misure che considerino il contagio finanziario (CoVaR), la carenza di capitale (SRISK e SES) e il rischio climatico (CLIMAFIN) può migliorare la capacità delle autorità di vigilanza di anticipare e mitigare i rischi sistemici prima che questi si trasformino in crisi globali, contribuendo così a una maggiore resilienza del sistema finanziario.

2.3 Studi empirici sugli effetti del cambiamento climatico sui mercati finanziari

Negli ultimi anni, la letteratura accademica ha dedicato crescente attenzione all'impatto del cambiamento climatico sui mercati finanziari. A differenza delle sezioni precedenti, che si sono concentrate sugli approcci teorici e sulle metriche per la misurazione del rischio sistemico, questa sezione esamina evidenze empiriche relative alla reazione dei mercati finanziari ai rischi climatici e alle politiche di transizione ecologica.

Prima di analizzare gli studi empirici più recenti, verrà fornito un riassunto delle analisi empiriche presenti nei paper trattati nella sezione 2.2, tra cui le applicazioni del CoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016), dello SRISK di Brownlees & Engle (2017) e del CLIMAFIN framework di Battiston et al. (2019). Questi studi hanno già fornito evidenze empiriche su come i modelli quantitativi possano essere utilizzati per valutare il rischio sistemico legato sia agli shock finanziari tradizionali sia a quelli derivanti dalla transizione climatica.

Successivamente, l'analisi prenderà in considerazione ulteriori contributi empirici rilevanti, volti a esaminare come gli eventi climatici estremi, le politiche di decarbonizzazione e la percezione del rischio climatico incidano sul valore degli asset

finanziari e sulla stabilità complessiva del sistema. Tra gli studi più significativi in questa direzione si annovera il lavoro di Monasterolo e De Angelis (2020), che analizzano la reazione dei mercati azionari all'annuncio dell'Accordo di Parigi del 2015, mettendo in evidenza il livello di consapevolezza degli investitori nei confronti del rischio del carbonio (*carbon risk*). Un altro contributo è quello di Roncoroni et al. (2021), che indagano la relazione tra rischio climatico e stabilità finanziaria, mappando le interconnessioni tra banche e fondi d'investimento per valutare il potenziale effetto di contagio derivante da uno shock climatico. Inoltre, lo studio di Curcio et al. (2023) approfondisce l'impatto del cambiamento climatico sul rischio sistemico nel settore bancario e assicurativo degli Stati Uniti, evidenziando differenze significative nell'esposizione al rischio tra le diverse tipologie di intermediari finanziari.

Questa sezione si propone di sintetizzare i principali risultati empirici di questi studi, illustrando come il rischio climatico si rifletta nei prezzi di mercato, nelle strategie degli investitori e nella stabilità finanziaria complessiva. L'obiettivo è comprendere se e in che misura i mercati finanziari incorporano i rischi climatici, e quali implicazioni derivano per la regolamentazione e la gestione del rischio sistemico.

Gli autori Acharya et al. testano il *Systemic Expected Shortfall* (SES) su un dataset di 102 istituzioni finanziarie globali dal 2000 al 2015, confrontandolo con altre misure di rischio sistemico. I risultati empirici principali dello studio mettono in luce l'elevata capacità predittiva del SES, evidenziando come tale metrica sia in grado di identificare con notevole precisione le istituzioni finanziarie maggiormente colpite durante la crisi del 2008. In particolare, emerge che le banche caratterizzate da un elevato livello di *leverage* e da un alto valore di MES prima della crisi abbiano subito perdite significativamente più consistenti. Il SES risulta inoltre fortemente correlato con diversi indicatori di rischio sistemico, quali il rischio di insolvenza, le perdite azionarie e l'aumento dello spread dei *Credit Default Swap* (CDS) bancari in fasi di turbolenza, suggerendo che le istituzioni con valori elevati di SES siano anche quelle più esposte alla possibilità di dover ricorrere a interventi pubblici di salvataggio. Dal punto di vista regolatorio, l'integrazione del SES nei test di stress finanziari potrebbe contribuire in modo sostanziale a migliorare la capacità di individuare le vulnerabilità sistemiche in fase preventiva, consentendo di adottare misure correttive prima che si verifichino crisi

conclamate. In quest'ottica, il SES si presta anche a essere utilizzato come base per l'imposizione di requisiti patrimoniali più stringenti nei confronti delle istituzioni con un contributo elevato al rischio sistemico. Infine, rispetto a metriche tradizionali come il VaR e il ΔCoVaR , il SES risulta più efficace in quanto incorpora in modo congiunto informazioni sulla leva finanziaria e sulla sensibilità agli shock estremi di mercato, offrendo così una rappresentazione più completa della vulnerabilità sistemica delle singole istituzioni.

Adrian e Brunnermeier (2016) hanno applicato il modello CoVaR a un ampio dataset di istituzioni finanziarie statunitensi, coprendo un periodo che va dal 1971 al 2013. I risultati empirici ottenuti evidenziano che le istituzioni caratterizzate da un'elevata leva finanziaria e da un marcato disallineamento tra le scadenze delle attività e delle passività (*maturity mismatch*) presentano livelli significativamente più elevati di ΔCoVaR , contribuendo in misura maggiore al rischio sistemico. Inoltre, l'analisi dimostra che il ΔCoVaR , se stimato in modalità *forward-looking* nel 2006, avrebbe permesso di prevedere oltre un terzo del rischio sistemico effettivamente realizzatosi durante la crisi finanziaria del 2007-2009, a conferma del suo valore predittivo. L'impiego del ΔCoVaR su base settimanale si è rivelato particolarmente utile per i regolatori, in quanto consente di monitorare l'accumulo progressivo di rischio anche durante fasi di apparente stabilità nei mercati finanziari, offrendo uno strumento efficace per l'azione macroprudenziale preventiva.

Attraverso l'applicazione dello SRISK alle principali istituzioni finanziarie statunitensi nel periodo compreso tra il 2005 e il 2012, Brownlees e Engle hanno ottenuto risultati di particolare rilievo per la comprensione del rischio sistemico. Innanzitutto, il modello si è dimostrato efficace nell'identificare in anticipo le istituzioni più vulnerabili a una crisi finanziaria. Già nel primo trimestre del 2005, infatti, lo SRISK segnalava come maggiormente esposte al rischio di sotto-capitalizzazione entità come Fannie Mae, Freddie Mac, Morgan Stanley, Bear Stearns e Lehman Brothers. In secondo luogo, l'indicatore aggregato di SRISK si è rivelato un potente strumento di previsione delle crisi sistemiche: a partire da luglio 2007, la misura ha registrato un progressivo aumento della fragilità del sistema finanziario, culminato nel picco osservato nel settembre 2008, in coincidenza con il fallimento di Lehman Brothers. Lo SRISK aggregato presenta,

inoltre, una correlazione significativa con le condizioni macroeconomiche: incrementi della misura sono associati, nei mesi successivi, a un calo della produzione industriale e a un aumento del tasso di disoccupazione, confermandone la capacità di anticipare le ripercussioni economiche derivanti da una crisi finanziaria.

Battiston et al. (2019) applicano il modello CLIMAFIN all'analisi dei portafogli di titoli di Stato detenuti dalle compagnie assicurative europee, utilizzando un ampio insieme di dati provenienti dal framework *Solvency II*, che comprende 1.576 compagnie assicurative e oltre 10.000 obbligazioni sovrane. I risultati empirici evidenziano come una transizione climatica disordinata possa determinare un aumento significativo del *Climate Sovereign Spread* nei paesi fortemente dipendenti da settori ad alta intensità di carbonio. In tali contesti, l'adattamento tardivo o improvviso alle politiche climatiche accresce la percezione del rischio sovrano e si traduce in un incremento del costo del debito. Inoltre, l'elevata esposizione delle compagnie assicurative a titoli emessi da Stati non allineati agli obiettivi di decarbonizzazione può amplificare il rischio finanziario complessivo del settore assicurativo, compromettendone la stabilità patrimoniale. Al contrario, i paesi che hanno avviato una transizione energetica graduale mostrano un incremento più contenuto del rischio sovrano, con conseguenti benefici in termini di minore pressione sui rendimenti obbligazionari e sul costo del finanziamento pubblico.

Uno dei contributi più recenti all'analisi empirica del legame tra cambiamento climatico e stabilità finanziaria è lo studio di Curcio et al. (2023), che esamina l'impatto degli eventi climatici estremi e delle transizioni energetiche sul rischio sistemico del settore bancario e assicurativo statunitense. L'analisi utilizza misure avanzate di rischio di mercato, tra cui il ΔCoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016) e il *Marginal Expected Shortfall* (MES) di Acharya et al. (2017), per valutare in che modo i rischi climatici influenzano la stabilità del sistema finanziario.

L'analisi empirica adottata nello studio si sviluppa attraverso due approcci complementari. Il primo consiste nella valutazione dell'impatto degli eventi climatici estremi sul rischio sistemico. Per questo, gli autori applicano il *Wilcoxon signed-rank*⁷

⁷ Il *Wilcoxon signed-rank test* è un test statistico non parametrico utilizzato per confrontare due campioni dipendenti, ovvero dati provenienti dallo stesso gruppo in due condizioni diverse. Non assume la normalità della distribuzione dei dati, rendendolo particolarmente utile per analisi su campioni di

test, una tecnica statistica non parametrica, per misurare le variazioni del rischio sistemico nelle diverse fasi di 122 disastri climatici avvenuti negli Stati Uniti tra il 2005 e il 2022. L'obiettivo è identificare se e in che misura questi eventi abbiano influenzato la stabilità del sistema finanziario prima, durante e dopo il loro verificarsi.

Il secondo approccio si concentra sulla relazione tra la performance dei mercati finanziari e il rischio sistemico. In particolare, viene utilizzata un'analisi basata su regressioni quantiliche, che consente di esaminare come l'andamento degli indici di mercato *green* e *brown* influenzi il rischio sistemico delle banche e delle assicurazioni. Questo metodo permette di valutare le differenze nelle reazioni del sistema finanziario sia in condizioni di mercato normali, sia in momenti di stress, offrendo così una prospettiva più dettagliata sulla connessione tra transizione climatica e stabilità finanziaria.

I dati utilizzati per l'analisi provengono da:

- *S&P 500 Banks Industry Group* e *S&P 500 Insurance Industry Group*, per misurare il rischio sistemico del settore finanziario.
- *NASDAQ OMX Green Economy Index* e *MSCI USA Select Green 50 Index*, come proxy per la performance delle imprese *green*.
- *Greenhouse 100 Polluters Index* e *Toxic 100 Air & Water Polluters Index*, per rappresentare l'andamento delle imprese *brown*.
- *National Centers for Environmental Information* (NCEI), per la selezione degli eventi climatici miliardari negli Stati Uniti.

L'analisi condotta mostra che non tutti gli eventi climatici estremi producono effetti significativi sul rischio sistemico delle banche e delle compagnie assicurative. In particolare, il rischio sistemico, misurato attraverso gli indicatori ΔCoVaR e MES, tende ad aumentare in modo più marcato dopo la conclusione dell'evento piuttosto che

dimensioni ridotte o dati che non seguono una distribuzione normale. Nel contesto dell'analisi del rischio sistemico, viene impiegato per misurare le variazioni significative prima, durante e dopo eventi climatici estremi, valutando se tali shock abbiano avuto un impatto rilevante sulla stabilità finanziaria. Verrà approfondito nel Capitolo 3.

durante il suo svolgimento. Questo comportamento suggerisce una reazione ritardata da parte dei mercati finanziari agli shock climatici, probabilmente dovuta alla necessità di tempo per valutare pienamente le conseguenze economiche e finanziarie dell'evento. Si nota poi che l'intensità dell'impatto non è determinata unicamente dall'ammontare dei danni economici, ma dipende anche dal contesto geografico e dalle specifiche caratteristiche delle istituzioni finanziarie coinvolte, come il grado di esposizione ai settori colpiti. Tra le diverse tipologie di eventi, uragani e tempeste tropicali risultano avere l'effetto più pronunciato sul rischio sistemico, mentre le inondazioni e gli incendi boschivi generano impatti più contenuti.

L'analisi mostra, inoltre, che le assicurazioni tendono ad avere una maggiore esposizione ai rischi fisici, a causa del loro ruolo nella copertura dei danni, mentre le banche subiscono un impatto più forte dai rischi di transizione, dovuto alla svalutazione degli asset e alle perdite su crediti.

Dai risultati delle regressioni quantiliche si evidenzia una relazione non lineare tra la performance dei mercati *green* e *brown* e il rischio sistemico, con dinamiche che variano in funzione delle condizioni di mercato. In scenari di stabilità, un aumento del valore degli indici *green* si associa a una riduzione del rischio sistemico, svolgendo dunque una funzione mitigante. Tuttavia, nei periodi di maggiore turbolenza, l'aumento della volatilità degli asset *green* tende a incidere più negativamente rispetto a quanto avvenga per gli asset *brown*. Questo effetto risulta particolarmente marcato nei quantili superiori della distribuzione, indicando un potenziale fattore destabilizzante nei contesti di stress finanziario. Inoltre, i risultati suggeriscono che le banche siano maggiormente sensibili rispetto alle compagnie assicurative alle variazioni di performance degli asset *green*, a conferma del loro ruolo centrale nella transizione energetica, in quanto principali intermediari del finanziamento verso imprese orientate alla sostenibilità.

Le evidenze empiriche raccolte evidenziano alcune implicazioni fondamentali per la regolamentazione finanziaria, ed un primo aspetto riguarda la necessità di integrare i rischi climatici nei modelli di rischio sistemico. Gli shock climatici non producono sempre effetti immediati, ma possono manifestarsi con un certo ritardo, influenzando gradualmente il valore degli asset finanziari e le dinamiche di mercato. Di conseguenza,

la regolamentazione dovrebbe tenere conto di questi effetti differiti e delle possibili transizioni improvvise, che potrebbero destabilizzare il sistema finanziario.

Un altro elemento cruciale è la supervisione più rigorosa sugli asset *green*. Sebbene la crescita del settore finanziario sostenibile possa contribuire a ridurre il rischio sistemico nel lungo periodo, l'elevata volatilità degli asset *green* potrebbe rappresentare un fattore di instabilità nei periodi di stress di mercato. Per questo motivo, le autorità di vigilanza dovrebbero monitorare attentamente l'andamento di questi asset, garantendo che la loro espansione non comprometta la stabilità finanziaria complessiva.

Inoltre, è essenziale un miglioramento degli stress-test climatici, attraverso l'uso combinato di dati storici sugli eventi climatici estremi e la performance dei mercati finanziari. L'integrazione di queste informazioni nei modelli di stress-test consentirebbe di ottenere una valutazione più realistica delle vulnerabilità del sistema finanziario, permettendo di anticipare possibili crisi e adottare misure di mitigazione più efficaci.

Un altro studio rilevante per comprendere l'influenza del rischio climatico sui mercati finanziari è quello di Monasterolo & De Angelis (2020), che analizza la reazione dei mercati azionari all'annuncio dell'Accordo di Parigi (PA) del 2015. L'obiettivo dello studio è valutare se gli investitori abbiano percepito il PA come un segnale significativo per la transizione a un'economia *low-carbon*, influenzando il rischio sistemico e la composizione dei portafogli finanziari.

Per analizzare l'impatto dell'Accordo di Parigi, gli autori implementano un'analisi empirica su un dataset di indici azionari globali, europei e statunitensi, distinguendo tra indici *low-carbon* (composti da aziende impegnate nella produzione di energie rinnovabili) e *carbon-intensive* (legati alla produzione di combustibili fossili e energia ad alta intensità di carbonio). L'analisi si articola su tre principali approcci quantitativi:

1. Modello di mercato esteso (Sharpe, 1964)⁸: Viene utilizzato un modello di regressione per stimare il beta di mercato degli indici *low-carbon* e *carbon-*

⁸ Il *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), sviluppato da William F. Sharpe nel 1964, è un modello fondamentale nella finanza che descrive la relazione tra il rischio sistematico di un'attività finanziaria e il suo rendimento atteso. Il CAPM stabilisce che il rendimento atteso di un titolo è proporzionale al suo

intensive prima e dopo il PA, al fine di verificare se il rischio sistematico di queste asset class sia cambiato in seguito all'annuncio dell'accordo.

2. Modello a cinque fattori di Fama-French (2015)⁹: Per controllare altri fattori che potrebbero influenzare il rischio di mercato, il modello viene esteso per includere il fattore *size* (SMB), *value* (HML), *profitability* (RMW) e *investment* (CMA), migliorando così la capacità di spiegazione delle variazioni di rischio tra gli indici.
3. Ottimizzazione di portafoglio di Markowitz (1952)¹⁰: L'analisi confronta il peso ottimale degli indici *low-carbon* e *carbon-intensive* in un portafoglio diversificato prima e dopo il PA, per verificare se la transizione verso asset più sostenibili abbia portato a una riallocazione del capitale da parte degli investitori.

I dati utilizzati provengono da Bloomberg e Thomson Reuters Datastream, con una copertura temporale dal 2005 al 2019, permettendo di analizzare sia gli effetti di breve periodo immediatamente successivi all'annuncio del PA, sia le dinamiche di lungo periodo nella reazione dei mercati finanziari.

beta, un indicatore che misura la sensibilità del rendimento del titolo rispetto al rendimento del mercato nel suo complesso.

⁹ Il modello a cinque fattori di Fama-French (2015) è un'estensione del tradizionale *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) e del modello a tre fattori di Fama & French (1993). Questo modello amplia l'analisi del rischio di mercato aggiungendo ulteriori variabili che spiegano meglio le differenze nei rendimenti dei titoli azionari. Per un approfondimento, si può consultare l'articolo originale: Fama, E. F., & French, K. R. (2015). *A five-factor asset pricing model*. *Journal of Financial Economics*, 116(1), 1-22.

¹⁰ Il modello di ottimizzazione di portafoglio di Markowitz (1952), noto anche come *Modern Portfolio Theory* (MPT), è un framework matematico sviluppato da Harry Markowitz per la selezione ottimale degli investimenti. Il modello si basa sull'idea che un investitore possa massimizzare il rendimento atteso di un portafoglio per un dato livello di rischio, o minimizzare il rischio per un dato livello di rendimento atteso, attraverso una diversificazione efficiente degli asset. Per un approfondimento, si può consultare l'articolo originale: Markowitz, H. (1952). *Portfolio Selection*. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.

I risultati mostrano che l'annuncio dell'Accordo di Parigi ha inciso in modo rilevante sulla percezione del rischio finanziario da parte degli investitori, anche se con effetti differenziati tra le due classi di asset considerate. In particolare, gli indici *low-carbon* hanno registrato una significativa riduzione del rischio sistematico: il loro beta di mercato è diminuito sensibilmente dopo l'accordo, segnalando una crescente percezione di stabilità e minore rischiosità associata a tali asset. Al contrario, gli indici relativi ad attività *carbon-intensive* non hanno mostrato variazioni significative nel livello di rischio sistemico, il che suggerisce che il mercato non abbia ancora pienamente incorporato il rischio di transizione connesso alle aziende ad alta intensità di carbonio. Un ulteriore risultato rilevante riguarda la correlazione tra le due classi di asset: dopo l'Accordo di Parigi, la correlazione tra gli indici *green* e *brown* si è ridotta quasi a zero, indicando che gli investitori tendono a trattarli come segmenti di mercato separati e distinti, con dinamiche di rischio differenziate.

L'analisi dell'ottimizzazione del portafoglio evidenzia un cambiamento nelle preferenze degli investitori successivo all'annuncio dell'Accordo di Parigi. In particolare, si osserva un aumento del peso ottimale assegnato agli asset *low-carbon* nei portafogli finanziari, segnale di una crescente attrattività di questi strumenti in ottica di gestione del rischio e di rendimento. Parallelamente, la volatilità associata agli indici *green*, misurata attraverso la deviazione standard dei rendimenti, si riduce in modo significativo, rafforzando l'idea che il mercato percepisca tali asset come meno rischiosi nel lungo periodo. Tuttavia, nonostante la graduale riduzione della quota di titoli *carbon-intensive* nei portafogli ottimizzati, il livello di rischio associato a questi asset non mostra un incremento rilevante. Ciò suggerisce che il mercato, almeno nel breve periodo, non abbia ancora pienamente incorporato i potenziali effetti delle future regolamentazioni ambientali, continuando a sottovalutare i rischi di transizione connessi a tali attività.

I risultati dello studio evidenziano importanti implicazioni per la gestione del rischio sistemico nel contesto della transizione climatica. Un primo punto riguarda la necessità di una maggiore trasparenza sulle esposizioni *carbon-intensive*. Nonostante gli investitori abbiano iniziato a percepire gli asset *low-carbon* come meno rischiosi, il mercato non ha ancora pienamente integrato nei prezzi il rischio di transizione associato

agli asset *brown*. Questo implica che le autorità di regolamentazione dovrebbero promuovere politiche di *disclosure* più dettagliate, affinché gli investitori possano valutare con maggiore precisione la vulnerabilità legata alla decarbonizzazione.

Un'altra implicazione rilevante riguarda il monitoraggio della riallocazione dei portafogli. Il crescente spostamento del capitale verso asset sostenibili suggerisce la necessità di misure che incentivino ulteriormente gli investimenti nelle attività *low-carbon*, favorendo al contempo un processo graduale di disinvestimento dai settori ad alta intensità di carbonio. Per garantire una transizione ordinata ed evitare shock improvvisi nei mercati finanziari, è essenziale che i *policy maker* adottino strategie di accompagnamento, come incentivi fiscali per gli investimenti *green* o requisiti patrimoniali differenziati per le esposizioni *carbon-intensive*.

Infine, un elemento chiave per la gestione del rischio sistemico è il miglioramento degli stress-test climatici. L'integrazione di eventi di *policy* climatica nei test di stress finanziari potrebbe rafforzare la capacità delle autorità di vigilanza di anticipare le reazioni di mercato e di mitigare i rischi associati alla transizione ecologica. Questo approccio permetterebbe di valutare in modo più accurato l'impatto delle politiche ambientali sui bilanci delle istituzioni finanziarie, contribuendo a una regolamentazione più efficace e a una maggiore resilienza del sistema finanziario di fronte alle sfide del cambiamento climatico.

Il paper di Roncoroni et al. (2021) analizza l'impatto del rischio di transizione climatica sulla stabilità finanziaria, concentrandosi sulle interconnessioni tra banche e fondi di investimento. In particolare, gli autori estendono il framework del *climate stress-test* del sistema finanziario includendo una valutazione ex-ante degli attivi finanziari, che tiene conto della volatilità dei prezzi degli asset e del tasso di recupero endogeno sugli attivi interbancari. Lo studio introduce anche un'analisi del contagio finanziario indiretto derivante dalle esposizioni comuni a classi di asset legate alla transizione a basse emissioni di carbonio.

L'obiettivo principale è comprendere in che modo uno shock climatico di transizione – come un'improvvisa implementazione di politiche ambientali più severe – possa propagarsi attraverso il sistema finanziario e amplificare il rischio sistemico.

L'analisi empirica si fonda su un modello di contagio finanziario applicato a un dataset esclusivo fornito dal *Banco de México*, che consente di esaminare in dettaglio le interconnessioni tra banche e fondi di investimento con riferimento ai settori ad alta intensità di carbonio. Il database comprende diverse componenti informative rilevanti: innanzitutto, include i dati sulle esposizioni interbancarie e sui collegamenti finanziari tra fondi di investimento e istituzioni bancarie, fondamentali per analizzare i potenziali meccanismi di trasmissione del rischio. In secondo luogo, fornisce informazioni sull'esposizione agli specifici settori identificati come *Climate Policy Relevant Sectors* (CPRS), tra cui figurano comparti strategici come l'energia, i trasporti e la manifattura, notoriamente vulnerabili agli effetti di politiche climatiche stringenti. Infine, il dataset permette di osservare l'evoluzione della volatilità degli asset finanziari in risposta a diversi scenari regolatori in ambito climatico, offrendo così una base solida per valutare l'impatto sistemico delle transizioni ecologiche.

Il framework quantitativo adottato nello studio si basa sulla combinazione di due metodologie avanzate per la valutazione del rischio finanziario legato al cambiamento climatico. Il primo approccio, denominato *Network Valuation of Financial Assets* (NEVA), è un modello che incorpora la volatilità dei prezzi degli asset e la capacità endogena di recupero delle esposizioni interbancarie in caso di shock. Questo strumento consente di stimare come variazioni improvvise nei prezzi degli asset possano propagarsi attraverso il sistema finanziario, influenzando la stabilità delle istituzioni coinvolte.

Il secondo approccio è il *Climate Stress-Test Model*, che simula gli effetti di shock di transizione climatica su banche e fondi di investimento. Il modello considera sia il rischio diretto, ovvero l'impatto immediato della svalutazione degli asset, sia il contagio finanziario derivante dalle esposizioni comuni, ovvero il modo in cui le perdite di un'istituzione possono estendersi ad altri attori del sistema finanziario attraverso legami di portafoglio e interconnessioni di mercato.

L'analisi viene condotta sotto due diversi scenari di transizione climatica. Il primo scenario, definito di transizione disordinata, ipotizza l'implementazione improvvisa di politiche climatiche più restrittive, causando una svalutazione repentina degli asset *carbon-intensive* e un impatto significativo sulla stabilità finanziaria. Il secondo

scenario, invece, rappresenta una transizione ordinata, in cui le politiche ambientali vengono introdotte in modo graduale e anticipato dal mercato, riducendo il rischio di destabilizzazione del sistema finanziario e consentendo un adattamento più controllato delle istituzioni coinvolte.

I risultati affermano che il rischio climatico incide in modo differenziato su banche e fondi di investimento, evidenziando meccanismi distinti di trasmissione del rischio. Le banche risultano particolarmente vulnerabili attraverso il canale del contagio interbancario: la svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio accresce la probabilità di default di alcune istituzioni, generando effetti a cascata che si propagano all'intero sistema finanziario. I fondi di investimento, invece, contribuiscono ad amplificare il contagio sistemico in virtù della loro elevata esposizione ad asset comuni. In presenza di uno shock climatico, le vendite forzate di tali asset possono innescare perdite diffuse nei mercati, aggravando l'instabilità. Inoltre, l'intensità di questi effetti dipende in modo significativo dalle condizioni di mercato: in contesti caratterizzati da elevata volatilità e scarsa liquidità, le perdite tendono a propagarsi più rapidamente, mentre mercati più stabili e liquidi risultano in grado di assorbire meglio gli shock derivanti dalla transizione climatica.

Lo studio evidenzia inoltre che, in caso di transizione disordinata, le perdite possono superare l'1% del valore dei portafogli sovrani detenuti dalle istituzioni finanziarie europee, con impatti significativi sulla stabilità finanziaria complessiva.

Le implicazioni per la regolamentazione finanziaria, mettono in luce la necessità di integrare il rischio climatico nelle misure di gestione del rischio sistemico. Un primo aspetto riguarda le attuali metodologie di valutazione del rischio sistemico che dovrebbero essere ampliate per considerare in modo più approfondito le esposizioni ai settori ad alta intensità di carbonio, così da stimare con maggiore precisione il potenziale contagio tra banche e fondi di investimento in scenari di transizione climatica.

Affinché il sistema finanziario possa gestire efficacemente i rischi climatici, è necessario incentivare una maggiore trasparenza sulle esposizioni delle istituzioni finanziarie agli asset *carbon-intensive*. A tal fine, l'introduzione di stress-test specifici

per il rischio climatico potrebbe fornire strumenti più accurati per valutare la vulnerabilità delle istituzioni e prevedere possibili ripercussioni sulla stabilità del sistema finanziario.

Un passaggio improvviso e disordinato a un'economia *low-carbon* potrebbe generare instabilità, rendendo essenziale l'adozione di misure che incentivino una transizione graduale e strutturata verso la finanza sostenibile. Regolatori e *policymaker* dovrebbero quindi promuovere strategie che favoriscano una riduzione controllata dell'esposizione sistemica ai settori ad alto impatto climatico, limitando gli effetti destabilizzanti per il mercato e garantendo una maggiore resilienza del sistema finanziario.

Gli studi di Curcio et al. (2023), Monasterolo & De Angelis (2020) e Roncoroni et al. (2021) offrono prospettive complementari sull'impatto del rischio climatico sui mercati finanziari, differenziandosi per il focus e l'approccio metodologico.

Lo studio di Curcio et al. (2023) si distingue per l'analisi della relazione tra eventi climatici estremi e la performance dei mercati finanziari, evidenziando il ruolo degli asset *green* e *brown* nel rischio sistemico di lungo periodo. A differenza di Monasterolo & De Angelis (2020), che si concentrano sulla reazione immediata dei mercati all'Accordo di Parigi, Curcio et al. valutano l'impatto persistente degli shock climatici sui prezzi degli asset e sulla stabilità finanziaria. Rispetto a Roncoroni et al. (2021), che analizzano il contagio finanziario tra banche e fondi d'investimento, lo studio di Curcio et al. adotta un approccio basato sulle reazioni di mercato e sulla trasmissione del rischio sistemico nel settore bancario e assicurativo.

L'analisi di Monasterolo & De Angelis (2020) offre invece un contributo specifico sulla percezione degli investitori rispetto alle politiche di transizione climatica, mostrando che, dopo l'Accordo di Parigi, gli asset *low-carbon* sono stati considerati meno rischiosi. Questo approccio si differenzia da Curcio et al. (2023), che invece valutano l'evoluzione del rischio sistemico legato agli asset *green/brown* nel lungo periodo. Rispetto a Roncoroni et al. (2021), che analizzano il rischio climatico attraverso la *network analysis* e gli stress-test sulle interconnessioni finanziarie, Monasterolo & De Angelis si focalizzano sull'impatto diretto delle politiche climatiche sui mercati azionari.

Infine, lo studio di Roncoroni et al. (2021) introduce una prospettiva innovativa sulla propagazione del rischio climatico tra banche e fondi di investimento, attraverso l'analisi delle interconnessioni finanziarie. Rispetto a Monasterolo & De Angelis (2020), che analizzano la reazione immediata dei mercati a un evento di *policy* climatica, Roncoroni et al. si focalizzano sulle dinamiche di contagio finanziario derivanti dal rischio climatico. A differenza di Curcio et al. (2023), che esaminano la relazione tra performance dei mercati *green/brown* e rischio sistemico, Roncoroni et al. adottano un approccio basato su modelli di network e stress-test, evidenziando il ruolo delle esposizioni comuni e delle vendite forzate nel propagare il rischio sistemico.

In sintesi, mentre Curcio et al. (2023) analizzano gli effetti dei cambiamenti climatici sulla performance di mercato e il rischio sistemico nel settore finanziario, Monasterolo & De Angelis (2020) si focalizzano sulla reazione immediata degli investitori alle politiche climatiche, e Roncoroni et al. (2021) approfondiscono il contagio del rischio climatico attraverso le interconnessioni tra banche e fondi di investimento. Questi studi offrono quindi una visione complementare del fenomeno, fornendo evidenze empiriche cruciali per la regolamentazione e la gestione del rischio sistemico legato al cambiamento climatico.

Capitolo 3: Dati e metodologia

L'analisi empirica di questa ricerca si basa su un dataset costruito per esaminare la relazione tra il cambiamento climatico e il rischio sistemico finanziario nel settore bancario e assicurativo europeo. Per farlo, sono stati raccolti e analizzati dati relativi agli indici finanziari settoriali e tematici, oltre a un database di eventi climatici estremi, al fine di valutare il loro impatto sulla stabilità finanziaria.

Gli indici finanziari selezionati comprendono sia quelli rappresentativi dell'andamento delle principali banche e compagnie assicurative europee, sia quelli legati alla sostenibilità ambientale e alle aziende ad alta intensità di carbonio. In particolare, gli indici *green* monitorano le aziende con forte orientamento alla transizione ecologica, mentre gli indici *brown* seguono il comportamento delle imprese maggiormente esposte alle fonti di energia fossile e agli impatti ambientali negativi. La scelta di questi indicatori consente di confrontare il comportamento del mercato rispetto alle aziende più sensibili alle tematiche ambientali e a quelle ancora legate a modelli produttivi tradizionali. I dati relativi a questi indici sono stati raccolti attraverso la piattaforma LSEG Data & Analytics, prima Refinitiv, garantendo una copertura ampia e affidabile del mercato europeo.

Accanto agli indici finanziari, un elemento fondamentale per l'analisi è rappresentato dagli eventi climatici estremi. La selezione si è concentrata sugli eventi che hanno avuto un impatto economico in Europa superiore a 500 milioni di euro, in modo da identificare quelli con le maggiori ripercussioni sulla stabilità dei mercati finanziari. I dati sono stati estratti dal database The Emergency Events Database (EM-DAT), che monitora eventi meteorologici e climatici di rilevanza globale, fornendo informazioni dettagliate sui danni economici e sociali associati a ciascun episodio.

Per analizzare l'effetto di questi fattori sul rischio sistemico finanziario, si applicano strumenti econometrici consolidati. In particolare, si utilizzano misure (entrambe già approfondite nel Capitolo 2) come il ΔCoVaR , che quantifica l'aumento del rischio sistemico quando una singola istituzione entra in difficoltà, e il MES, che stima la vulnerabilità di una banca o compagnia assicurativa durante periodi di stress finanziario. Inoltre, attraverso l'uso di regressioni quantiliche, è possibile valutare l'impatto degli

eventi climatici e della performance degli indici *green* e *brown* in diverse condizioni di mercato, cogliendo eventuali effetti non lineari che potrebbero essere trascurati da modelli standard.

L'integrazione di questi dati e metodologie consente di analizzare in modo dettagliato il legame tra il cambiamento climatico e la stabilità finanziaria in Europa, evidenziando il ruolo che banche e assicurazioni giocano in un contesto di crescente esposizione ai rischi ambientali. L'obiettivo è comprendere se e in che misura il sistema finanziario europeo risponda alle sollecitazioni imposte dalla transizione ecologica e dagli eventi climatici estremi, fornendo così indicazioni utili per la regolamentazione e la gestione del rischio.

3.1 Dataset

Il dataset è stato costruito per analizzare l'impatto del cambiamento climatico sul rischio sistemico finanziario in Europa, con particolare attenzione ai settori bancario e assicurativo. La selezione degli indici è stata effettuata in modo da coprire diverse dimensioni del sistema finanziario e produttivo europeo, includendo sia gli intermediari finanziari che i settori maggiormente esposti ai rischi climatici, sia in termini di transizione che di impatti fisici. I dati relativi agli indici finanziari sono stati estratti da LSEG Data & Analytics, prima Refinitiv, una delle principali piattaforme di dati finanziari, che garantisce un'elevata qualità e affidabilità delle serie storiche analizzate.

L'orizzonte temporale dell'analisi va dal 14 dicembre 2015 al 31 gennaio 2025, un periodo scelto in linea con quanto evidenziato da Monasterolo e De Angelis (2020) ed Ehlers et al. (2022), secondo cui i mercati finanziari hanno iniziato a integrare in modo sistematico i rischi climatici solo dopo l'Accordo di Parigi del 2015¹¹. Tale evento ha

¹¹ L'Accordo di Parigi, adottato il 12 dicembre 2015 alla COP21, è un trattato internazionale sul clima firmato da 195 Paesi e dall'Unione Europea. L'obiettivo principale è limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C, puntando a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. L'accordo introduce obblighi di riduzione delle emissioni attraverso i contributi determinati a livello nazionale (NDCs) e rafforza il finanziamento climatico per sostenere la transizione ecologica nei Paesi in via di sviluppo.

rappresentato un punto di svolta nella consapevolezza del settore finanziario, segnando l'inizio di un processo di riallocazione del capitale verso investimenti più sostenibili e di un aumento della regolamentazione legata ai rischi ambientali. Seguendo l'approccio metodologico adottato da Curcio et al. (2023), l'analisi considera un periodo sufficientemente ampio da permettere di cogliere le reazioni dei mercati agli sviluppi normativi e agli eventi climatici estremi.

Per costruire il dataset, sono stati selezionati diversi indici, i cui prezzi sono valutati in euro, che coprono tre ambiti principali. Il primo è quello degli intermediari finanziari, con indici rappresentativi delle banche, delle assicurazioni e dei servizi finanziari. Le banche svolgono un ruolo cruciale nella transizione ecologica, poiché attraverso le loro decisioni di finanziamento e investimento influenzano il passaggio verso un'economia più sostenibile. Le assicurazioni, invece, sono particolarmente esposte ai rischi fisici del cambiamento climatico, dal momento che un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi climatici estremi ha un impatto diretto sulla loro stabilità finanziaria. Per rappresentare l'andamento complessivo del settore, è stato scelto un indice che funge da proxy del sistema finanziario europeo, includendo le principali istituzioni finanziarie dell'area.

Oltre agli intermediari finanziari, sono stati considerati anche i settori più direttamente coinvolti nella transizione ecologica. Il settore *Oil & Gas* e quello delle risorse di base sono tra i più esposti ai rischi di transizione, data la crescente pressione normativa e sociale per ridurre l'uso dei combustibili fossili e per incentivare una gestione più sostenibile delle risorse naturali. La performance di questi settori è quindi un indicatore utile per valutare in che misura il mercato stia scontando i rischi associati a un cambiamento del modello produttivo ed energetico.

Infine, per cogliere la crescente importanza della sostenibilità nei mercati finanziari, sono stati inclusi indici che rappresentano le aziende con le migliori pratiche ambientali, sociali e di governance. L'indice ESG-X esclude le società coinvolte in attività controverse e fornisce un benchmark per confrontare la performance delle aziende più attente alle tematiche ambientali. L'indice sulla sostenibilità europea misura invece il rendimento del capitale investito in imprese con elevati standard ESG, permettendo di

valutare il comportamento del mercato nei confronti delle aziende più avanzate nella transizione ecologica.

Gli indici selezionati per l'analisi e sono riassunti di seguito:

- *STOXX Europe 600 Banks*: rappresenta l'andamento delle principali banche europee, che giocano un ruolo fondamentale nella transizione climatica attraverso le loro decisioni di finanziamento e investimento.
- *STOXX Europe 600 Insurance*: traccia la performance delle principali compagnie assicurative europee, fortemente esposte ai rischi fisici legati agli eventi climatici estremi.
- *STOXX Europe 600 Financials*: rappresenta una proxy del sistema finanziario europeo, fornendo una visione complessiva del settore e riflettendo il suo ruolo nella stabilità del mercato e nella transizione verso investimenti sostenibili.
- *STOXX Europe 600 Oil & Gas*: monitora il settore petrolifero e del gas, che è tra i più esposti ai rischi di transizione legati alla progressiva riduzione dell'uso dei combustibili fossili.
- *STOXX Europe 600 Basic Resources*: include le aziende che operano nell'estrazione di risorse naturali, come metalli e minerali, settori altamente inquinanti e regolamentati.
- *STOXX Europe 600 ESG-X*: indice che esclude le società coinvolte in attività controverse e fornisce un benchmark per le aziende con elevati standard ambientali, sociali e di governance.
- *EURO STOXX Sustainability*: rappresenta le aziende europee leader in sostenibilità, selezionate in base ai criteri ESG per valutare la performance degli investimenti responsabili.

La scelta di questi indici permette di esaminare come il mercato abbia reagito ai cambiamenti normativi e climatici nel periodo successivo all'Accordo di Parigi, ponendo le basi per l'analisi empirica dei legami tra rischi climatici e rischio sistemico finanziario.

Oltre agli indici finanziari, sono stati selezionati gli eventi climatici estremi avvenuti in Europa, che rappresentano uno dei principali canali attraverso cui il cambiamento climatico può influenzare la stabilità finanziaria. I disastri climatici sono stati estratti dal database EM-DAT, una delle fonti più autorevoli per il monitoraggio globale dei disastri naturali. La selezione si è concentrata sugli eventi verificatisi in Europa tra il 14 dicembre 2015 e il 31 gennaio 2025, coerentemente con l'orizzonte temporale scelto per l'analisi finanziaria.

Il criterio principale per l'inclusione degli eventi nel dataset è stato l'impatto economico, selezionando solo quelli con danni superiori a 500 milioni di euro. Questa soglia consente di isolare gli eventi che hanno avuto conseguenze significative sui mercati finanziari, escludendo quelli di minore portata. Sono stati considerati 21 eventi climatici estremi di diversi tipi, con effetti distinti sulle attività economiche e sul sistema finanziario:

- Tempeste: eventi caratterizzati da venti forti e precipitazioni intense che possono causare danni estesi alle infrastrutture, alle proprietà private e ai trasporti, con effetti diretti sulle compagnie assicurative e sulle attività economiche locali.
- Alluvioni: tra gli eventi più dannosi per l'economia, le inondazioni possono colpire vaste aree, danneggiare abitazioni e infrastrutture, interrompere le attività industriali e commerciali e aumentare la vulnerabilità finanziaria delle imprese e delle amministrazioni locali.
- Incendi boschivi: fenomeni spesso legati a periodi di siccità e alte temperature, che possono avere un impatto significativo sulle regioni colpite, influenzando i settori agricolo, turistico e immobiliare e generando elevati costi per le compagnie assicurative.
- Temperature estreme: comprendono sia ondate di calore che periodi di freddo intenso, con effetti rilevanti su diversi settori, tra cui l'agricoltura, l'energia e la sanità pubblica, e possono aumentare i rischi per il settore assicurativo.
- Siccità: periodi prolungati di scarsità idrica che incidono sulla produzione agricola, sulla disponibilità di acqua per le attività industriali e

sull'approvvigionamento energetico, con ripercussioni sui prezzi delle materie prime e sulla stabilità delle aziende esposte.

- Terremoti: pur non essendo strettamente legati ai cambiamenti climatici, i terremoti sono stati inclusi poiché possono generare danni economici e finanziari significativi, soprattutto in termini di perdite per il settore assicurativo e di impatti sul valore delle attività immobiliari.

L'integrazione di questi dati con le informazioni finanziarie consente di analizzare il legame tra eventi climatici estremi e stabilità finanziaria, ovvero il rischio fisico, valutando in che modo il mercato ha reagito a ciascun episodio e quali settori sono stati maggiormente colpiti. Questa analisi permetterà di comprendere meglio il ruolo della finanza nella gestione dei rischi climatici e nella transizione verso un sistema economico più resiliente.

La costruzione del dataset, attraverso la selezione di indici finanziari e di eventi climatici estremi avvenuti in Europa, fornisce una base solida per l'analisi empirica della relazione tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario. L'inclusione di indici settoriali relativi al sistema bancario e assicurativo, ai settori più esposti ai rischi di transizione e agli indici ESG consente di valutare le diverse dinamiche attraverso cui i fattori climatici influenzano la stabilità dei mercati finanziari europei.

Allo stesso tempo, l'integrazione di eventi climatici estremi selezionati in base al loro impatto economico consente di comprendere come shock ambientali significativi possano amplificare il rischio sistemico, mettendo sotto pressione le istituzioni finanziarie e i settori produttivi. La scelta di considerare solo eventi con danni superiori a 500 milioni di euro garantisce che l'analisi si concentri sugli episodi con le conseguenze più rilevanti per il sistema economico e finanziario.

Attraverso questa struttura, il dataset permette di testare empiricamente il modo in cui il mercato ha reagito alle sfide poste dal cambiamento climatico, sia in termini di transizione ecologica che di gestione dei rischi fisici. L'analisi empirica che seguirà si baserà su metodologie consolidate per misurare il rischio sistemico e valuterà in che misura gli eventi climatici estremi e la performance dei settori *green* e *brown* abbiano

influenzato la stabilità finanziaria in Europa nel periodo successivo all'Accordo di Parigi.

3.2 Metodologia

La metodologia utilizzata per l'analisi empirica segue l'approccio adottato da Curcio et al. (2023), che studia la relazione tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario nel settore bancario e assicurativo. Tuttavia, mentre lo studio originale si concentra sul mercato statunitense, questa analisi è focalizzata sul contesto europeo, permettendo di verificare se le dinamiche osservate negli USA siano replicabili anche nel sistema finanziario europeo, caratterizzato da una regolamentazione diversa e da un'impostazione più orientata alla sostenibilità.

L'obiettivo è valutare in che misura gli eventi climatici estremi e la performance degli indici *green* e *brown* influenzino la stabilità del sistema finanziario europeo, utilizzando metriche consolidate di rischio sistemico e tecniche econometriche avanzate.

Per misurare il rischio sistemico, verranno impiegate due metriche di riferimento¹²: il *Delta Conditional Value at Risk* (ΔCoVaR), proposto da Adrian e Brunnermeier (2016), che misura l'aumento del rischio sistemico quando una singola istituzione finanziaria è in difficoltà, o viceversa; ed il *Marginal Expected Shortfall* (MES), sviluppato da Acharya et al. (2017), che quantifica la vulnerabilità di un'istituzione durante periodi di stress finanziario.

L'analisi empirica si sviluppa in due fasi principali. La prima fase esamina l'impatto degli eventi climatici estremi sulla stabilità finanziaria, utilizzando il *Wilcoxon signed-rank test* per verificare se, in che misura e con quale tempistica il rischio sistemico delle banche e delle compagnie assicurative europee reagisca agli eventi con impatti economici superiori a 500 milioni di euro. Questo metodo consente di confrontare il livello di rischio prima, durante e dopo ogni evento climatico, per identificare eventuali aumenti significativi della vulnerabilità del sistema finanziario.

¹² Approfondite nel Capitolo 2.

Seguendo Morelli e Viotto (2020), l'analisi si basa sul *Wilcoxon signed-rank sum test* per dati appaiati, che permette di verificare se il rischio sistemico finanziario reagisce in modo significativo ai disastri climatici. Nello specifico, confrontiamo le metriche di rischio sistemico (SRMs) dei settori bancario e assicurativo europei nei giorni in cui si verifica una catastrofe naturale e nei periodi precedenti e successivi all'evento. Il test viene applicato in tre momenti distinti:

1. Confronto del rischio sistemico durante l'evento rispetto al periodo precedente:

$$H_0 : SRM_i^{(t:t+h)} \leq SRM_i^{(t-h-1:t-1)}$$

$$H_1 : SRM_i^{(t:t+h)} > SRM_i^{(t-h-1:t-1)}$$

dove i indica il settore analizzato e t rappresenta il giorno in cui inizia l'evento climatico estremo. Se l'ipotesi nulla H_0 non può essere rifiutata, significa che il mercato non percepisce un aumento del rischio sistemico durante il disastro climatico.

2. Confronto del rischio sistemico dopo l'evento rispetto al periodo precedente:

$$H_0 : SRM_i^{(t+h+1:t+2h+1)} \leq SRM_i^{(t-h-1:t-1)}$$

$$H_1 : SRM_i^{(t+h+1:t+2h+1)} > SRM_i^{(t-h-1:t-1)}$$

Questo test verifica se, una volta concluso l'evento, il sistema finanziario continua a essere sotto pressione rispetto al periodo precedente l'evento.

3. Confronto del rischio sistemico post-evento rispetto alla fase dell'evento stesso:

$$H_0 : SRM_i^{(t+h+1:t+2h+1)} \leq SRM_i^{(t:t+h)}$$

$$H_1 : SRM_i^{(t+h+1:t+2h+1)} > SRM_i^{(t:t+h)}$$

Questo test consente di verificare se il rischio sistemico tende a ridursi dopo la fine dell'evento oppure se persiste un effetto prolungato.

Viene utilizzato il *Wilcoxon signed-rank test* perché non richiede ipotesi stringenti sulla distribuzione dei dati e può gestire osservazioni anomale che potrebbero essere problematiche in un approccio parametrico. Tuttavia, i metodi non parametrici possono

avere una minore potenza rispetto agli approcci tradizionali se le ipotesi per il metodo parametrico corrispondente sono verificate. Potrebbero quindi essere necessari aggiustamenti alla statistica del test per tener conto della distribuzione dei dati.

Nella seconda fase, l'attenzione si sposta sull'effetto della performance degli indici *green* e *brown* sul rischio sistemico. Per analizzare questa relazione, verranno utilizzate regressioni quantiliche, un metodo introdotto da Koenker e Bassett Jr. (1978) che consente di valutare come le variazioni degli indici di mercato influenzino il rischio sistemico in condizioni di mercato differenti, dalle fasi di stabilità a quelle di crisi. A differenza delle regressioni lineari classiche, che forniscono inferenze solo sulle funzioni medie condizionali, la regressione quantilica consente di stimare la relazione tra le variabili anche nei quantili estremi della distribuzione condizionale, catturando meglio gli effetti nelle situazioni di maggiore stress finanziario.

Si stima la seguente regressione quantilica:

$$y_i = \alpha_\tau + \beta_\tau x'_i + \epsilon_{\tau,i}$$

dove:

- y_i rappresenta la misura del rischio sistemico, misurata attraverso ΔCoVaR o MES;
- x'_i è la variabile indipendente, rappresentata dai livelli e dalle misure di rischio estremo degli indici *green* e *brown*;
- α_τ è la costante del modello;
- β_τ è il vettore dei coefficienti stimati per ciascun quantile τ ;
- $\epsilon_{\tau,i}$ è il termine di errore.

L'indice $\tau \in (0,1)$ rappresenta il quantile di interesse. La funzione quantilica condizionale è definita come:

$$Q_\tau(y | x) = \beta_\tau x'$$

Lo stimatore β_τ viene calcolato minimizzando la somma pesata degli errori assoluti:

$$\hat{\beta}_\tau = \arg \min \sum_{i: y_i > \beta_\tau x'_i} \tau |y_i - \beta_\tau x'_i| + \sum_{i: y_i < \beta_\tau x'_i} (1 - \tau) |y_i - \beta_\tau x'_i|$$

L'analisi viene condotta stimando il modello su diversi quantili della distribuzione del rischio sistemico, includendo il 5°, 10°, 50°, 90° e 95° quantile, per catturare eventuali differenze nella relazione tra gli indici di mercato e il rischio sistemico in condizioni di mercato normali e in situazioni di stress. Nella letteratura finanziaria, i quantili bassi (fino al 50° quantile) sono associati a periodi di stabilità dei mercati, mentre i quantili più alti (sopra il 75° quantile) rappresentano condizioni di stress finanziario, come affermano Adrian e Brunnermeier (2016).

Inoltre, per misurare il rischio estremo degli indici *green* e *brown*, si stima il Value at Risk (VaR) e l'*Expected Shortfall* (ES) con una finestra mobile di un anno e un livello di confidenza del 5%. Il VaR rappresenta la perdita realizzata dell'indice al 95° quantile in ogni giorno t , mentre l'*Expected Shortfall* (ES) è la media delle peggiori perdite nel 5% inferiore della distribuzione dell'indice in ogni giorno t . La relazione tra il rischio sistemico e il livello degli indici *green* e *brown* dovrebbe essere negativa, poiché un aumento del valore di questi ultimi dovrebbe riflettere una maggiore capitalizzazione dei settori di riferimento, riducendo il rischio aggregato. Al contrario, la relazione tra il rischio sistemico e le misure di rischio estremo (VaR ed ES) dovrebbe essere positiva, poiché un aumento del rischio associato agli indici di mercato suggerisce una maggiore instabilità finanziaria.

Attraverso questo approccio quantitativo, l'analisi permetterà di individuare in che misura gli indici di sostenibilità e quelli legati a settori ad alta intensità di carbonio influenzano la stabilità finanziaria, valutando se il mercato europeo risponde in modo analogo a quello statunitense, come evidenziato nello studio di Curcio et al. (2023).

L'approccio metodologico adottato in questa analisi consente di valutare in modo rigoroso l'impatto degli eventi climatici estremi e della performance degli indici finanziari sostenibili e non sostenibili sulla stabilità del sistema finanziario europeo. L'uso del *Wilcoxon signed-rank test* permette di verificare se e con quale tempistica il rischio sistemico del settore bancario e assicurativo reagisce ai disastri climatici, individuando possibili effetti di breve e medio termine sulla stabilità del mercato. Allo

stesso tempo, l'impiego delle regressioni quantiliche consente di analizzare in maniera più dettagliata le relazioni tra la performance degli indici *green* e *brown* e il rischio sistemico, differenziando l'impatto in base alle condizioni di mercato.

L'adozione di questa metodologia, già utilizzata da Curcio et al. (2023) per il mercato statunitense, ma qui applicata al contesto europeo, permette di identificare eventuali differenze strutturali tra i due sistemi finanziari nella risposta ai rischi climatici. Inoltre, la scelta di metriche non parametriche e di strumenti econometrici robusti assicura un'analisi più flessibile e affidabile, riducendo le distorsioni derivanti da ipotesi troppo restrittive sulla distribuzione dei dati.

Attraverso questo framework metodologico, sarà possibile comprendere meglio il ruolo del cambiamento climatico come fattore di rischio per la stabilità finanziaria e valutare se i mercati europei stanno integrando in maniera adeguata i rischi climatici nelle loro valutazioni. I risultati ottenuti potranno fornire indicazioni utili sia per gli investitori che per i regolatori, contribuendo al dibattito sulla necessità di rafforzare il quadro normativo in materia di finanza sostenibile e gestione dei rischi ambientali.

Capitolo 4: Analisi empirica

L'analisi empirica rappresenta il fulcro della ricerca e mira a verificare l'impatto del cambiamento climatico sul rischio sistemico finanziario nel settore bancario e assicurativo europeo. Dopo aver delineato il contesto teorico e metodologico nei capitoli precedenti, questo capitolo si propone di testare empiricamente le ipotesi formulate, utilizzando dati finanziari e climatici per quantificare l'esposizione del sistema finanziario ai rischi climatici. Il presente capitolo si propone di analizzare in maniera quantitativa il legame tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario in Europa, con un focus specifico sui settori bancario e assicurativo. In continuità con la metodologia esposta nel Capitolo 3, l'analisi si fonda su un set di misure del rischio sistemico (SRMs), elaborate a partire da indici finanziari rappresentativi del sistema europeo, integrati con dati relativi agli eventi climatici estremi.

Il capitolo è articolato in tre sezioni principali, ciascuna delle quali si concentra su uno specifico insieme di risultati empirici.

Nella prima sezione vengono presentate le statistiche descrittive delle misure di rischio sistemico (ΔCoVaR e MES) calcolate per il settore bancario e assicurativo europeo, per fornire una panoramica sintetica della distribuzione dei valori osservati nel periodo considerato, evidenziando eventuali differenze tra i due settori. A complemento, si analizza la matrice di correlazione di Pearson tra gli SRMs e i principali indici di mercato rappresentativi delle imprese *green* e *brown*, al fine di esplorare le interdipendenze lineari tra rischio sistemico e dinamiche settoriali legate alla sostenibilità.

La seconda parte dell'analisi si concentra sull'impatto degli eventi climatici estremi sul rischio sistemico. Attraverso l'applicazione del *Wilcoxon signed-rank test*, si verifica la significatività delle variazioni nei livelli di rischio sistemico prima, durante e dopo il verificarsi di disastri naturali con rilevante impatto economico (superiore a 500 milioni di euro). L'analisi distingue l'effetto sugli intermediari bancari rispetto a quello sulle compagnie assicurative, al fine di cogliere eventuali differenze di esposizione ai rischi fisici del cambiamento climatico.

Attraverso l'impiego di regressioni quantiliche, l'ultima sezione approfondisce l'effetto della performance e della volatilità degli indici *green* e *brown* sul rischio sistemico, analizzando come tale relazione si modifichi nei diversi quantili della distribuzione. L'obiettivo è cogliere eventuali effetti asimmetrici o non lineari, che possono emergere in contesti di mercato particolarmente stressati.

Nelle Conclusioni, poi, si proporrà una riflessione sulle implicazioni emerse dai risultati empirici, discutendo in che modo il cambiamento climatico agisca come fattore amplificatore del rischio sistemico e quali risposte regolatorie siano necessarie per rafforzare la resilienza del sistema finanziario europeo. Vengono evidenziate le criticità nei meccanismi di trasmissione del rischio, il ruolo delle politiche di *disclosure* e la necessità di adeguare gli strumenti di vigilanza alle sfide poste dalla transizione ecologica.

L'analisi si basa su un dataset costruito a partire da fonti autorevoli come LSEG Data & Analytics per i dati finanziari e EM-DAT per gli eventi climatici estremi, garantendo un'ampia copertura temporale e geografica. L'orizzonte temporale selezionato, dal 14 dicembre 2015 al 31 gennaio 2025, consente di esaminare l'evoluzione della percezione del rischio climatico nei mercati finanziari europei dopo l'Accordo di Parigi.

4.1 Statistiche descrittive e correlazioni degli indici

Analizzare le statistiche descrittive rappresenta un passaggio preliminare essenziale in qualsiasi indagine empirica, poiché consente di ottenere una visione sintetica ma significativa della distribuzione dei dati. Nel contesto di questa ricerca, tali statistiche permettono di valutare il comportamento medio delle misure di rischio sistemico, la loro variabilità, e la presenza di eventuali asimmetrie che potrebbero segnalare una maggiore esposizione a eventi estremi.

Inoltre, questa fase iniziale è utile per individuare differenze strutturali tra settori, come quello bancario e assicurativo, o tra categorie di indici, come quelli sostenibili e non. In tal modo, si pongono le basi per interpretazioni più approfondite nelle analisi

successive, facilitando la comprensione delle dinamiche sottostanti al legame tra rischio climatico e stabilità finanziaria.

Tabella 1 Statistiche descrittive degli SRMs di banche, assicurazioni, indici *green* e *brown*.

		Media	Mediana	Dev. Stand.	Min	Max	Asimmetria
STOXX Europe 600 Banks	ΔCoVar	2.40	2.20	0.86	1.19	4.47	0.79
	MES	3.66	3.31	1.56	1.48	7.08	0.74
STOXX Europe 600 Insurance	ΔCoVar	1.86	1.56	0.85	0.76	4.07	1.28
	MES	2.96	2.57	1.43	1.17	6.32	1.10
STOXX Europe 600 Oil & Gas	Var	2.48	2.27	0.76	1.33	4.09	0.54
	ES	3.60	3.17	1.60	1.69	7.72	1.45
STOXX Europe 600 Basic Res.	Var	3.09	2.78	0.84	2.07	5.33	1.08
	ES	4.18	3.59	1.41	2.52	7.03	0.85
STOXX Europe 600 ESG-X	Var	1.68	1.50	0.67	0.78	3.27	1.08
	ES	2.41	2.07	1.06	1.06	4.90	1.12
EURO STOXX Sustainability	Var	1.76	1.52	0.67	0.90	3.37	1.11
	ES	2.50	2.18	1.02	1.17	4.85	1.01

Nota: Le SRMs basate sul mercato sono stimate considerando una perdita azionaria con valori positivi.

Dalla Tabella 1, confrontando il settore bancario con quello assicurativo, emerge come le banche presentino, in media, livelli più elevati di rischio sistemico. Questo dato suggerisce una maggiore vulnerabilità delle istituzioni bancarie agli shock di mercato, probabilmente riconducibile al loro ruolo centrale nella rete finanziaria e alla loro esposizione più marcata a rischi di credito e di mercato.

Al contrario, le compagnie assicurative, pur mostrando un rischio sistemico complessivamente più contenuto, evidenziano una distribuzione più asimmetrica delle misure analizzate. Ciò indica che, sebbene meno frequente, l'aumento del rischio può manifestarsi con intensità più elevata in presenza di eventi estremi, riflettendo l'esposizione diretta del settore assicurativo ai danni causati da disastri naturali.

Passando al confronto tra gli indici di mercato rappresentativi delle imprese ad alto impatto ambientale e quelli relativi a imprese maggiormente orientate alla sostenibilità, si osserva una marcata distinzione nei profili di rischio. I settori *brown* risultano infatti caratterizzati da un rischio sistemico più elevato, in quanto presentano una maggiore volatilità (deviazione standard) ed episodi di perdita più marcati nei contesti di mercato

negativi, associati a livelli massimi di Var ed ES maggiori rispetto alla controparte. Al contrario, gli indici *green* mostrano un comportamento più stabile, con livelli di rischio inferiore e una distribuzione più contenuta degli estremi. Questo risultato appare coerente con l'ipotesi secondo cui le imprese impegnate nella transizione ecologica siano percepite dal mercato come più resilienti nel medio-lungo periodo.

Infine, tra le due principali misure utilizzate per la valutazione del rischio sistemico – il ΔCoVaR e il MES – si riscontrano differenze sostanziali nella capacità di cogliere la dimensione del rischio. Il *Marginal Expected Shortfall* restituisce valori superiori rispetto al ΔCoVaR per quasi tutte le statistiche. Questa differenza suggerisce che il MES sia particolarmente adatto a catturare il rischio aggregato nei momenti di tensione finanziaria, mentre il ΔCoVaR offre una prospettiva più mirata sull'effetto che un singolo attore può esercitare sull'intero sistema.

Tuttavia, osservando l'asimmetria, si nota un andamento opposto, in particolare il ΔCoVaR presenta un valore più elevato rispetto al MES. Questo dato evidenzia una distribuzione dei valori più sbilanciata verso destra, ossia una maggiore incidenza di osservazioni estreme e rare, che potrebbero derivare da shock isolati in singoli operatori con una grande rilevanza sistemica. Al contrario, il MES risulta meno asimmetrico, riflettendo una distribuzione più omogenea delle perdite attese nei momenti di stress sistemico. In altri termini, il MES tende a catturare scenari di rischio più diffusi e ricorrenti, mentre il ΔCoVaR è più sensibile agli eventi eccezionali, che incidono in modo disomogeneo ma significativo sulla stabilità del sistema.

Complessivamente, le evidenze emerse confermano il ruolo centrale delle banche nella trasmissione del rischio sistemico, la maggiore fragilità dei settori *brown* rispetto a quelli *green* e la complementarità tra le due metriche di rischio adottate. Tali elementi rappresentano un primo passo per comprendere le dinamiche attraverso cui il cambiamento climatico può incidere sulla stabilità del sistema finanziario europeo.

D'altro canto, l'analisi della matrice di correlazione di Pearson svolge un ruolo preliminare ma fondamentale per comprendere le relazioni lineari tra gli indici di mercato rappresentativi di settori *green* e *brown*. Osservare come si correlano tra loro i due tipi di indici permette di cogliere eventuali segnali di disallineamento o

convergenza nelle dinamiche di mercato, che possono riflettere processi di transizione in atto o, al contrario, una persistenza delle interconnessioni sistemiche tradizionali.

Questo studio offre dunque un primo indicatore della struttura delle interdipendenze nel sistema finanziario europeo, contribuendo a identificare possibili canali di trasmissione del rischio sistemico. Se, ad esempio, gli indici *green* risultassero debolmente correlati a quelli *brown*, ciò potrebbe suggerire una segmentazione utile a contenere la propagazione di shock settoriali. Viceversa, correlazioni elevate tra tutti gli indici potrebbero indicare una maggiore vulnerabilità comune del sistema, anche in presenza di una differente esposizione al rischio climatico. In entrambi i casi, la matrice di Pearson costituisce una base informativa utile per interpretare con maggiore consapevolezza i risultati delle analisi empiriche successive, come le regressioni quantiliche.

Tabella 2 Matrice di correlazione di Pearson di indici *brown* e *green*

	STOXX Europe 600 Oil & Gas	STOXX Europe 600 Basic Resources	STOXX Europe 600 ESG-X	EURO STOXX Sustainability
STOXX Europe 600 Oil & Gas	1	0.6921***	0.7141***	0.6477***
STOXX Europe 600 Basic Resources	0.6921***	1	0.7059***	0.6420***
STOXX Europe 600 ESG-X	0.7141***	0.7059***	1	0.9759***
EURO STOXX Sustainability	0.6477***	0.6420***	0.9759***	1

Nota: I simboli ***, ** e * indicano significatività ai livelli dell'1%, 5% e 10%, rispettivamente.

La matrice di correlazione di Pearson, riportata in Tabella 2, risulta che tutti i coefficienti sono positivi e statisticamente significativi, suggerendo che, almeno sul piano delle dinamiche di mercato, le performance di questi indici si muovono in modo tendenzialmente sincronizzato. Ciò indica che, nonostante le profonde differenze in termini di esposizione ai rischi climatici, i due tipi di indici non evolvono in maniera del tutto indipendente.

Tuttavia, è possibile rilevare differenze nell'intensità delle relazioni. Le correlazioni tra gli indici *green* sono particolarmente elevate, in particolare tra l'*EURO STOXX Sustainability* e lo *STOXX Europe 600 ESG-X*, la cui correlazione appare quasi perfetta. Questo risultato evidenzia una forte coerenza tra i due *benchmark* di sostenibilità,

rafforzando l'idea che gli asset *green* si muovano secondo dinamiche omogenee, probabilmente riflettendo la crescente integrazione dei criteri ESG nei mercati finanziari europei.

Le correlazioni tra gli indici *brown* e quelli *green*, pur significative, risultano invece più contenute. Questo dato suggerisce che, sebbene esista una certa interdipendenza, i due gruppi di indici riflettano logiche parzialmente divergenti nella risposta agli shock di mercato. In particolare, il legame meno intenso tra l'*Oil & Gas* e gli indici sostenibili potrebbe indicare una differenziazione nei comportamenti di mercato in funzione della transizione ecologica, con una potenziale disconnessione tra i settori più esposti al rischio di transizione e quelli meglio posizionati per beneficiarne.

In conclusione, l'analisi suggerisce che le dinamiche settoriali legate alla sostenibilità sono riconosciute dal mercato e si riflettono in una certa segmentazione tra gli asset. Inoltre, come accennato, una minore correlazione tra asset ad alto e basso impatto climatico potrebbe indicare una maggiore capacità del sistema di assorbire shock specifici, riducendo il rischio di contagio generalizzato. Tuttavia, la presenza di correlazioni comunque positive evidenzia come il rischio climatico, pur potendo colpire in modo differenziato i settori, mantenga una componente sistemica latente che può manifestarsi in contesti di crisi diffusa.

4.2 Reazione degli SRMs agli eventi climatici estremi

All'interno di questa analisi, l'utilizzo del test di *Wilcoxon signed-rank* si inserisce come strumento metodologico fondamentale per valutare l'impatto degli eventi climatici estremi sul rischio sistemico finanziario in ambito europeo. A differenza dei tradizionali test parametrici, che richiedono ipotesi stringenti sulla distribuzione normale dei dati, il test di Wilcoxon offre il vantaggio di non presupporre una particolare forma distributiva, risultando particolarmente adatto a contesti caratterizzati da dati finanziari spesso asimmetrici e soggetti a valori estremi.

L'obiettivo è confrontare i livelli di rischio sistemico osservati prima, durante e dopo il verificarsi di disastri naturali significativi, selezionati sulla base di un criterio

economico minimo: sono stati infatti considerati 21 eventi climatici avvenuti in Europa tra il 2015 e il 2025 che hanno generato danni economici pari ad almeno 500 milioni di euro. Attraverso l'applicazione del test su dati appaiati, è possibile verificare se tali eventi provochino un incremento duraturo o transitorio del rischio sistemico, offrendo così evidenze empiriche sulla capacità del sistema finanziario europeo di assorbire gli shock ambientali.

L'adozione di questa metodologia consente quindi di analizzare in modo robusto e affidabile il legame tra cambiamento climatico e stabilità finanziaria, supportando una valutazione più accurata delle vulnerabilità emergenti.

Tabella 3 Tasso di successo del test di *Wilcoxon signed-rank* per il ΔCoVar

Livello di Significatività	ΔCoVar					
	Banche			Assicurazioni		
	1%	5%	10%	1%	5%	10%
$H_0 : \Delta\text{CoVar}_i^{t:t+h} \leq \Delta\text{CoVar}_i^{t-h-1:t-1}$	0,00%	14,29%	19,05%	0,00%	9,52%	14,29%
$H_0 : \Delta\text{CoVar}_i^{t+h+1:t+2h+1} \leq \Delta\text{CoVar}_i^{t:t+h}$	4,76%	9,52%	14,29%	4,76%	4,76%	19,05%
$H_0 : \Delta\text{CoVar}_i^{t+h+1:t+2h+1} \leq \Delta\text{CoVar}_i^{t-h-1:t-1}$	4,76%	9,52%	28,57%	9,52%	19,05%	28,57%

Nota: Nella Tabella t indica la data di inizio della catastrofe climatica e h la sua durata. Le righe indicano le ipotesi nulle testate (H_0), descritte nella Sezione 3.2. Il tasso di successo indica il numero di catastrofi climatiche per le quali si respinge ciascuna ipotesi nulla, adottando un livello di confidenza dell'1%, 5% e 10%.

La Tabella 3 riporta il tasso di successo del test di *Wilcoxon signed-rank* applicato al ΔCoVaR . In particolare, la tabella mostra la percentuale di eventi per i quali si è potuta rifiutare l'ipotesi nulla di assenza di variazione significativa del rischio sistemico, a diversi livelli di confidenza statistica.

Dai dati raccolti emerge che, considerando l'impatto immediato dell'evento climatico (prima ipotesi testata), la capacità di rilevare un aumento significativo del rischio sistemico è relativamente bassa in entrambi i settori, specialmente ai livelli di significatività più stringenti. In particolare, il sistema bancario mostra un aumento limitato del rischio sistemico durante l'evento, mentre l'impatto è ancora meno evidente per le compagnie assicurative. Questo risultato suggerisce che il mercato potrebbe non

reagire istantaneamente alla manifestazione di un disastro naturale, oppure che l'assorbimento immediato dello shock sia parziale.

Al contrario, i risultati relativi alle fasi successive all'evento (seconda e terza ipotesi) mostrano tassi di successo più elevati, soprattutto al livello di confidenza del 10%. Inoltre, il sistema bancario evidenzia un aumento più marcato del rischio sistemico nel periodo post-evento rispetto alle assicurazioni. Questo comportamento suggerisce un effetto ritardato nella percezione del rischio da parte degli operatori di mercato: la piena manifestazione delle conseguenze degli eventi climatici estremi sembra emergere non durante la catastrofe stessa, ma nei giorni successivi, quando diventano evidenti i danni materiali e finanziari.

La maggiore reattività osservata per il settore bancario rispetto a quello assicurativo può essere ricondotta alla diversa natura dei rischi gestiti: le banche, essendo più esposte al rischio di credito e alla volatilità dei mercati, risultano più sensibili agli shock ambientali che influenzano direttamente la solvibilità delle imprese e la qualità degli asset. Le assicurazioni, pur essendo anch'esse colpite dai danni fisici, possono assorbire in parte gli impatti grazie a modelli di gestione del rischio più strutturati e a portafogli di rischio diversificati.

Nel complesso, i risultati evidenziano come il cambiamento climatico, attraverso l'intensificazione dei disastri naturali, abbia il potenziale di generare pressioni crescenti sul rischio sistemico, in particolare nei settori più esposti ai canali di trasmissione finanziaria indiretta. Questa dinamica, caratterizzata da una risposta non immediata ma persistente nel tempo, sottolinea la necessità di rafforzare i meccanismi di monitoraggio e gestione dei rischi climatici, integrandoli stabilmente nei framework di stabilità finanziaria.

Tabella 4 Tasso di successo del test di Wilcoxon signed-rank per il MES

Livello di Significatività	ΔCoVaR					
	Banche			Assicurazioni		
	1%	5%	10%	1%	5%	10%
$H_0 : \text{MES}_i^{t:t+h} \leq \text{MES}_i^{t-h-1:t-1}$	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%
$H_0 : \text{MES}_i^{t+h+1:t+2h+1} \leq \text{MES}_i^{t:t+h}$	19,05%	19,05%	23,81%	23,81%	23,81%	28,57%
$H_0 : \text{MES}_i^{t+h+1:t+2h+1} \leq \text{MES}_i^{t-h-1:t-1}$	19,05%	19,05%	28,57%	23,81%	23,81%	38,10%

Nota: Nella Tabella 7 indica la data di inizio della catastrofe climatica e h la sua durata. Le righe indicano le ipotesi nulle testate (H_0), descritte nella Sezione 3.2. Il tasso di successo indica il numero di catastrofi climatiche per le quali si respinge ciascuna ipotesi nulla, adottando un livello di confidenza dell'1%, 5% e 10%.

La Tabella 4 riporta il tasso di successo del test di Wilcoxon signed-rank applicato al Marginal Expected Shortfall (MES). A differenza di quanto osservato per il ΔCoVaR , i risultati relativi al MES evidenziano una dinamica diversa nella risposta del rischio sistemico agli shock ambientali.

In primo luogo, l'analisi della variazione immediata del MES durante l'evento climatico (prima ipotesi testata) mostra un tasso di rifiuto dell'ipotesi nulla sensibilmente più elevato rispetto a quanto osservato per il ΔCoVaR . In particolare, sia per il settore bancario che per quello assicurativo, circa un terzo degli eventi climatici analizzati presenta un incremento significativo del rischio sistemico già nella fase di manifestazione della catastrofe. Questo risultato suggerisce che il MES, quale misura della perdita attesa in scenari di stress, sia maggiormente sensibile nell'individuare immediatamente l'aggravarsi delle condizioni sistemiche, rispetto a metriche focalizzate su contributi marginali come il ΔCoVaR .

Passando alle fasi successive all'evento, i tassi di successo nel rifiutare l'ipotesi nulla tendono a diminuire leggermente, pur mantenendo una certa rilevanza, specialmente a livelli di significatività meno stringenti. È interessante osservare che, nel periodo post-evento, il settore assicurativo mostra un tasso di reazione leggermente superiore rispetto a quello bancario, in particolare al livello di confidenza del 10%. Questo dato potrebbe riflettere il fatto che, mentre le banche risentono più direttamente degli impatti immediati sui mercati e sulla qualità degli asset, le assicurazioni subiscono una manifestazione dei danni più dilazionata nel tempo.

Nel complesso, l'analisi del MES suggerisce che gli eventi climatici estremi sono in grado di generare aumenti significativi del rischio sistemico già nella fase immediata del disastro, con effetti persistenti nel breve periodo. Questi risultati rafforzano l'idea che il cambiamento climatico rappresenti un amplificatore di vulnerabilità per il sistema finanziario europeo, e che sia necessario integrare nei modelli di gestione del rischio strumenti in grado di rilevare tempestivamente gli effetti degli shock ambientali, adottando un approccio prospettico e resiliente.

Il confronto tra i risultati ottenuti con il ΔCoVaR e quelli basati sul MES evidenzia differenze significative nella capacità delle due metriche di catturare l'impatto degli eventi climatici estremi sul rischio sistemico.

Nel caso del ΔCoVaR , l'analisi ha mostrato tassi di successo relativamente contenuti, soprattutto durante la fase immediata dell'evento. L'incremento del rischio sistemico è emerso in modo più marcato soltanto nel periodo successivo alla catastrofe, suggerendo che la reazione del mercato alla crisi ambientale sia parzialmente ritardata. Questo comportamento è coerente con la natura stessa del ΔCoVaR , che misura l'influenza marginale di una singola istituzione sul sistema, risultando dunque meno sensibile agli shock diffusi che colpiscono simultaneamente più attori.

Al contrario, i risultati ottenuti attraverso il MES indicano una risposta del rischio sistemico più pronta e generalizzata. In particolare, già durante l'evento climatico una quota consistente di osservazioni segnala un aumento significativo del rischio, sia per le banche che per le assicurazioni. Il MES, essendo progettato per stimare la perdita media attesa in condizioni di stress sistemico, appare quindi maggiormente adatto a cogliere gli effetti aggregati e immediati degli shock climatici sul sistema finanziario.

Un ulteriore elemento distintivo riguarda il comportamento differenziale tra i settori: mentre con il ΔCoVaR la reazione più forte si osservava nel comparto bancario, con il MES il settore assicurativo mostra una risposta più persistente nel periodo post-evento. Questo dato suggerisce che, a seconda della metrica utilizzata, emergono sfumature diverse nella trasmissione del rischio sistemico, legate alle caratteristiche strutturali dei due settori.

In sintesi, il confronto tra le due tabelle conferma che l'impatto degli eventi climatici estremi si manifesta su più livelli: in modo immediato e diffuso, come rilevato dal MES, ma anche attraverso effetti marginali più lenti e differenziati, come catturato dal ΔCoVaR . L'integrazione di entrambe le metriche nell'analisi consente pertanto una comprensione più completa della vulnerabilità del sistema finanziario europeo di fronte ai rischi climatici.

4.3 Influenza della performance delle aziende *green* e *brown* sul rischio sistemico

Un ulteriore passo nell'analisi empirica è rappresentato dallo studio del legame tra la performance degli indici *green* o *brown* e l'andamento del rischio sistemico, con l'obiettivo di comprendere se e in che misura la transizione ecologica possa influenzare la stabilità del sistema finanziario europeo. A tal fine, si ricorre all'impiego delle regressioni quantiliche, una metodologia statistica particolarmente adatta a catturare relazioni non lineari e variazioni eterogenee lungo la distribuzione condizionale della variabile dipendente.

Diversamente dalle regressioni OLS tradizionali, che stimano l'effetto medio di una variabile esplicativa sull'insieme del campione, le regressioni quantiliche permettono di esplorare come l'influenza degli indici si modifichi in contesti di mercato caratterizzati da differenti livelli di rischio sistemico.

Le stime sono condotte per cinque diversi quantili della distribuzione condizionale: il 5° e il 10° quantile permettono di osservare il comportamento del rischio sistemico in fasi di bassa tensione; il 50° quantile rappresenta la mediana della distribuzione, utile come riferimento centrale; mentre il 90° e il 95° quantile consentono di analizzare le condizioni di mercato più critiche. Come evidenziato da Adrian e Brunnermeier (2016), nella letteratura finanziaria i quantili bassi, fino al 50°, sono generalmente associati a periodi di stabilità nei mercati, mentre i quantili elevati, in particolare sopra il 75°, rappresentano condizioni di stress. Questa impostazione consente quindi di cogliere eventuali effetti asimmetrici e di identificare dinamiche di rischio che si manifestano

solo in contesti estremi, offrendo una lettura più articolata e realistica dell'interazione tra performance settoriale e rischio sistemico.

Tabella 5 ΔCoVar e indici *brown*

	Pannello A: ΔCoVar – Banche					
	STOXX Europe 600 Oil & Gas			STOXX Europe 600 Basic Resources		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0131***	1.0931***	0.4973***	-0.0010***	0.8535***	0.5458***
<i>adj.R</i> ²	46.43%	93.04%	85.15%	1.58%	69.03%	79.83%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0061***	1.0148***	0.3695***	0.0005***	0.6028***	0.4346***
<i>adj.R</i> ²	4.34%	64.55%	45.05%	0.37%	37.22%	46.97%
$\tau=0.10$	-0.0053***	1.009***	0.4683***	0.0001	0.6135***	0.4236***
<i>adj.R</i> ²	8.31%	66.09%	51.22%	-0.03%	38.45%	49.47%
$\tau=0.50$	-0.0148***	1.1054***	0.5096***	-0.0003**	1.0202***	0.6388***
<i>adj.R</i> ²	27.60%	74.74%	63.28%	-0.02%	50.22%	59.20%
$\tau=0.90$	-0.0112***	1.0749***	0.6483***	-0.0038***	1.2581***	0.6417***
<i>adj.R</i> ²	38.18%	76.91%	69.63%	6.00%	62.03%	65.56%
$\tau=0.95$	-0.0129***	1.0440***	0.6862***	-0.0016***	1.2056***	0.5876***
<i>adj.R</i> ²	37.31%	74.62%	67.22%	0.49%	56.49%	60.83%
	Pannello B: ΔCoVar - Assicurazioni					
	STOXX Europe 600 Oil & Gas			STOXX Europe 600 Basic Resources		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0140***	1.0463***	0.5065***	-0.0020***	0.8363***	0.5461***
<i>adj.R</i> ²	55.02%	87.95%	91.14%	6.21%	68.37%	82.46%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0075***	0.7600***	0.3721***	0.0002*	0.5266***	0.3947***
<i>adj.R</i> ²	5.08%	55.71%	46.62%	0.02%	37.45%	51.95%
$\tau=0.10$	-0.0056***	0.8325***	0.4239***	-0.0009***	0.5251***	0.3935***
<i>adj.R</i> ²	6.84%	57.22%	48.55%	0.95%	41.34%	53.79%
$\tau=0.50$	-0.0132***	0.9278***	0.5162***	-0.0007**	0.8588***	0.5434***
<i>adj.R</i> ²	27.41%	62.70%	70.90%	0.27%	53.59%	61.76%
$\tau=0.90$	-0.0156***	1.1122***	0.5412***	-0.0058***	1.3742***	0.7170***
<i>adj.R</i> ²	51.50%	76.46%	78.54%	9.94%	70.32%	78.39%
$\tau=0.95$	-0.0170***	1.1007***	0.5381***	-0.0032***	1.3542***	0.7139***
<i>adj.R</i> ²	48.46%	74.52%	75.91%	1.00%	66.17%	74.86%

Nota: I coefficienti derivano dall'analisi di regressione delle serie temporali con ΔCoVar come variabile dipendente. Le variabili indipendenti sono indicate nell'intestazione di ciascuna colonna. I simboli ***, ** e * indicano la significatività ai livelli 1%, 5% e 10%, rispettivamente.

La Tabella 5 presenta i risultati delle regressioni OLS e quantiliche condotte per valutare l'influenza della performance degli indici *STOXX Europe 600 Oil & Gas* e *STOXX Europe 600 Basic Resources* sulla dinamica del rischio sistemico misurato tramite ΔCoVaR , distintamente per il settore bancario (Pannello A) e assicurativo (Pannello B).

Inizialmente, i risultati delle regressioni OLS mostrano coefficienti negativi per le variabili "Indice" in entrambi i settori e per entrambi gli indici. Questo suggerisce che un peggioramento della performance dei settori *brown*, ossia una riduzione dei rendimenti degli indici, tende a essere associato a un aumento del contributo al rischio sistemico. L'analisi quantilica consente invece di cogliere possibili variazioni lungo la distribuzione del rischio sistemico e fornisce risultati più ricchi e articolati. In primo luogo, i coefficienti delle variabili "Indice" rimangono negativi e significativi soprattutto nei quantili superiori ($\tau = 0.90$ e 0.95), in entrambi i settori. Questo conferma che le fasi di forte stress sistemico tendono a essere anticipate o accompagnate da un peggioramento nella performance dei settori *brown*. Si rafforza quindi l'ipotesi secondo cui la transizione ecologica, o l'attesa di eventi climatici severi, possa avere un impatto amplificato sul rischio sistemico proprio nei momenti di maggiore instabilità. Interessante è anche il comportamento delle variabili Var ed ES, che rappresentano misure del rischio proprio degli indici *brown*. I coefficienti positivi e altamente significativi lungo tutti i quantili indicano che un aumento della volatilità o del rischio estremo dei settori *Oil & Gas* e *Basic Resources* è fortemente associato a un incremento del ΔCoVaR , sia per le banche che per le assicurazioni. Questo risultato suggerisce un chiaro effetto di trasmissione del rischio settoriale verso la dimensione sistemica.

Dal confronto tra i due settori emerge un quadro in parte differenziato. Nel comparto bancario, i coefficienti relativi agli indici di performance appaiono generalmente più elevati in valore assoluto indicando una maggiore sensibilità del settore agli shock di mercato legati alle performance negative dei settori *brown*. Tuttavia, anche per le assicurazioni l'effetto risulta consistente e significativo, soprattutto nei quantili più elevati.

Inoltre, i valori dell'*adjusted R²* risultano in molti casi più elevati nei quantili superiori rispetto a quelli inferiori, suggerendo che la capacità esplicativa del modello è maggiore

proprio nelle fasi di tensione sistemica. Ciò conferma la validità dell'approccio quantilico nell'analizzare la relazione tra performance settoriale e rischio sistemico, fornendo evidenze coerenti con la letteratura recente.

Tabella 6 MES e indici *brown*

	Pannello A: <i>MES - Banche</i>					
	STOXX Europe 600 Oil & Gas			STOXX Europe 600 Basic Resources		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0217***	1.8519***	0.8945***	-0.0021***	1.4760***	0.9782***
<i>adj.R</i> ²	39.33%	82.26%	84.85%	2.03%	63.59%	78.99%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0097***	1.1990***	0.8493***	0.0018***	0.9104***	0.6597***
<i>adj.R</i> ²	2.77%	53.41%	65.90%	1.56%	30.39%	40.20%
$\tau=0.10$	-0.0115***	1.3301***	0.8899***	0.0012***	0.9761***	0.6569***
<i>adj.R</i> ²	2.95%	53.93%	68.58%	0.40%	30.12%	40.08%
$\tau=0.50$	-0.0233***	1.9379***	0.8907***	-0.0011**	1.8437***	1.1648***
<i>adj.R</i> ²	16.49%	60.99%	68.81%	0.36%	41.07%	57.34%
$\tau=0.90$	-0.0219***	1.8659***	0.7263***	-0.0059***	2.0576***	1.0570***
<i>adj.R</i> ²	41.60%	57.76%	56.87%	7.03%	60.52%	66.54%
$\tau=0.95$	-0.0230***	1.2415***	0.6670***	-0.0050***	1.9125***	0.9034***
<i>adj.R</i> ²	39.19%	54.15%	56.39%	0.49%	56.40%	61.66%
	Pannello B: <i>MES - Assicurazioni</i>					
	STOXX Europe 600 Oil & Gas			STOXX Europe 600 Basic Resources		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0232***	1.6633***	0.8291***	-0.0036***	1.3801***	0.9184***
<i>adj.R</i> ²	53.47%	78.78%	86.56%	7.41%	66.01%	82.67%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0101***	1.2828***	0.7284***	-0.0006**	0.7441***	0.5678***
<i>adj.R</i> ²	5.72%	54.53%	55.32%	0.30%	32.42%	43.38%
$\tau=0.10$	-0.0117***	1.2445***	0.9014***	-0.0017***	0.7789***	0.5423***
<i>adj.R</i> ²	7.56%	56.31%	57.14%	1.60%	34.19%	44.26%
$\tau=0.50$	-0.0214***	1.3854***	0.8338***	-0.0014***	1.3864***	0.9357***
<i>adj.R</i> ²	24.59%	55.46%	68.77%	0.62%	50.82%	62.88%
$\tau=0.90$	-0.0272***	1.8705***	0.6202***	-0.0091***	2.1871***	1.1191***
<i>adj.R</i> ²	51.53%	57.41%	60.27%	11.89%	64.88%	76.52%
$\tau=0.95$	-0.0275***	1.3507***	0.6817***	-0.0046***	2.2100***	1.0635***
<i>adj.R</i> ²	47.29%	49.10%	58.52%	0.47%	57.05%	71.51%

Nota: I coefficienti derivano dall'analisi di regressione delle serie temporali con *MES* come variabile dipendente. Le variabili indipendenti sono indicate nell'intestazione di ciascuna colonna. I simboli ***, ** e * indicano la significatività ai livelli 1%, 5% e 10%, rispettivamente.

La Tabella 6 approfondisce la relazione tra la performance dei settori *brown* e il rischio sistemico misurato tramite il *Marginal Expected Shortfall* (MES), offrendo un quadro complementare rispetto a quanto osservato per il ΔCoVaR .

Come evidenziato dalle regressioni OLS, il coefficiente della variabile “Indice” è negativo e statisticamente significativo in entrambi i settori, confermando che una peggior performance dei titoli *brown* è associata a un aumento del rischio sistemico misurato tramite MES. Questa relazione si rafforza nei risultati delle regressioni quantiliche, in particolare nei quantili superiori, dove l'effetto negativo diventa più intenso, indicando che le fasi di forte stress sistemico si accompagnano tipicamente a una caduta della performance dei settori ad alta intensità di carbonio.

L'effetto del Var e dell'ES dei settori *brown* è ancora più evidente: i coefficienti relativi a queste variabili sono positivi, altamente significativi e crescenti nei quantili superiori. Questo indica che un aumento della rischiosità dei settori *brown* si traduce in un aggravio sistematico del MES, ossia della perdita attesa in condizioni di stress. In altre parole, quando i settori *brown* attraversano fasi di elevata instabilità, il sistema finanziario nel suo complesso tende a diventare più vulnerabile.

Dal confronto tra i due settori emerge una maggiore sensibilità del comparto assicurativo al rischio derivante dai settori *brown*, soprattutto nei quantili più alti della distribuzione. In particolare, nel settore assicurativo, le misure Var ed ES dei settori *Oil & Gas* e *Basic Resources* mostrano un effetto amplificato sul MES, riflettendo probabilmente l'esposizione diretta delle assicurazioni ai danni fisici legati agli eventi climatici e la loro interconnessione con le fonti fossili, anche attraverso i portafogli di investimento.

D'altro canto, gli *adjusted R²* risultano generalmente più alti nei quantili elevati rispetto a quelli inferiori, confermando che il modello spiega meglio la variabilità del rischio sistemico in condizioni di stress, come già visto nella tabella precedente.

Nel complesso, i risultati forniscono ulteriori conferme del legame tra instabilità dei settori *brown* e rischio sistemico, evidenziando come tale relazione non sia uniforme, ma si intensifichi proprio nei contesti più critici. Queste dinamiche sottolineano l'importanza di considerare i rischi di transizione legati al cambiamento climatico anche

sotto il profilo sistemico, e di incorporare criteri ESG e climatici nelle strategie di gestione del rischio e nella regolamentazione prudenziale.

Tabella 7 ΔCoVar e indici *green*

	Pannello A: ΔCoVar - Banche					
	STOXX Europe 600 ESG-X			EURO STOXX Sustainability		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0137***	1.2328***	0.7686***	-0.0103***	1.2164***	0.8054***
<i>adj.R²</i>	10,43%	90,45%	89,39%	5,88%	89,63%	91,36%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	0.0016***	1.1609***	0.7403***	0.0016***	1.0800***	0.7267***
<i>adj.R²</i>	0.11%	58.61%	44.93%	1.33%	57.29%	48.57%
$\tau=0.10$	0.0007*	1.1554***	0.7996***	0.0009**	1.2457***	0.8251***
<i>adj.R²</i>	0.17%	60.77%	56.23%	0.29%	60.60%	59.63%
$\tau=0.50$	-0.0168***	1.2585***	0.8042***	-0.0136***	1.2548***	0.8516***
<i>adj.R²</i>	6.64%	69.38%	72.40%	4.35%	69.00%	75.35%
$\tau=0.90$	-0.0419***	1.3400***	0.8440***	-0.0419***	1.0298***	0.7835***
<i>adj.R²</i>	21.42%	74.53%	75.80%	8.83%	71.75%	78.51%
$\tau=0.95$	-0.0438***	1.3224***	0.8818***	-0.0257***	1.0981***	0.7274***
<i>adj.R²</i>	13.22%	71.72%	74.09%	1.59%	69.94%	75.57%
	Pannello B: ΔCoVar - Assicurazioni					
	STOXX Europe 600 ESG-X			EURO STOXX Sustainability		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0174***	1.2409***	0.7822***	-0.0135***	1.2205***	0.8079***
<i>adj.R²</i>	17.30%	94.56%	95.51%	10.51%	93.11%	94.85%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0002	1.0419***	0.6608***	0.0004	1.0847***	0.6277***
<i>adj.R²</i>	-0.04%	66.15%	59.19%	0.00%	59.37%	58.97%
$\tau=0.10$	-0.0029***	1.0291***	0.7155***	-0.0029***	1.1702***	0.7596***
<i>adj.R²</i>	3.01%	67.70%	66.04%	2.36%	63.47%	64.52%
$\tau=0.50$	-0.0188***	1.2929***	0.8170***	-0.0164***	1.2594***	0.8134***
<i>adj.R²</i>	9.99%	78.62%	81.55%	7.04%	71.80%	77.40%
$\tau=0.90$	-0.0494***	1.2643***	0.7994***	-0.0494***	1.1737***	0.8275***
<i>adj.R²</i>	26.70%	80.89%	86.27%	12.24%	79.27%	84.99%
$\tau=0.95$	-0.0514***	1.2055***	0.7718***	-0.0461***	1.1076***	0.8012***
<i>adj.R²</i>	17.52%	76.68%	83.65%	2.82%	76.73%	83.20%

Nota: I coefficienti derivano dall'analisi di regressione delle serie temporali con ΔCoVar come variabile dipendente. Le variabili indipendenti sono indicate nell'intestazione di ciascuna colonna. I simboli ***, ** e * indicano la significatività ai livelli 1%, 5% e 10%, rispettivamente.

La Tabella 7 analizza la relazione tra le performance dei settori *green* e il rischio sistemico misurato tramite ΔCoVaR , distinguendo tra il comparto bancario (Pannello A) e quello assicurativo (Pannello B). Gli indici di riferimento sono lo *STOXX Europe 600 ESG-X* e l'*EURO STOXX Sustainability*, scelti per rappresentare imprese maggiormente esposte a pratiche sostenibili, sia in termini ambientali che sociali e di governance.

I risultati delle regressioni OLS evidenziano, per entrambi i settori e per entrambi gli indici, una relazione negativa significativa tra la performance dei titoli *green* e il livello di rischio sistemico, dunque non sono esenti da vulnerabilità in fasi di stress di mercato. Tuttavia, contrariamente a quanto inizialmente ipotizzato, gli effetti appaiono più intensi rispetto a quelli rilevati per gli indici *brown*.

Le regressioni quantiliche forniscono indicazioni più dettagliate. I coefficienti associati ai rendimenti diventano più negativi e significativi nei quantili superiori della distribuzione, evidenziando che, nei contesti di elevato rischio sistemico, una perdita di valore degli indici *green* può accentuare la fragilità complessiva del sistema finanziario in misura quasi sempre maggiore rispetto agli indici *brown*. L'analisi delle variabili Var ed ES , che misurano la volatilità e il rischio estremo degli indici *green*, mostra coefficienti positivi e significativi lungo tutta la distribuzione, con valori quasi sempre superiori rispetto ai corrispettivi *brown*. Questo risultato contrasta con l'idea comune che gli asset sostenibili siano intrinsecamente più stabili, suggerendo invece che in condizioni di forte stress di mercato possano amplificare il rischio sistemico.

Il confronto tra banche e assicurazioni evidenzia una maggiore esposizione del comparto bancario alle variazioni di performance e di rischio degli indici *green*, soprattutto nei quantili più elevati. Questo può essere spiegato dal fatto che le banche, per la loro struttura di bilancio e l'elevato grado di interconnessione, sono più direttamente influenzate dalle fluttuazioni dei mercati finanziari e dalla percezione del rischio legato alla transizione climatica. Inoltre, i valori dell'*adjusted R²* crescono sensibilmente nei quantili superiori, confermando quanto detto in precedenza.

Questi risultati offrono una prospettiva diversa rispetto all'ipotesi iniziale, sottolineando che, sebbene i settori *green* siano considerati relativamente resilienti nel lungo periodo, nei momenti di stress sistemico essi possono comportarsi in maniera analoga o

addirittura più accentuata rispetto ai settori *brown*. Tale evidenza indica che il mercato potrebbe reagire in modo più volatile quando gli asset sostenibili perdono valore, riflettendo una percezione di rischio potenzialmente amplificata dalla transizione ecologica e dall'incertezza sui futuri sviluppi normativi e climatici.

Tabella 8 MES e indici *green*

	Pannello A: MES - Banche					
	STOXX Europe 600 ESG-X			EURO STOXX Sustainability		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0243***	2.1256***	1.4017***	-0.0186***	2.1185***	1.4687***
<i>adj.R²</i>	10,08%	82,83%	91,58%	5,95%	83,75%	93,58%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	0.0062***	1.7065***	1.2852***	0.0067***	1.8903***	1.3282***
<i>adj.R²</i>	1,79%	54,57%	61,74%	2,32%	51,85%	62,33%
$\tau=0.10$	0.0037***	1.6536***	1.3594***	0.0047***	1.9078***	1.4219***
<i>adj.R²</i>	0,78%	54,68%	64,45%	1,12%	55,58%	65,59%
$\tau=0.50$	-0.0257***	2.2477***	1.3822***	-0.0228***	2.2137***	1.4647***
<i>adj.R²</i>	7,15%	61,29%	69,85%	5,39%	63,78%	75,12%
$\tau=0.90$	-0.0743***	1.9157***	1.4222***	-0.0742***	1.6043***	1.5536***
<i>adj.R²</i>	24,14%	61,74%	76,72%	12,25%	59,00%	78,55%
$\tau=0.95$	-0.0737***	1.3509***	1.4777***	-0.0821***	1.2924***	1.5816***
<i>adj.R²</i>	15,14%	57,62%	75,72%	2,22%	56,77%	77,49%
	Pannello B: MES - Assicurazioni					
	STOXX Europe 600 ESG-X			EURO STOXX Sustainability		
	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>	<i>Indice</i>	<i>Var</i>	<i>Es</i>
<i>OLS</i>	-0.0315***	1.9900***	1.3192***	-0.0252***	1.9487***	1.3579***
<i>adj.R²</i>	20,06%	86,20%	96,31%	13,08%	84,13%	94,98%
<i>Regressione Quantilica</i>						
$\tau=0.05$	-0.0021	1.4324***	1.1504***	-0.0020	1.5656***	1.2106***
<i>adj.R²</i>	0,59%	57,60%	69,65%	0,34%	53,79%	68,44%
$\tau=0.10$	-0.0060***	1.3771***	1.1110***	-0.0053***	1.6394***	1.2100***
<i>adj.R²</i>	2,72%	57,17%	70,37%	2,03%	56,37%	69,62%
$\tau=0.50$	-0.0277***	2.0782***	1.3231***	-0.0244***	2.0580***	1.3876***
<i>adj.R²</i>	9,83%	70,62%	82,03%	7,29%	63,96%	76,91%
$\tau=0.90$	-0.0785***	2.4364***	1.3795***	-0.0746***	2.0175***	1.4732***
<i>adj.R²</i>	29,36%	63,54%	83,69%	15,28%	59,35%	81,75%
$\tau=0.95$	-0.0820***	1.5248***	1.3695***	-0.0863***	1.4311***	1.4526***
<i>adj.R²</i>	17,88%	54,60%	80,36%	2,27%	53,58%	79,27%

Nota: I coefficienti derivano dall'analisi di regressione delle serie temporali con *MES* come variabile dipendente. Le variabili indipendenti sono indicate nell'intestazione di ciascuna colonna. I simboli ***, ** e * indicano la significatività ai livelli 1%, 5% e 10%, rispettivamente.

La Tabella 8 approfondisce l’impatto degli indici *green* sul rischio sistemico misurato attraverso il MES, completando l’analisi avviata nella tabella precedente.

I coefficienti delle regressioni OLS mostrano, in entrambi i settori, una relazione negativa e significativa tra i rendimenti degli indici *green* e il MES, suggerendo che una minore performance delle imprese sostenibili è associata a un incremento della vulnerabilità sistemica. Questo legame diventa più articolato e interessante quando si osservano i risultati delle regressioni quantiliche, che evidenziano una chiara asimmetria lungo la distribuzione condizionale del rischio sistemico.

Nel comparto bancario (Pannello A), i coefficienti della variabile “Indice” sono positivi e significativi nei quantili bassi ($\tau = 0.05$ e 0.10), ma diventano negativi e crescenti in valore assoluto nei quantili elevati ($\tau = 0.90$ e 0.95). Questo *pattern* indica che nei periodi di bassa tensione sistemica, una buona performance dei titoli *green* può associarsi paradossalmente a un lieve aumento del MES, forse per via di una maggiore esposizione di breve termine a flussi di mercato. Tuttavia, nelle fasi di stress, la relazione si inverte nettamente: una caduta dei titoli *green* è correlata a un aumento significativo del rischio sistemico, segnalando una perdita della funzione protettiva che questi asset possono esercitare nei momenti di stabilità.

Il comparto assicurativo (Pannello B) mostra una i coefficienti negativi nei quantili superiori sono più intensi, soprattutto per l’indice *EURO STOXX Sustainability*, con valori statisticamente significativi che suggeriscono una forte vulnerabilità in contesti di mercato avversi. Questi risultati indicano che, pur appartenendo a settori ritenuti resilienti alla transizione ecologica, anche gli asset *green* possono contribuire alla propagazione del rischio sistemico quando la pressione finanziaria si intensifica.

Ancora una volta, le variabili di rischio proprio degli indici *green* — Var ed ES — risultano positivamente e significativamente associate al MES in tutta la distribuzione, con un’entità dell’effetto superiore rispetto a quanto osservato per gli indici *brown*. Questo risultato suggerisce che, contrariamente alle attese iniziali, la rischiosità intrinseca degli asset sostenibili abbia un impatto sul sistema più pronunciato rispetto ai settori meno sostenibili, soprattutto nei momenti di elevata instabilità finanziaria.

In sintesi, i risultati di tale tabella suggeriscono che i settori *green*, anziché presentare una relazione meno intensa con il rischio sistemico rispetto a quelli *brown*, mostrano un impatto maggiore, in particolare nelle fasi di stress. La loro instabilità, quindi, può avere ripercussioni rilevanti per la stabilità del sistema finanziario europeo, soprattutto nei contesti di crisi.

L'analisi complessiva delle quattro tabelle dedicate alle regressioni quantiliche permette di trarre alcune considerazioni rilevanti riguardo alla relazione tra la performance dei settori *green* e *brown* e il rischio sistemico nel sistema finanziario europeo. In primo luogo, emerge con chiarezza una differenziazione tra indici *brown* e *green*, sia in termini di intensità degli effetti sul rischio sistemico, sia in termini di comportamento nei diversi quantili della distribuzione.

Contrariamente alle ipotesi iniziali, gli indici *STOXX Europe 600 ESG-X* e *l'EURO STOXX Sustainability*, mostrano una relazione leggermente più forte con il rischio sistemico in quasi tutti i quantili, soprattutto nei quantili superiori, ovvero in presenza di condizioni di mercato particolarmente stressate. Le regressioni indicano che una riduzione dei rendimenti degli indici sostenibili, così come un aumento della loro volatilità o del rischio estremo, si associa ad un incremento del rischio sistemico, sia nel settore bancario che in quello assicurativo. Questo *pattern* riflette una maggiore sensibilità del mercato agli asset sostenibili nei contesti di crisi, suggerendo che, in situazioni di elevato stress finanziario, gli investitori potrebbero percepire i titoli *green* come meno protettivi rispetto alle fasi di mercato più stabili.

Al contrario, gli indici *brown*, rappresentati dai settori *Oil & Gas* e *Basic Resources*, pur mostrando una relazione positiva con il rischio sistemico, evidenziano generalmente coefficienti di poco più contenuti rispetto agli indici *green*. Tuttavia, un elemento distintivo è rappresentato dal coefficiente del Var al 95° quantile dello *STOXX Europe 600 Basic Resources*, che risulta sempre maggiore rispetto agli altri coefficienti considerati. Ciò indica che, nelle condizioni di massimo stress sistemico, la volatilità del settore delle risorse di base amplifica in misura superiore il rischio complessivo rispetto agli altri comparti analizzati. Inoltre, suggerisce che, pur essendo meno sistematici in condizioni ordinarie, i settori *brown* possono manifestare effetti molto intensi nelle fasi di stress estremo.

Un ulteriore elemento distintivo emerge dal confronto tra le due misure di rischio sistemico: il MES e il ΔCoVaR . In generale, il MES si dimostra più sensibile agli effetti aggregati degli indici di mercato, mostrando relazioni più marcate lungo tutta la distribuzione. Il ΔCoVaR , pur cogliendo l'effetto marginale delle variazioni di performance, appare meno reattivo nei contesti di stress, ma offre comunque indicazioni preziose sull'eterogeneità dei comportamenti tra banche e assicurazioni. Questa differenza metodologica conferma che il MES, catturando le perdite attese in periodi di crisi, risulta più adatto a valutare il rischio sistemico climatico nel suo complesso, mentre il ΔCoVaR è più indicato per cogliere gli effetti indotti da singoli settori o istituzioni.

Infine, il confronto tra i settori conferma che, sebbene le assicurazioni mostrino una maggiore sensibilità complessiva sia agli indici *green* che agli indici *brown*, le banche risultano comunque esposte, ma in misura relativamente inferiore. In particolare, le assicurazioni evidenziano coefficienti generalmente più elevati in valore assoluto, soprattutto quando si considerano le componenti di rischio estremo (Var ed ES). Questo differenziale riflette la diversa natura delle esposizioni settoriali: da un lato, l'interconnessione finanziaria delle banche, che le rende vulnerabili agli shock legati alla sostenibilità, ma con una capacità di assorbimento del rischio relativamente più alta; dall'altro, l'esposizione diretta delle assicurazioni ai rischi fisici e alla transizione energetica tramite i portafogli di investimento. Tale struttura rende il settore assicurativo particolarmente suscettibile a impatti amplificati in condizioni di stress sistemico, in linea con la loro esposizione diretta a eventi climatici estremi e alle perdite finanziarie collegate. Un'eccezione rilevante a questo schema è rappresentata dai coefficienti del ΔCoVaR in relazione agli indici *green*, che risultano generalmente più elevati per il settore bancario rispetto a quello assicurativo. Questo dato suggerisce che, quando si considera il rischio sistemico in termini di contributo marginale, le banche tendono a risentire maggiormente delle oscillazioni degli asset sostenibili rispetto alle assicurazioni, forse a causa della loro maggiore esposizione agli investimenti finanziari direttamente legati alla transizione ecologica.

Nel complesso, i risultati confermano che la composizione settoriale dei mercati finanziari e la natura delle attività economiche sottostanti giocano un ruolo cruciale

nella determinazione del rischio sistemico climatico. Le imprese *green*, sebbene rappresentino un'opportunità di mitigazione del rischio nel lungo periodo, possono manifestare una vulnerabilità inattesa nei momenti di stress finanziario, mentre le imprese *brown*, pur essendo generalmente meno sensibili, mostrano picchi di rischio estremo in contesti di crisi accentuata. La transizione verso un'economia a basse emissioni, se ben governata, può dunque rappresentare un fattore di mitigazione del rischio sistemico nel medio-lungo periodo, ma richiede una gestione attenta delle possibili instabilità di breve termine. Di conseguenza, risulta fondamentale sviluppare strumenti di gestione del rischio specifici per affrontare le sfide emergenti legate alla volatilità dei mercati sostenibili e all'incertezza normativa connessa alla transizione climatica.

Conclusioni

Il cambiamento climatico rappresenta una sfida complessa e urgente per la stabilità finanziaria globale, in particolare per il sistema finanziario europeo, caratterizzato da una forte interconnessione tra banche, assicurazioni e mercati. Questa tesi ha esaminato il legame tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario, con un focus specifico sui settori bancario e assicurativo, al fine di identificare i principali canali di trasmissione del rischio climatico e le implicazioni per la stabilità finanziaria e la regolamentazione.

Il Capitolo 1 ha analizzato il legame tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario, focalizzandosi su tre aspetti principali: i concetti chiave di rischio fisico e rischio di transizione, l'impatto del cambiamento climatico sui mercati finanziari e le sfide per gli attori economici e la prospettiva regolatoria delle iniziative europee.

In primo luogo, sono stati approfonditi i concetti di rischio fisico e rischio di transizione. Il rischio fisico è legato agli impatti diretti del cambiamento climatico, come eventi estremi e cambiamenti gradualmente del clima, che influenzano il valore degli asset finanziari, aumentano la volatilità dei mercati e compromettono la stabilità di banche e assicurazioni. Dall'altra parte, il rischio di transizione è associato alle politiche ambientali e agli sforzi di decarbonizzazione, che possono portare alla svalutazione degli asset ad alta intensità di carbonio e generare instabilità finanziaria. I due rischi sono strettamente interconnessi: una transizione disordinata può aggravare il rischio fisico, mentre politiche climatiche improvvise e severe possono destabilizzare i settori più esposti alle emissioni di carbonio.

Successivamente, sono stati analizzati gli impatti specifici del cambiamento climatico sui mercati finanziari e le difficoltà che questi rischi pongono agli attori economici. Attraverso i contributi di Dietz et al. (2016), Battiston et al. (2021), Lamperti et al. (2019) e Monasterolo et al. (2017), si è evidenziato come il cambiamento climatico possa influenzare la stabilità finanziaria attraverso la svalutazione degli asset, l'aumento dei crediti deteriorati e il contagio finanziario. In particolare, il concetto di *Climate Value at Risk (Climate VaR)* ha dimostrato come i potenziali costi finanziari derivanti dagli impatti climatici possano raggiungere livelli critici, mentre la *network analysis* e i

modelli basati su agenti (ABM) hanno evidenziato l'importanza di comprendere le interconnessioni tra istituzioni finanziarie per anticipare gli effetti di contagio.

Nell'ultima parte del capitolo, si discutono le principali iniziative normative adottate a livello europeo per integrare i rischi climatici nella regolamentazione finanziaria. Le linee guida della Banca Centrale Europea (BCE), il quadro d'azione del Network for Greening the Financial System (NGFS) e il report dell'EBA (2022) hanno sottolineato l'importanza di rafforzare la supervisione prudenziale, integrare i rischi climatici nei requisiti di capitale e adottare obblighi di disclosure climatica. Le raccomandazioni del NGFS, in particolare, hanno evidenziato la necessità di stress test climatici e di un quadro normativo chiaro per evitare transizioni disordinate che potrebbero destabilizzare il sistema finanziario.

Dai tre ambiti analizzati emerge un consenso sulla necessità di una transizione ordinata e pianificata verso un'economia sostenibile per evitare shock finanziari improvvisi. Tutti gli studi concordano sul fatto che il cambiamento climatico non rappresenta solo un rischio futuro, ma una realtà già in atto, i cui effetti si intensificheranno senza un'azione tempestiva. In particolare, il rischio sistemico si amplifica a causa delle interconnessioni finanziarie, per cui eventi climatici estremi o politiche di decarbonizzazione non gestite correttamente possono propagarsi rapidamente nel sistema finanziario. Un altro aspetto comune è la centralità della trasparenza finanziaria. Gli studi evidenziano che la mancanza di dati chiari e standardizzati sui rischi climatici limita la capacità degli investitori di prendere decisioni consapevoli, aumentando il rischio di sottovalutare gli impatti climatici nei portafogli finanziari. L'adozione di una *Climate-Related Financial Disclosure* (CRFD) obbligatoria potrebbe migliorare la resilienza del sistema finanziario, fornendo informazioni più dettagliate e comparabili sulle esposizioni ai rischi ambientali.

Dall'analisi del capitolo si evidenziano alcune implicazioni cruciali per la stabilità finanziaria e la regolamentazione. In primo luogo, è fondamentale che le istituzioni finanziarie adottino modelli avanzati di valutazione del rischio climatico, integrando sia i rischi fisici che quelli di transizione nei processi decisionali. Strumenti come il *Climate VaR* e i modelli basati su *network analysis* consentono di comprendere meglio la diffusione del rischio all'interno del sistema finanziario. Dal punto di vista

regolamentare, è necessario che le autorità europee continuino a rafforzare il quadro normativo, adottando politiche macroprudenziali che incentivino la transizione ecologica senza destabilizzare il settore finanziario. In particolare, la regolamentazione potrebbe prevedere requisiti patrimoniali più stringenti per le istituzioni esposte a settori *brown* e promuovere una maggiore trasparenza sui rischi climatici.

Il Capitolo 2 ha avuto come obiettivo principale quello di fornire una panoramica strutturata e approfondita degli approcci teorici, delle metriche quantitative e delle evidenze empiriche che collegano il cambiamento climatico al rischio sistemico finanziario. Attraverso l'analisi della letteratura accademica e dei principali modelli proposti, è stato possibile delineare i fattori chiave che contribuiscono alla vulnerabilità del sistema finanziario in un contesto di crescente attenzione alla sostenibilità ambientale.

Nella prima parte del capitolo, abbiamo esplorato i principali approcci teorici alla misurazione del rischio sistemico. In particolare, lo studio di Acharya et al. (2017) ha introdotto il concetto di *Systemic Expected Shortfall* (SES), che misura la carenza di capitale di un'istituzione finanziaria in uno scenario di crisi globale, considerando il *leverage* e l'esposizione ai rischi di mercato. Altre metriche evidenziate sono state il CoVaR di Adrian & Brunnermeier (2016), focalizzato sul contagio finanziario tra istituzioni, e lo SRISK di Brownlees & Engle (2017), che quantifica il deficit di capitale in caso di shock. Inoltre, è stato discusso l'approccio del *Climate Stress-Test Model* di Battiston et al. (2017), che introduce il rischio climatico come un elemento sistemico. Questo modello consente di simulare l'impatto delle politiche climatiche sugli asset finanziari, differenziando tra scenari di transizione ordinata e disordinata. Oppure, l'approccio quantitativo del CLIMAFIN proposto sempre da Battiston et al. (2019) si concentra invece sulla valutazione del rischio associato ai titoli sovrani detenuti dalle compagnie assicurative europee, integrando i rischi di transizione climatica nei portafogli obbligazionari.

Successivamente sono stati esplorati studi empirici che esaminano l'effetto degli eventi climatici estremi e delle politiche di transizione ecologica sui mercati finanziari. Gli studi di Curcio et al. (2023), Monasterolo & De Angelis (2020) e Roncoroni et al. (2021) offrono prospettive complementari sull'impatto del rischio climatico nel settore

finanziario. Curcio et al. (2023) evidenziano come gli shock climatici estremi influenzino il rischio sistemico nel settore bancario e assicurativo statunitense, mostrando una maggiore vulnerabilità degli asset *green* in condizioni di stress finanziario. Monasterolo & De Angelis (2020) dimostrano invece che l'Accordo di Parigi ha portato a una riduzione del rischio sistemico per gli asset *low-carbon*, suggerendo che i mercati iniziano a percepire positivamente la transizione ecologica. Roncoroni et al. (2021) analizzano il contagio finanziario derivante dal rischio climatico, concentrandosi sul ruolo delle interconnessioni tra banche e fondi di investimento, e identificano la transizione disordinata come il principale fattore di instabilità.

Dall'analisi dei modelli teorici e dei risultati empirici emerse in questa ricerca, possiamo trarre alcune importanti considerazioni riguardanti la stabilità finanziaria e le possibili implicazioni regolatorie legate al cambiamento climatico. Uno degli aspetti principali è la necessità di integrare il rischio climatico nei modelli di rischio sistemico già esistenti. Ad oggi, strumenti come il SES (*Systemic Expected Shortfall*) e lo SRISK rappresentano validi indicatori per misurare la vulnerabilità delle istituzioni finanziarie. Tuttavia, essi non sono pienamente adeguati a cogliere la complessità dei rischi derivanti dalla transizione ecologica. Per questa ragione, è essenziale adattare tali modelli affinché possano includere i fattori climatici, consentendo così una valutazione più accurata della resilienza finanziaria. In questo contesto, strumenti come il *Climate Stress-Test Model* si rivelano particolarmente utili, poiché permettono ai regolatori di anticipare l'impatto di politiche climatiche improvvise e fornire una visione più realistica e preventiva degli effetti che una transizione ecologica, se non gestita correttamente, potrebbe generare sul sistema finanziario.

Un'altra implicazione rilevante riguarda la supervisione e la trasparenza sugli asset sostenibili. Negli ultimi anni, abbiamo assistito a un crescente interesse verso gli asset cosiddetti *green*, considerati generalmente meno rischiosi in un'ottica di lungo termine. Tuttavia, la loro popolarità non deve far dimenticare che anche questi investimenti possono mostrare una significativa volatilità, soprattutto in situazioni di stress finanziario. È quindi fondamentale garantire una supervisione rigorosa su tali asset per evitare che una transizione finanziaria mal gestita possa amplificare il rischio sistemico

anziché ridurlo. Inoltre, un punto chiave per garantire stabilità è rappresentato dall'obbligo di disclosure climatica. Una maggiore trasparenza sui rischi legati agli investimenti sostenibili permetterebbe agli investitori di compiere scelte più consapevoli e informate, contribuendo a migliorare l'allocazione del capitale verso progetti effettivamente resilienti dal punto di vista climatico.

Infine, un terzo aspetto cruciale riguarda la necessità di stress-test climatici più realistici. Per essere veramente efficaci, tali test devono includere non solo scenari di transizione gradualisti, ma anche situazioni caratterizzate da cambiamenti disordinati o improvvisi, che spesso sono quelli più destabilizzanti per il sistema finanziario. Per far fronte a questa complessità, sarebbe opportuno integrare nei test dati sugli eventi climatici estremi e informazioni aggiornate sulla performance degli indici *green* e *brown*. Questo consentirebbe di valutare non solo l'impatto diretto degli eventi avversi, ma anche le possibili reazioni a catena nel sistema finanziario. In aggiunta, i regolatori dovrebbero promuovere l'adozione di modelli di *network analysis*, utili per identificare con maggiore precisione i canali attraverso cui il rischio climatico potrebbe propagarsi nel sistema finanziario, aumentando così la capacità di anticipare e mitigare eventuali crisi.

Nel Capitolo 3 viene costruito un dataset rappresentativo per studiare la relazione tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario nel contesto europeo. Inoltre viene spiegato un approccio metodologico consolidato, ispirato allo studio di Curcio et al. (2023), con cui è stato possibile svolgere l'analisi nel capitolo successivo.

Per garantire un'analisi accurata e comparabile, il dataset è stato costruito integrando due tipologie di dati: da un lato, i dati finanziari, ottenuti tramite *LSEG Data & Analytics*, relativi agli indici rappresentativi del settore finanziario europeo e dei settori ad alta intensità di carbonio o orientati alla sostenibilità; dall'altro, i dati sugli eventi climatici estremi, estratti dal database EM-DAT. Gli eventi selezionati sono quelli con impatti economici superiori a 500 milioni di dollari, verificatisi in Europa nel periodo compreso tra il 14 dicembre 2015 (data dell'Accordo di Parigi) e il 31 gennaio 2025. La scelta di questo orizzonte temporale è giustificata dal fatto che, come evidenziato da Monasterolo e De Angelis (2020) ed Ehlers et al. (2022), i mercati finanziari hanno

iniziato a incorporare in modo sistematico i rischi climatici solo dopo l'Accordo di Parigi.

La metodologia descritta ha previsto l'utilizzo di due metriche principali di rischio sistemico: il ΔCoVaR e il MES, che permettono di misurare rispettivamente l'impatto di un'istituzione sul rischio sistemico complessivo e la vulnerabilità del sistema durante periodi di stress. Per valutare la risposta del sistema finanziario agli eventi estremi, si è scelto di applicare il *Wilcoxon signed-rank test*, una tecnica non parametrica che consente di verificare se vi siano differenze significative nel rischio sistemico prima, durante e dopo l'evento. Inoltre, per indagare l'effetto della performance degli indici *green* e *brown* sul rischio sistemico, le regressioni quantiliche proposte da Koenker e Bassett Jr. (1978). Questo metodo permette di cogliere la relazione tra la performance di mercato degli indici sostenibili e inquinanti e il rischio sistemico non solo a livello mediano, ma anche nei quantili estremi, corrispondenti a condizioni di stabilità o stress finanziario. L'utilizzo del VaR e dell'ES come misure di rischio degli indici ha inoltre consentito di comprendere meglio la percezione del mercato riguardo alla stabilità dei settori *green* e *brown* in condizioni di stress.

L'analisi empirica condotta nel Capitolo 4 si è proposta di investigare il legame tra cambiamento climatico e rischio sistemico finanziario, con un focus specifico sui settori bancario e assicurativo europei.

Nella prima parte del capitolo, si è esaminata la reazione del rischio sistemico agli eventi climatici estremi, utilizzando il test di *Wilcoxon signed-rank*. Questa metodologia non parametrica ha permesso di confrontare i livelli di rischio prima, durante e dopo 21 disastri naturali europei con danni economici pari ad almeno 500 milioni di euro. I risultati hanno evidenziato che l'effetto degli eventi climatici sul rischio sistemico è più pronunciato nella fase post-evento rispetto alla fase immediata, indicando una reazione ritardata del mercato. In particolare, il settore bancario ha mostrato una maggiore vulnerabilità durante la fase successiva alla catastrofe, mentre il comparto assicurativo ha manifestato un aumento del rischio soprattutto a medio termine, riflettendo la diversa esposizione ai rischi fisici e finanziari.

Successivamente, l'analisi si è focalizzata sull'influenza della performance dei settori *green* e *brown* sul rischio sistemico, attraverso l'utilizzo di regressioni quantiliche. Questo approccio ha consentito di cogliere non solo la relazione media tra le variabili, come nelle regressioni OLS, ma anche le differenze in contesti di elevato stress finanziario, identificando *pattern* distinti tra i due comparti settoriali. I risultati hanno mostrato che gli indici *green*, rappresentati da *STOXX Europe 600 ESG-X* e *EURO STOXX Sustainability*, presentano una relazione più forte e intensa con il rischio sistemico rispetto agli indici *brown*, soprattutto nei quantili superiori della distribuzione ($\tau = 0.90$ e $\tau = 0.95$). Ciò contrasta con l'ipotesi iniziale di una maggiore resilienza degli asset sostenibili nei periodi di crisi. Al contrario, gli indici *brown*, pur mostrando anch'essi una correlazione positiva con il rischio sistemico, risultano generalmente meno influenti, con l'eccezione del coefficiente della variabile Var al 95° quantile superiore dello *STOXX Europe 600 Basic Resources*, che è il più elevato in assoluto tra tutti gli indici analizzati.

Un altro elemento di rilievo riguarda il confronto tra le due misure di rischio sistemico utilizzate: il ΔCoVaR e il MES. Il MES si è rivelato più adatto a catturare gli effetti aggregati, mostrando coefficienti più elevati e significativi soprattutto nei quantili più alti, mentre il ΔCoVaR ha offerto una prospettiva più mirata sull'impatto marginale delle variazioni di performance dei singoli settori. In particolare, l'eccezione è data dai coefficienti del ΔCoVaR e degli indici *green*, che risultano generalmente più elevati per il settore bancario rispetto a quello assicurativo, suggerendo una maggiore esposizione delle banche alla volatilità dei titoli sostenibili.

I risultati ottenuti da questa analisi empirica sollevano alcune questioni critiche per la stabilità finanziaria e la regolamentazione del settore finanziario europeo. In primo luogo, l'evidenza che gli indici *green* possano amplificare il rischio sistemico nei momenti di stress sfida l'idea consolidata della loro intrinseca resilienza. Questo risultato suggerisce che gli investimenti sostenibili, pur rappresentando un'opportunità strategica nel lungo periodo, possano manifestare vulnerabilità inattese nel breve termine, soprattutto quando si verificano shock di mercato. In questo contesto, le autorità di vigilanza dovrebbero adottare un approccio più prudente, integrando nei modelli di stress test non solo i rischi legati agli asset *brown*, ma anche quelli derivanti

da fluttuazioni impreviste degli indici *green*. In particolare, i risultati indicano la necessità di sviluppare indicatori specifici per il rischio finanziario legato alla transizione ecologica, al fine di evitare un'eccessiva polarizzazione degli investimenti verso asset sostenibili senza un'adeguata gestione del rischio.

Inoltre, la maggiore esposizione del settore assicurativo agli indici *brown* evidenziata nei quantili estremi sottolinea la necessità di rafforzare i requisiti patrimoniali per le compagnie assicurative con portafogli fortemente esposti ai rischi di transizione. Una politica prudenziale più rigorosa potrebbe prevedere l'integrazione di fattori ESG non solo come opportunità, ma anche come potenziale fonte di instabilità sistemica. Per le banche, il fatto che il ΔCoVaR sia più elevato in relazione agli indici *green* suggerisce che la crescente enfasi sulla finanza sostenibile potrebbe, in alcuni contesti, aumentare il rischio marginale anziché ridurlo. Di conseguenza, risulta fondamentale che le politiche di gestione del rischio non sottovalutino la volatilità associata agli investimenti verdi, specialmente nei portafogli ad alta esposizione.

In conclusione, la gestione del rischio climatico richiede un approccio coordinato tra istituzioni finanziarie, regolatori e attori di mercato, orientato a prevenire crisi sistemiche attraverso una pianificazione ordinata e una regolamentazione chiara. Garantire la resilienza del sistema finanziario di fronte alle sfide climatiche rappresenta una priorità non solo per tutelare gli investitori, ma anche per promuovere una transizione sostenibile e stabile verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

L'analisi empirica ha evidenziato come il cambiamento climatico possa influenzare in modo non lineare il rischio sistemico, sfidando la tradizionale distinzione tra asset *brown* e *green*. Questo risultato sottolinea l'importanza di un quadro normativo bilanciato, capace di riconoscere la complessità e la dualità dei rischi climatici: da un lato, la minaccia diretta rappresentata dai settori ad alta intensità di carbonio; dall'altro, la vulnerabilità dei settori sostenibili nei momenti di crisi finanziaria. Solo integrando entrambi gli aspetti in una logica di vigilanza integrata sarà possibile favorire una transizione ecologica ordinata senza compromettere la stabilità finanziaria complessiva.

Dal punto di vista normativo, è fondamentale rafforzare le pratiche di disclosure climatica e incentivare l'adozione di stress-test climatici più sofisticati. In questo

contesto, il ruolo dell'Unione Europea si conferma centrale, grazie alla sua leadership nella promozione della finanza sostenibile attraverso strumenti normativi come la Tassonomia Europea e le linee guida della BCE. Una pianificazione proattiva e un approccio regolatorio coordinato a livello europeo rappresentano condizioni essenziali per garantire una transizione ordinata verso un sistema finanziario più resiliente e sostenibile. Tuttavia, la sfida non si limita solo alla gestione del rischio nelle istituzioni più esposte, ma richiede anche una riflessione approfondita sull'armonizzazione delle politiche regolatorie tra i diversi Stati membri e sul potenziamento della trasparenza sui rischi climatici da parte degli operatori finanziari. Solo attraverso un'azione concertata tra regolatori, banche centrali e istituzioni finanziarie sarà possibile mitigare il rischio sistemico legato al cambiamento climatico e promuovere una finanza più verde e responsabile.

Bibliografia

Acharya, V. V., Pedersen, L. H., Philippon, T., & Richardson, M. (2017). Measuring systemic risk. *Review of Financial Studies*, 30(1), 2–47.

Adrian, T., & Brunnermeier, M. K. (2016). CoVaR. *American Economic Review*, 106(7), 1705–1741.

Battiston, S., Mandel, A., Monasterolo, I., Schütze, F., & Visentin, G. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 7(4), 283–288.

Battiston, S., Jakubik, P., Monasterolo, I., Riahi, K., & van Ruijven, B. (2019). Climate risk assessment of the sovereign bond portfolio of European insurers. *EIOPA Financial Stability Report*.

Battiston, S., Dafermos, Y., & Monasterolo, I. (2021). Climate risks and financial stability. *Journal of Financial Stability*, 54, 100855.

Bolton, P., Després, M., da Silva, L. A. P., Samama, F., & Svartzman, R. (2020). The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change. *Bank for International Settlements*.

Brownlees, C., & Engle, R. F. (2017). SRISK: A conditional capital shortfall measure of systemic risk. *Review of Financial Studies*, 30(1), 48–79.

Brunetti, C., Dennis, B., Gates, D., Hancock, D., Ignell, D., Kiser, E. K., Kovner, A., Rosen, R. J., & Tabor, N. K. (2021). Climate change and financial stability. *FEDS Notes*, 19(3).

Curcio, D., Gianfrancesco, I., & Vioto, D. (2023). Climate change and financial systemic risk: Evidence from US banks and insurers. *Journal of Financial Stability*, 66, 101132.

Dietz, S., Bowen, A., Dixon, C., & Gradwell, P. (2016). ‘Climate value at risk’ of global financial assets. *Nature Climate Change*, 6(7), 676–679.

European Banking Authority (EBA). (2022). *Report on management and supervision of ESG risks for credit institutions and investment firms*.

European Central Bank (ECB). (2021). *Climate-related risk and financial stability*.

Financial Stability Board (FSB). (2020). *The implications of climate change for financial stability*.

Lamperti, F., Bosetti, V., Roventini, A., & Tavoni, M. (2019). The public costs of climate-induced financial instability. *Nature Climate Change*, 9(11), 829–833.

Monasterolo, I., & De Angelis, L. (2020). Blind to carbon risk? An analysis of stock market reaction to the Paris Agreement. *Ecological Economics*, 170, 106571.

Monasterolo, I., Battiston, S., Caldarelli, G., & Schütze, F. (2017). Vulnerable yet relevant: *The two dimensions of climate-related financial disclosure*. *Ecological Economics*, 140, 190–198.

Network for Greening the Financial System (NGFS). (2019). *A call for action: Climate change as a source of financial risk*.

Roncoroni, A., Battiston, S., Escobar-Farfán, L. O., & Martinez-Jaramillo, S. (2021). Climate risk and financial stability in the network of banks and investment funds. *Journal of Financial Stability*, 54, 100870.