L’IA per la finanza climatica



Scuola estiva ClimateChangeAI

Malte Toetzke, 11 agosto 2026
Università tecnica di Monaco
Istituto Max Planck per l’innovazione e la concorrenza

MAX PLANCK GESELLSCHAFT

Cosa aspettarsi da questa lezione

Che cosa non è questa lezione

- Un’introduzione completa alla finanza climatica
- Una panoramica dettagliata degli strumenti finanziari (es. green bond, project finance)
- Un approfondimento su specifici metodi di IA o machine learning

Che cosa imparerete

Alla fine della lezione dovreste essere in grado di:

- Capire perché la finanza è fondamentale per mitigazione e adattamento
- Capire come l’IA può orientare le politiche finanziarie e le decisioni di investimento
- Capire i rischi e i limiti delle applicazioni dell’IA in finanza

Obiettivo principale

Ispirarvi a sviluppare applicazioni di IA che affrontino sfide reali della finanza climatica

Scansionate per votare

Codice **3214 6094**

«L’azione climatica è fondamentalmente un problema di allocazione del capitale »

D’accordo

Non so

In disaccordo

La finanza climatica costa, ma i costi dell'inazione sono molto più alti

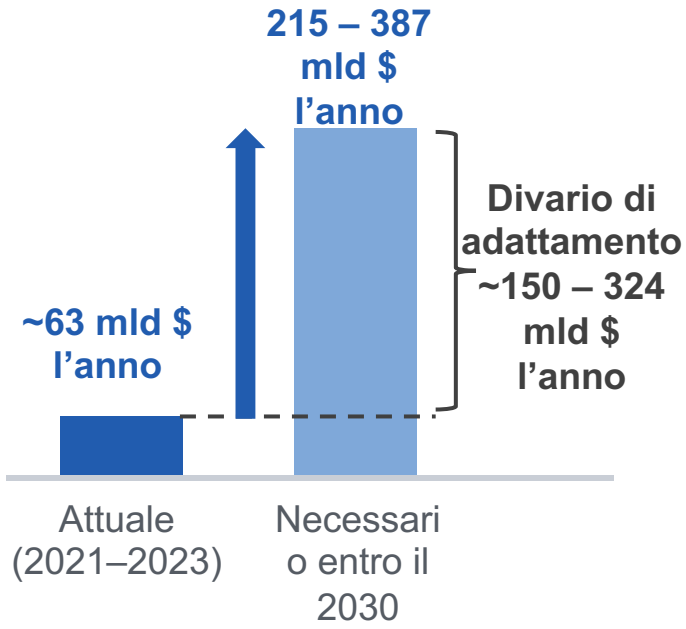
MITIGAZIONE

Finanza globale per la mitigazione



ADATTAMENTO

Finanza globale per l'adattamento



Siamo di fronte a un **divario finanziario di migliaia di miliardi di dollari**

Mitigazione e adattamento richiedono **da 4 a 6 volte più finanziamenti** dei flussi attuali

Tuttavia…

Si stima che gli investimenti necessari siano **5 volte inferiori** ai **danni finanziari dello scenario inerziale**

Fonti: Climate Policy Initiative (2024), Global Landscape of Climate Finance 2024; UNEP (2023), Adaptation Gap Report (2023); IPCC AR6 WGIII (2022), cap. 15.

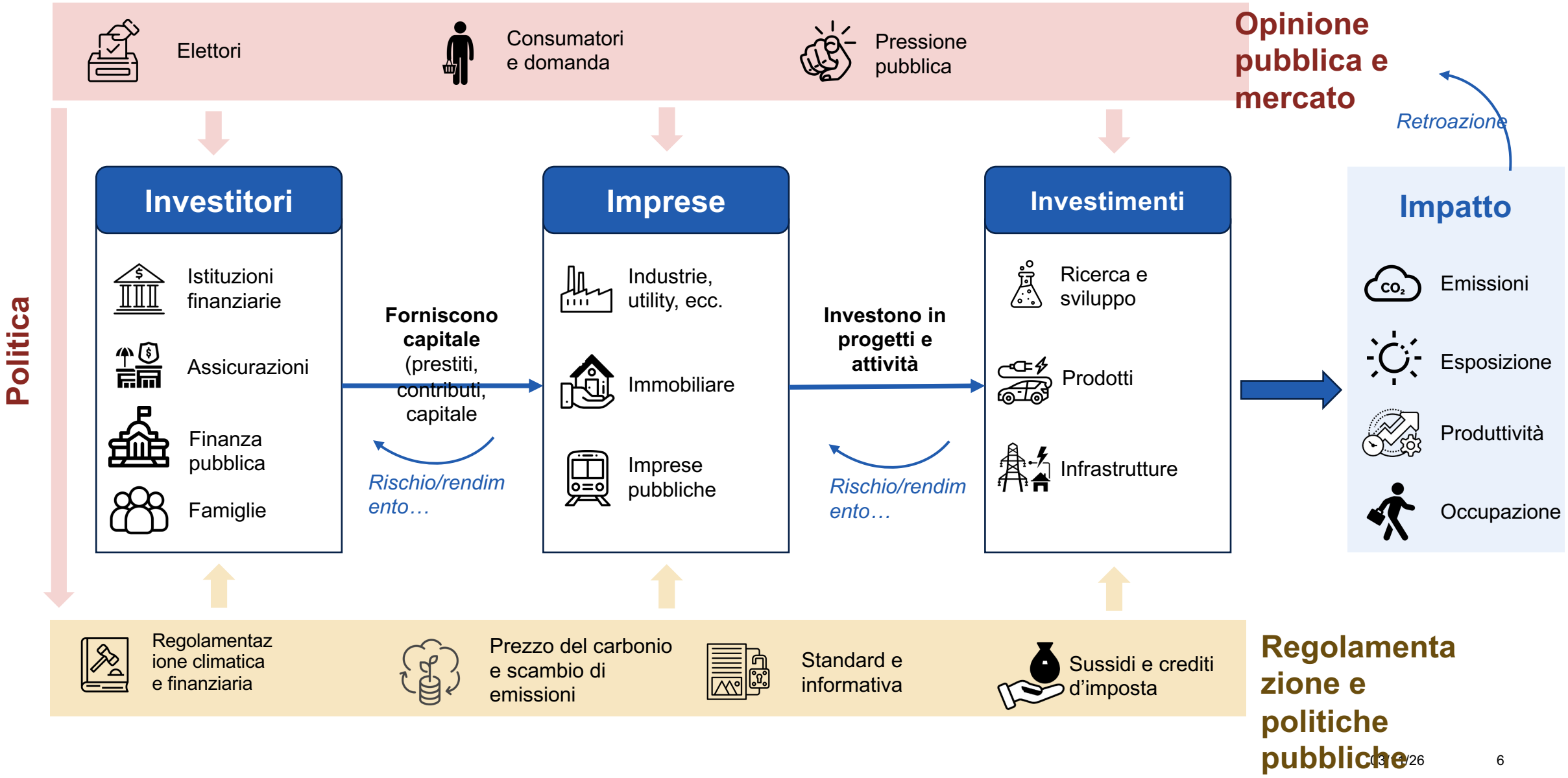
Scansionate per votare

Codice **3214 6094**

Qual è il motore più importante dell'azione climatica?

- Regolamentazione
- Comportamento dei consumatori
- Allocazione finanziaria
- Innovazione

Una visione semplificata: le trasformazioni richiedono investimenti, gli investimenti richiedono incentivi



La finanza climatica richiede informazione e trasparenza, …ed è qui che l'IA può aiutare

Figure 1.4: Data coverage in Global Landscape, 2022

	Private	Public International	Public Domestic	Unknown
MITIGATION				
Energy	279 ↑	30	262	n/a
Transport	257	24	122	n/a
Buildings & Infrastructure	161 ↑	8	86 ↑	n/a
Agriculture, Forestry & Other Land Use	<1	2	4	n/a
Industry	<1	9	5	11 ↑
Waste	13	0.1	8	n/a
Water & Wastewater	<1	2	8	n/a
Others & Cross-sectoral	<1	15	1	<1
ADAPTATION	6 ↑ 48-60	37	33	n/a
DUAL BENEFITS	10 ↑	47	17	n/a

USD billion

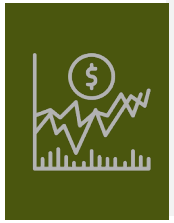
Tracked | Limited tracking | Not tracked | ↑ Complemented with new data sources

Note: In addition to the sectors listed above, the 'Information Communications and Technology' and 'Unknown' sectors made up USD 3.5bn of finance in 2022. The untracked private adaptation values (for consumer and household finance) are estimates from CPI's 'Tracking and Mobilizing Private Sector Climate Adaptation Finance' report

Source: Climate Policy Initiative



Finanza climatica internazionale:
Dove vanno i finanziamenti per mitigazione e adattamento?



Mercati finanziari:
Dove sono i rischi e le opportunità di investimento legati al clima?



Innovazione climatica:
Come può la finanza accelerare efficacemente le soluzioni climatiche?

Casi d’uso dell’IA nella finanza climatica



Estrazione di informazioni

Estrarre informazioni finanziarie rilevanti da fonti di dati non strutturate

Esempi di compiti

- *Estrarre informazioni da report aziendali e informative finanziarie*
- *Individuare le zone colpite da eventi meteo estremi da immagini satellitari*

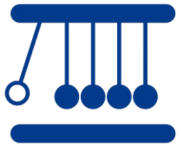


Previsione

Prevedere eventi o grandezze future in condizioni di incertezza

Esempi di compiti

- *Prevedere i rischi finanziari (es. fisici, di mercato, regolatori)*
- *Prevedere i prezzi del carbonio*



Modellazione causale

Stimare gli effetti di decisioni di investimento e interventi

Esempi di compiti

- *Stimare gli effetti di politiche e interventi pubblici sugli investimenti*
- *Valutare l’efficacia delle strategie di adattamento*

In 1–3 parole: il caso d’uso più promettente dell’IA nella finanza climatica?

Prevedere i prezzi del carbonio

Valutare startup

Scansionate per votare

Codice **3214 6094**

Approfondimento

Finanza climatica internazionale:
Dove vanno i finanziamenti per mitigazione e adattamento?

Mercati finanziari:
Dove sono i rischi e le opportunità di investimento legati al clima?

Innovazione climatica:
Come può la finanza accelerare efficacemente le soluzioni climatiche?



Approfondimento

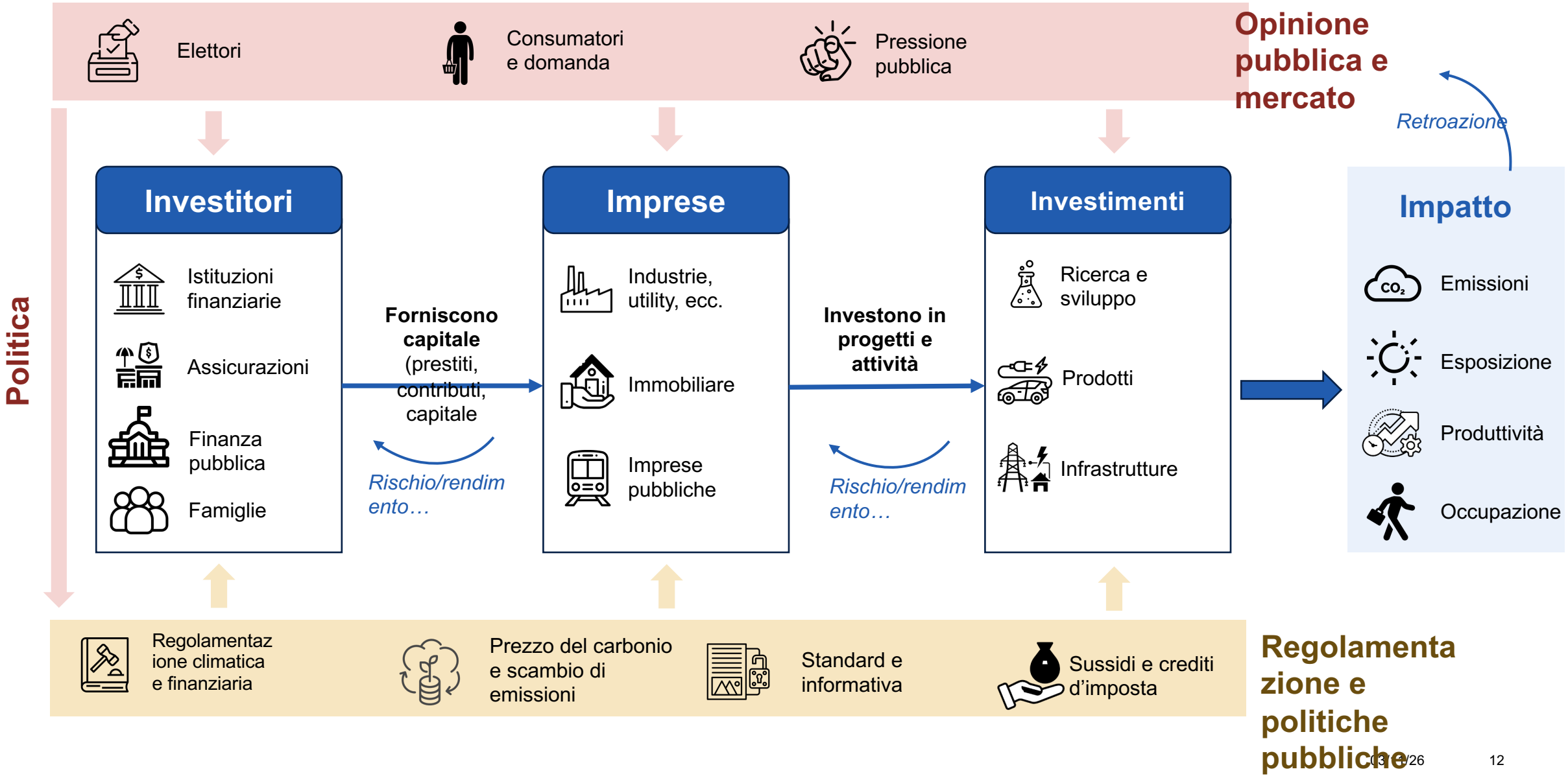
Finanza climatica internazionale:
Dove vanno i finanziamenti per mitigazione e adattamento?

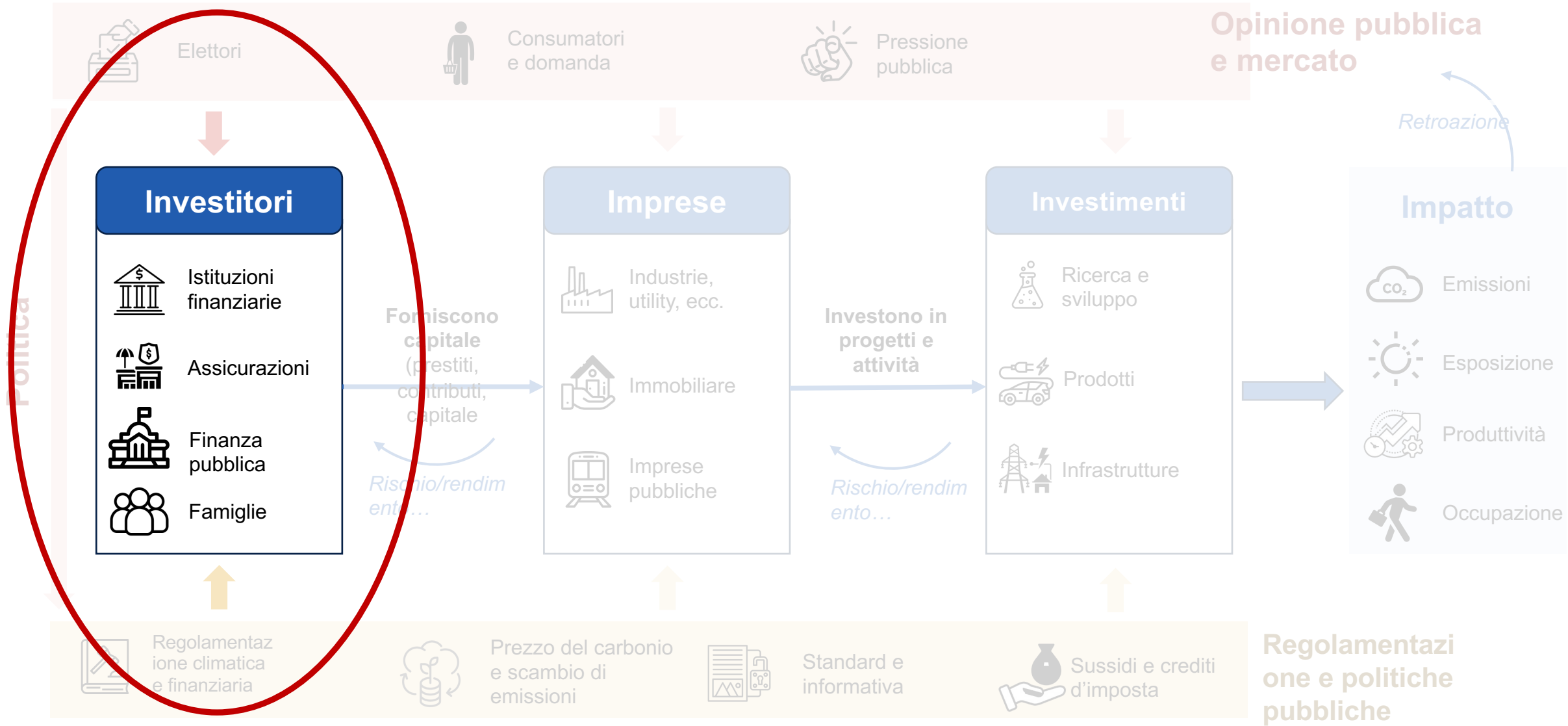
Mercati finanziari:
Dove sono i rischi e le opportunità di investimento legati al clima?

Innovazione climatica:
Come può la finanza accelerare efficacemente le soluzioni climatiche?



Una visione semplificata: le trasformazioni richiedono investimenti, gli investimenti richiedono incentivi

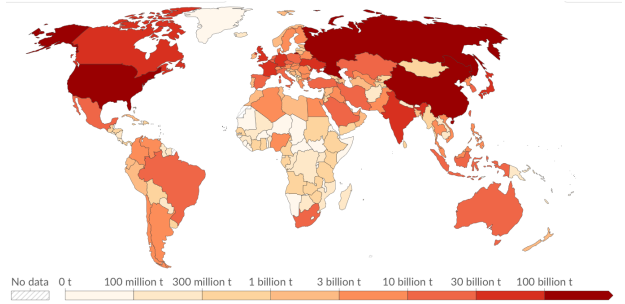



Elettori
Consumatori e domanda
Pressione pubblica
Opinione pubblica e mercato
Retroazione
Investitori
Istituzioni finanziarie
Assicurazioni
Finanza pubblica
Famiglie
Forniscono capitale (prestiti, contributi, capitale
Rischio/rendimento…
Imprese
Industrie, utility, ecc.
Immobiliare
Imprese pubbliche
Investono in progetti e attività
Rischio/rendimento…
Investimenti
Ricerca e sviluppo
Prodotti
Infrastrutture
Impatto
Emissioni
Esposizione
Produttività
Occupazione
Regolamentazione climatica e finanziaria
Prezzo del carbonio e scambio di emissioni
Standard e informativa
Sussidi e crediti d'imposta
Regolamentazione e politiche pubbliche

Perché la finanza climatica internazionale è importante

Responsabilità (storica)

Chi ha immesso la CO2 nell'atmosfera?

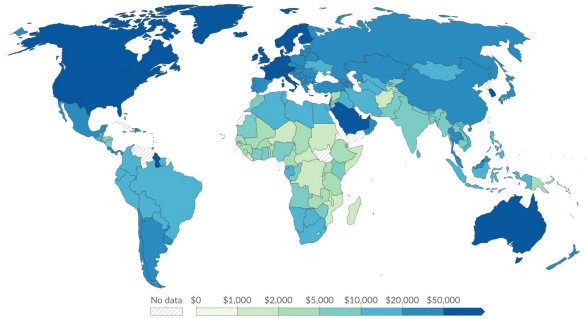


Emissioni storiche cumulate di CO_2 (1750–2024)

https://ourworldindata.org/co2-emissions-metrics

Capacità (di pagare)

Chi può permettersi di pagare l'azione climatica?

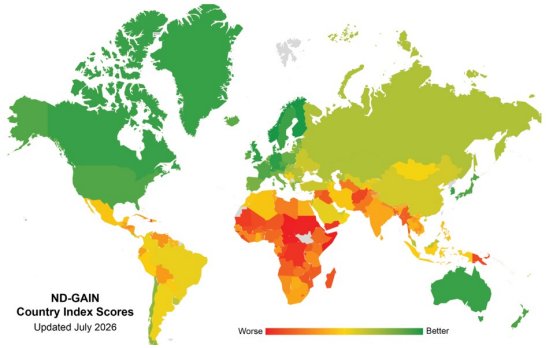


PIL pro capite (2024)

https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank

Vulnerabilità

Chi è più vulnerabile agli impatti climatici?



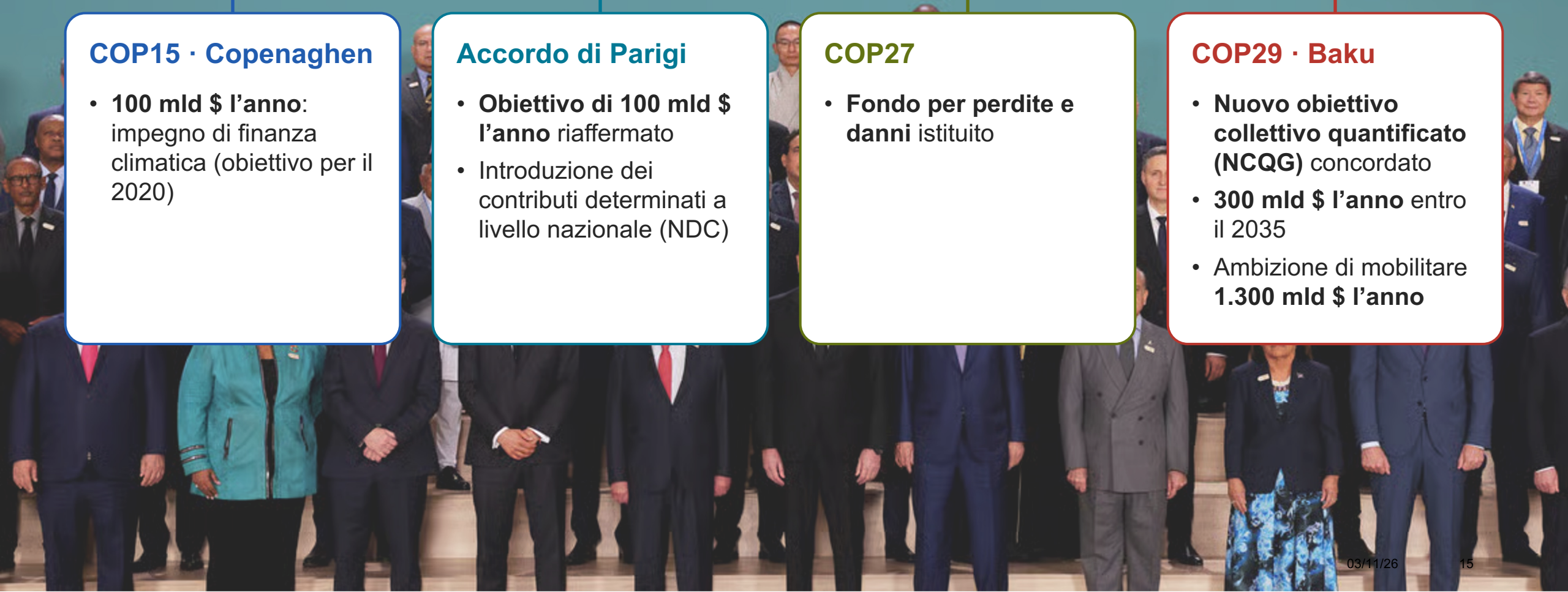
Punteggi dell'indice paese ND-GAIN (2026)

https://gain.nd.edu/our-work/country-index/

La finanza climatica internazionale mira a trasferire **risorse finanziarie** dai paesi con maggiore **responsabilità** e **capacità** per sostenere i paesi con maggiore **vulnerabilità**

United Nations Climate Change

COP29 Baku Azerbaijan



2009

COP15 · Copenaghen

- **100 mld $ l'anno**: impegno di finanza climatica (obiettivo per il 2020)

2015

Accordo di Parigi

- **Obiettivo di 100 mld $ l'anno** riaffermato
- Introduzione dei contributi determinati a livello nazionale (NDC)

2022

COP27

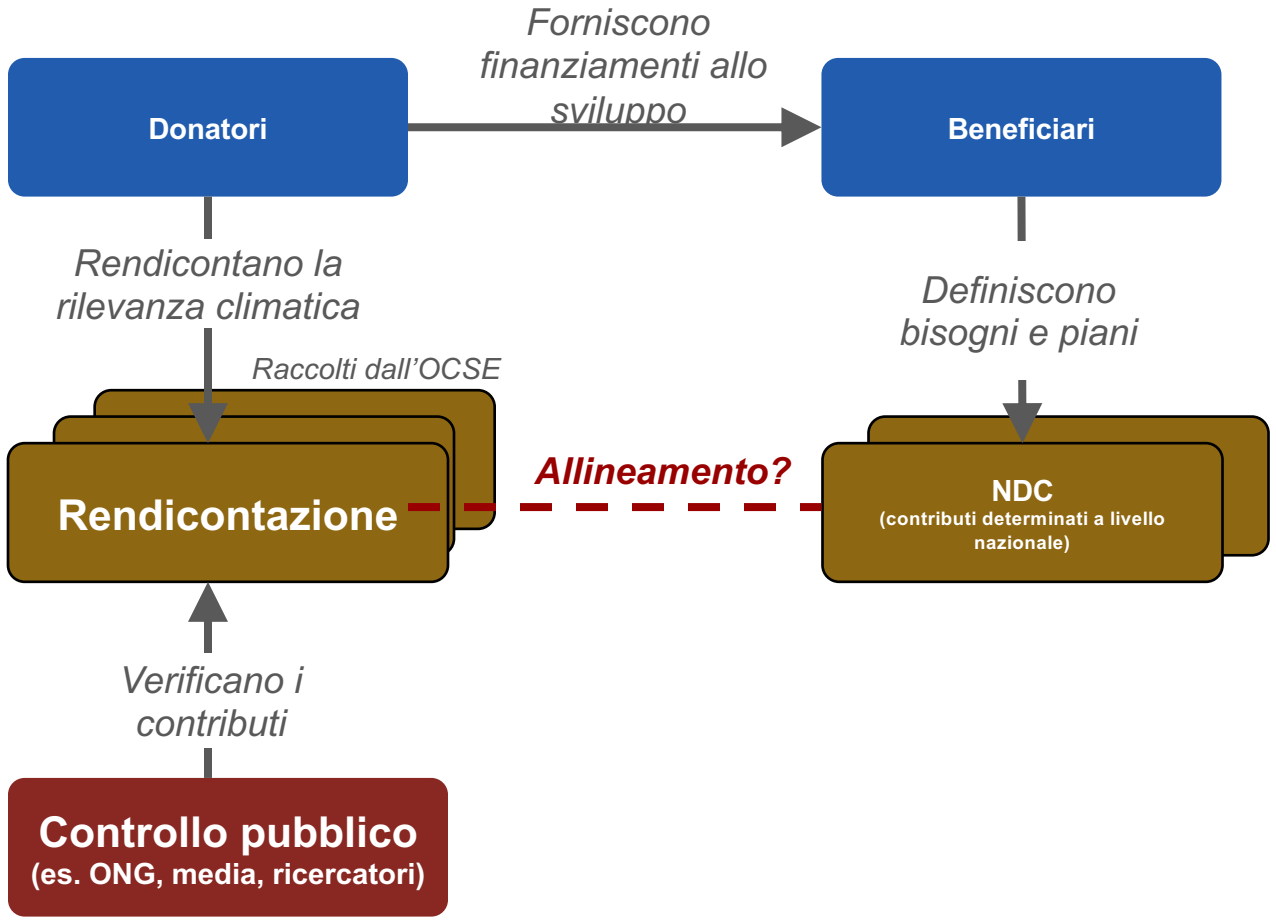
- **Fondo per perdite e danni** istituito

2024

COP29 · Baku

- **Nuovo obiettivo collettivo quantificato (NCQG)** concordato
- **300 mld $ l'anno** entro il 2035
- Ambizione di mobilitare **1.300 mld $ l'anno**

Come vengono monitorati e verificati i progressi della finanza climatica rispetto a bisogni e impegni?



Coerenza

Che cosa conta come finanza climatica?

Rendicontazione individuale dei donatori

Granularità

Quali attività vengono finanziate?

Pochi dettagli su attività e obiettivi

Verifica

I numeri rendicontati sono corretti?

Milioni di report da verificare

Toetzke et al (2022)

La finanza climatica internazionale rendicontata è fortemente contestata

Are reports of climate adaptation finance being exaggerated?

Journalism from the Thomson Reuters Foundation

https://www.context.news/climate-justice/are-reports-of-climate-adaptation-finance-being-exaggerated?

Rich countries overstating "true value" of climate finance by up to $88 billion, says Oxfam

OXFAM

https://www.oxfam.org.uk/media/press-releases/rich-countries-overstating-true-value-of-climate-finance-by-up-to-88-billion-says-oxfam

But tracking what really counts under the banner of climate finance has long been fraught - with some experts dubbing it a "wild west" of vague definitions, questionable projects and inflated accounting.

The Guardian

https://www.theguardian.com/global-development/2025/nov/14/what-exactly-is-climate-finance-who-pays-it-and-who-gets-it?

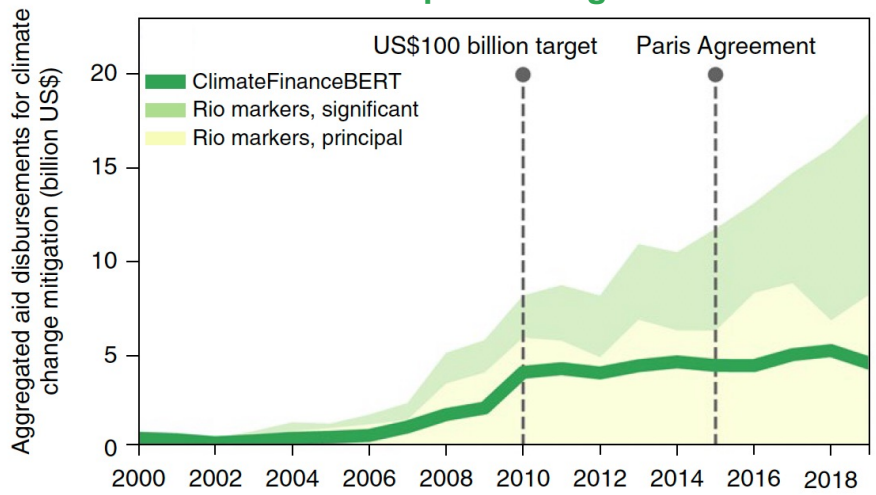
Abbiamo addestrato un modello supervisionato per classificare in modo indipendente la rilevanza climatica dei progetti di finanza per lo sviluppo



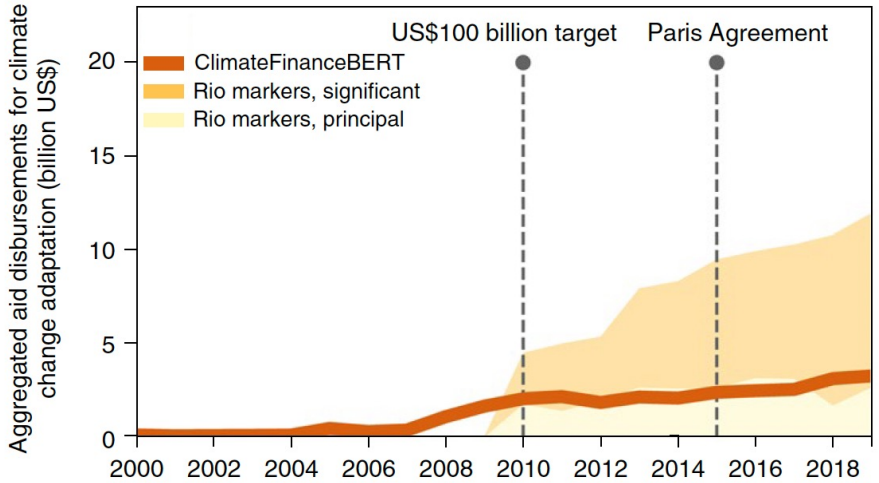
Toetzke et al (2022)

I nostri risultati hanno mostrato scostamenti sostanziali rispetto ai numeri rendicontati

Finanza per la mitigazione



Finanza per l'adattamento



Toetzke et al (2022)

Molto inferiore a quanto rendicontato

La finanza climatica bilaterale è **del 21% inferiore** ai marker di Rio «principali» e **del 64% inferiore** ai «principali + significativi».

La rendicontazione è incoerente

Evidenze sia di **sovra-** sia di **sotto-rendicontazione**, variabili **tra** donatori ma anche **all'interno dei donatori**

L'impegno da 100 mld $ è in discussione

Volumi più bassi evidenziano la vera sfida: definire in modo coerente che cosa conta davvero come finanza climatica (prima di impegnarsi su cifre)

Contributo, limiti e lavori futuri

Contributo principale

- **Strumento di verifica:** una rivalutazione indipendente e replicabile della finanza climatica rendicontata
- **Base coerente:** classificazione coerente di 2,7 milioni di progetti APS rendicontati da diversi donatori (2000–2019)

Limiti

- **Sensibile alle parole chiave:** il modello BERT è sensibile alle parole chiave della descrizione del progetto
- **Contesto limitato:** il modello omette contesto rilevante (es. vulnerabilità del paese per l'adattamento)
- **Visione unidimensionale:** la classificazione si concentra sui temi, non su attuazione e strumenti (es. regolamentazione vs istruzione vs progetti)

Lavori futuri

- **Integrare il contesto:** includere la vulnerabilità del paese nella valutazione della finanza per l'adattamento
- **Andare oltre i temi:** classificare gli strumenti usati (costruzione di infrastrutture, rafforzamento delle capacità, ecc.)
- **Collegare ad altre fonti:** confrontare la finanza climatica erogata con i bisogni dei beneficiari indicati negli NDC

In 1–3 parole: quali altre idee avete per l’IA nella finanza climatica internazionale?

Scansionate per votare

Codice **3214 6094**

XXX

XXX

Pausa di 5 minuti

Approfondimento

Finanza climatica internazionale:
Dove vanno i finanziamenti per mitigazione e adattamento?

Mercati finanziari:
Dove sono i rischi e le opportunità di investimento legati al clima?

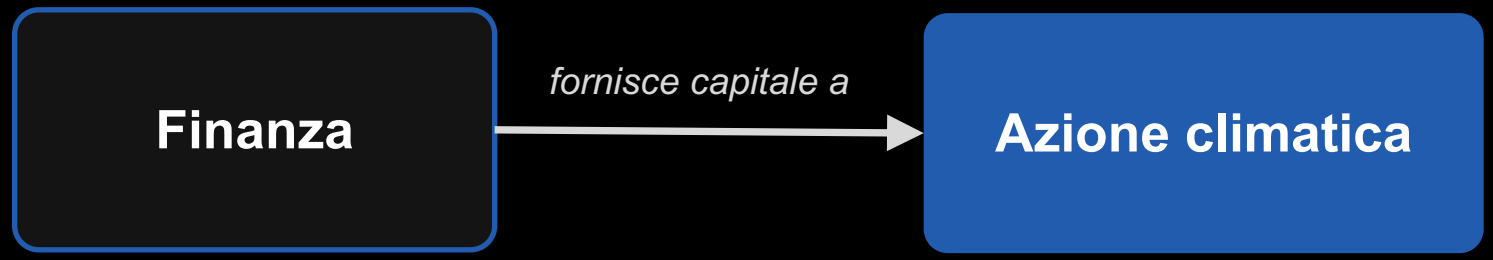
Innovazione climatica:
Come può la finanza accelerare efficacemente le soluzioni climatiche?



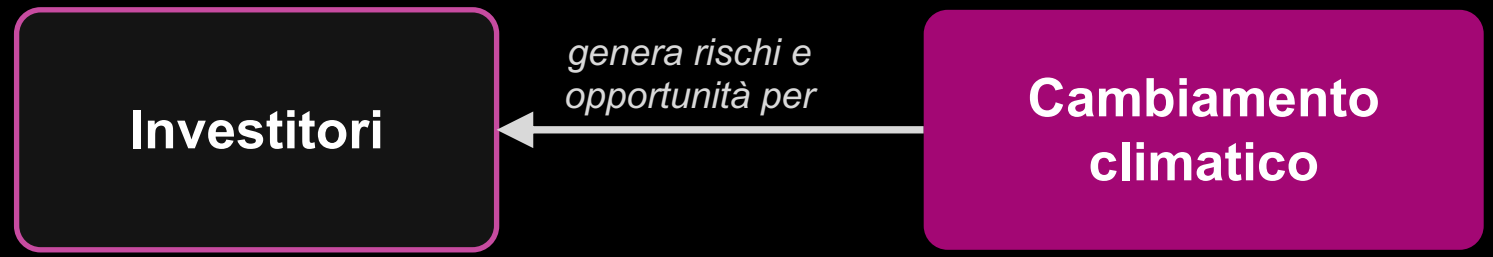
Cambiamo prospettiva

Da come la finanza plasma l'azione climatica a come il cambiamento climatico incide sugli investimenti

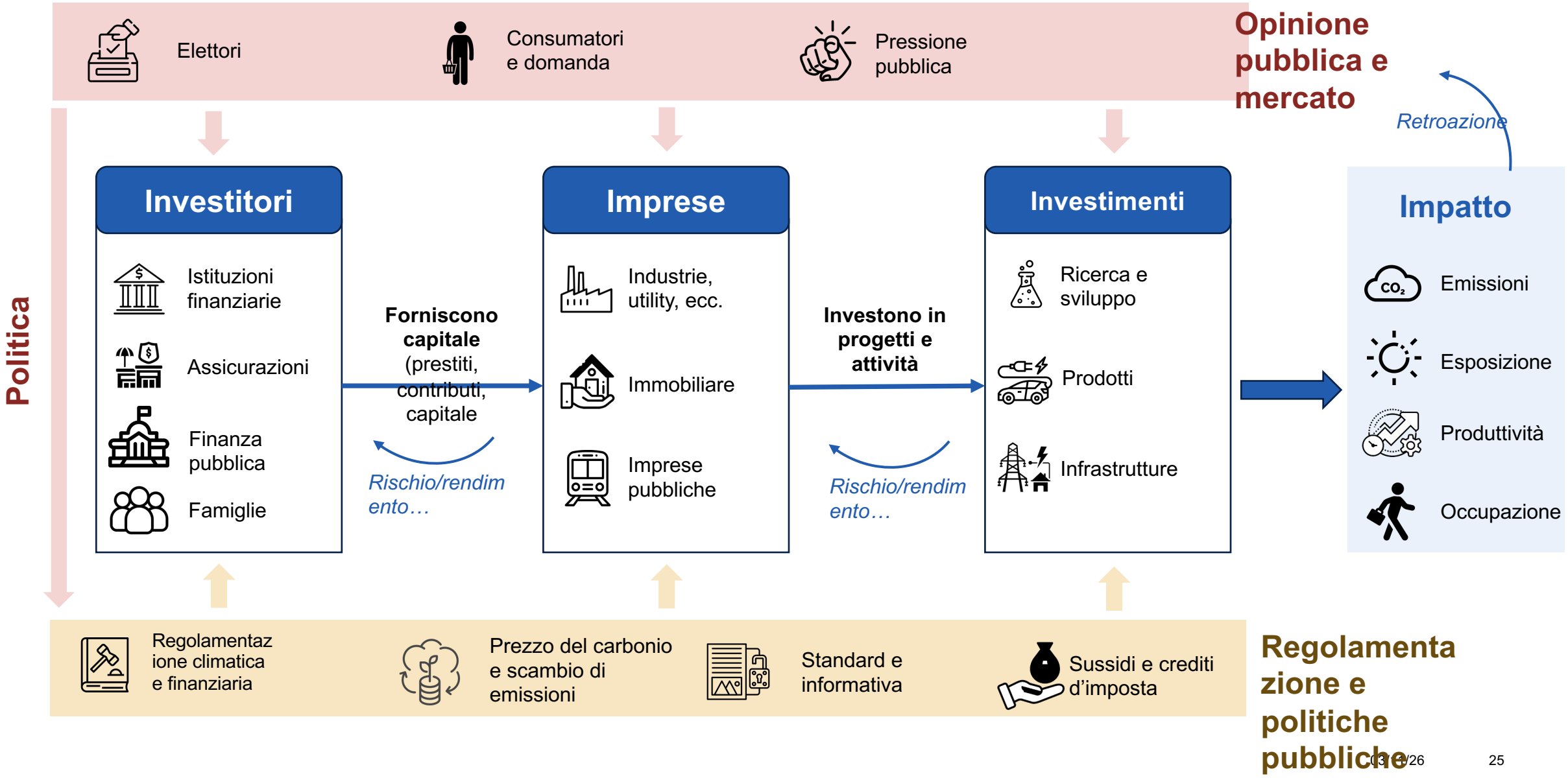
1 - La lente della finanza
Come la finanza sostiene l'azione climatica

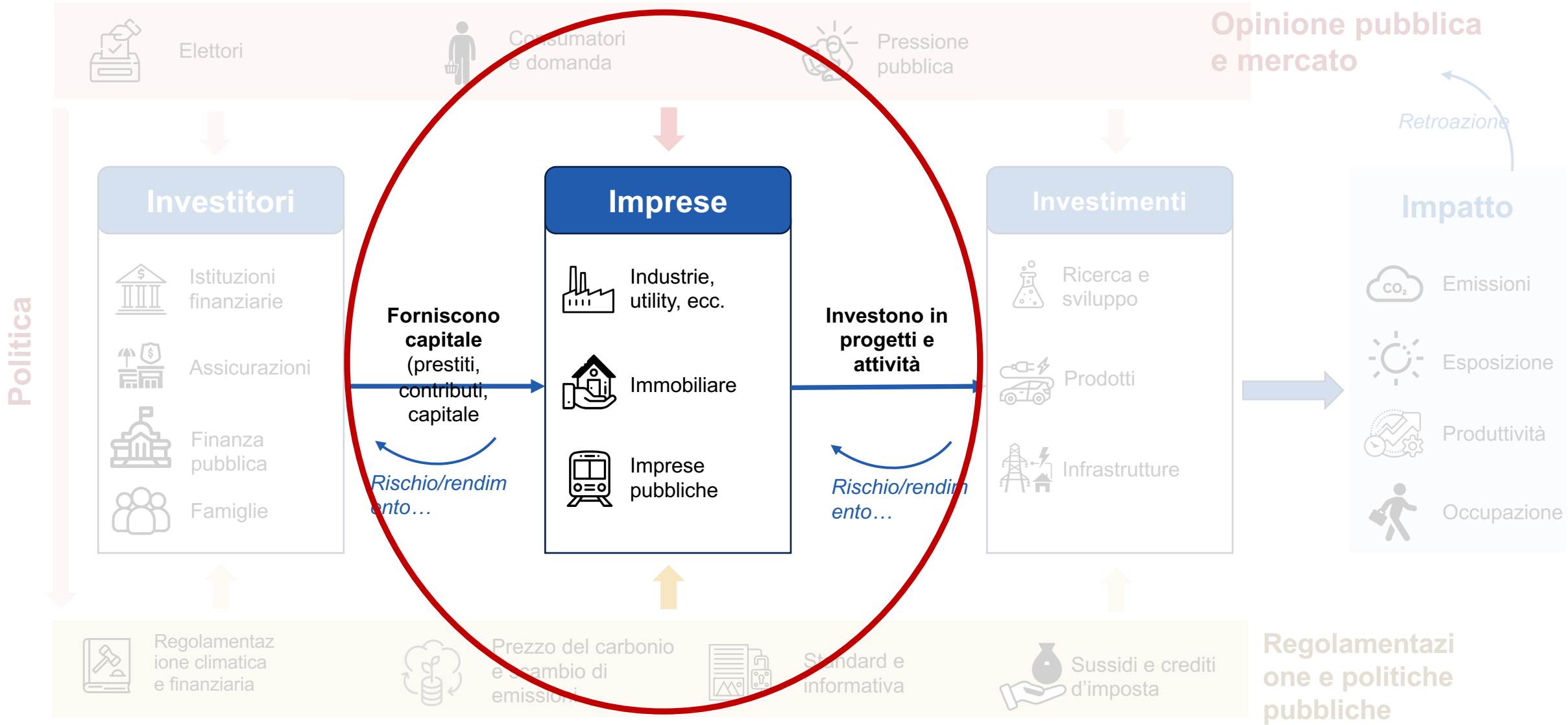


2 - La lente dell'investitore
Come l'azione climatica crea rischi e opportunità



Una visione semplificata: le trasformazioni richiedono investimenti, gli investimenti richiedono incentivi

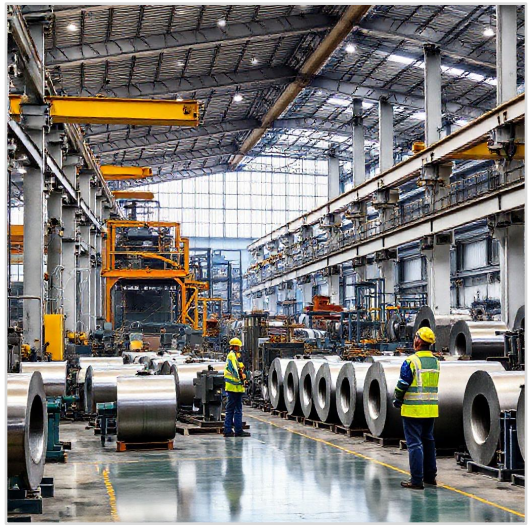



Elettori
Consumatori e domanda
Pressione pubblica
Opinione pubblica e mercato
Retroazione
Politica
Investitori
Istituzioni finanziarie
Assicurazioni
Finanza pubblica
Famiglie
Forniscono capitale (prestiti, contributi, capitale
Rischio/rendimento…
Imprese
Industrie, utility, ecc.
Immobiliare
Imprese pubbliche
Investono in progetti e attività
Rischio/rendimento…
Investimenti
Ricerca e sviluppo
Prodotti
Infrastrutture
Impatto
Emissioni
Esposizione
Produttività
Occupazione
Regolamentazione climatica e finanziaria
Prezzo del carbonio e scambio di emissioni
Standard e informativa
Sussidi e crediti d'imposta
Regolamentazione e politiche pubbliche

Rischi finanziari legati al clima

Rischi di transizione

Come inciderà la transizione climatica sui miei investimenti?



- Rischi tecnologici
- Rischi politici
- Rischi di mercato

Fonte dell'immagine: pt-alexindo.com

Rischi fisici

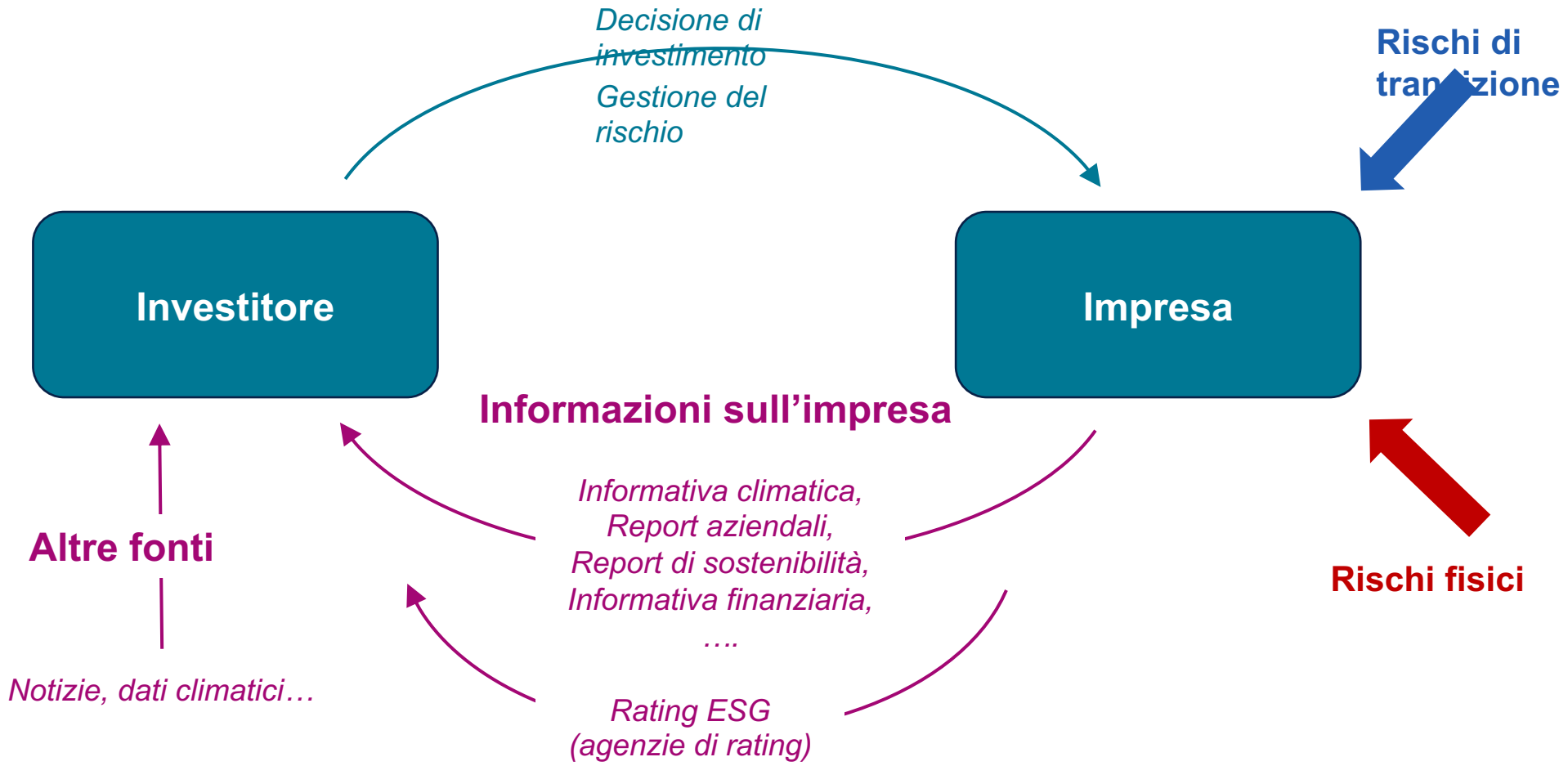
Come incideranno gli impatti del cambiamento climatico sui miei investimenti?



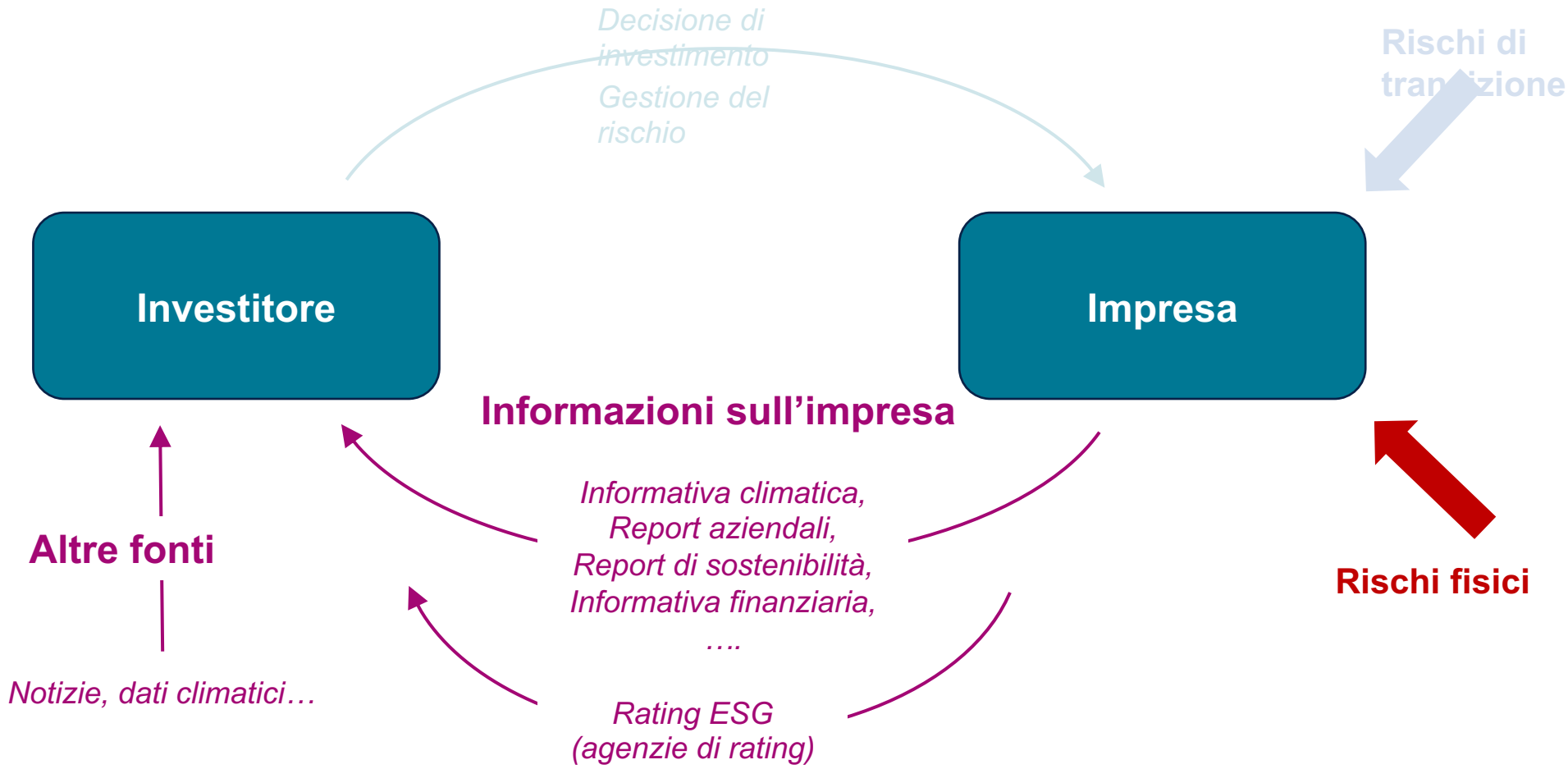
- Eventi meteo estremi
- Cambiamento climatico cronico

Fonte dell'immagine: environmentamerica.org

Tassonomia del quadro TCFD (2017)



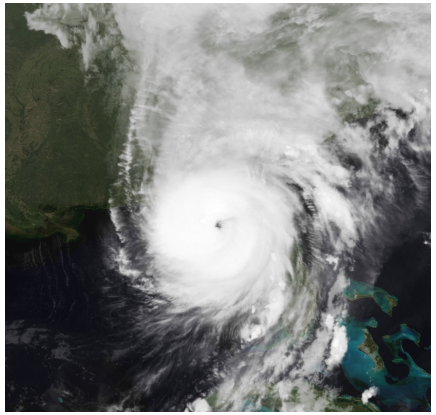
Il crescente **volume** e la **complessità** delle informazioni climatiche offrono all'**IA** l'opportunità di trasformarle in evidenze utili alle decisioni



Il crescente **volume** e la **complessità** delle informazioni climatiche offrono all'**IA** l'opportunità di trasformarle in evidenze utili alle decisioni

A causa del cambiamento climatico, gli eventi meteo estremi **aumentano in frequenza** e in **intensità**

Uragano Helene (2024)



79 mld $ di danni fisici

Incendi della California settentrionale (2017)



30 mld $ di danni fisici

Gli impatti finanziari sulle imprese degli eventi estremi hanno attirato grande attenzione da parte di investitori, assicuratori e decisori (Krueger et al, 2020; Stroebel e Wurgler, 2021)

In che misura le imprese **sono colpite** da eventi meteo estremi?

E gli impatti finanziari **oltre il danno fisico** (es. interruzioni della catena di fornitura, shock di domanda)?

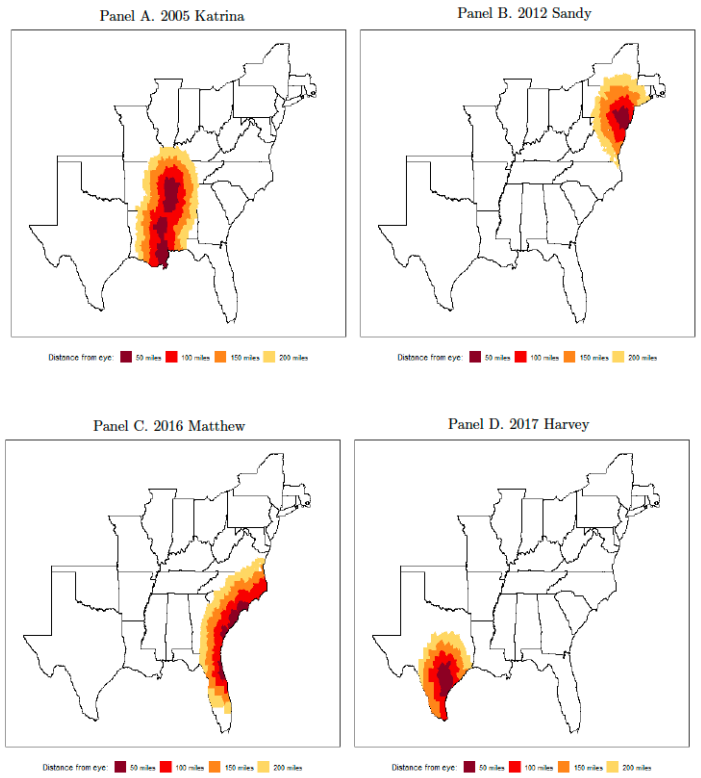
Come **reagiscono i mercati finanziari** agli impatti sulle imprese?

https%3A%2F%2Fde.wikipedia.org%2Fwiki%2FHurrikan_Helene&ved=0CBYQjRxqFwoTCKDS-qDsxZUDFQAAAAAdAAAAABBq&opi=89978449

https%3A%2F%2Fwww.theguardian.com%2Fus-news%2F2020%2Fjul%2F21%2Fcalifornia-wildfires-gold-hog-mineral-susanville&ved=0CBYQjRxqFwoTCKCij8nsxZUDFQAAAAAdAAAAABBq&opi=89978449

Per stimare gli impatti finanziari degli eventi estremi sulle imprese, bisogna prima sapere se sono state colpite

Approcci geospaziali



Kruttli et al. (2024)

Indicano se le imprese sono state colpite (o no) sovrapponendo la localizzazione dei loro asset alle «zone di impatto» degli eventi estremi (Kruttli et al., 2024; Addoum et al., 2020, 2023)

- **Approssimazione molto semplificata** del fatto che le imprese siano state colpite
- **Trascurano gli effetti indiretti** attraverso catene di fornitura e shock di domanda (Barrot e Sauvagnat, 2016; Pankratz e Schiller, 2024)
- **Escludono asset mobili/diffusi** come flotte di trasporto, reti elettriche o ferroviarie
- **Non applicabili a molti tipi di eventi** (es. tempeste invernali, ondate di calore)

Idea: analizzare le comunicazioni delle imprese su eventi rilevanti

Che cosa sono le comunicazioni di eventi rilevanti?

Le imprese quotate nelle borse USA devono presentare un modulo 8-K alla SEC per comunicare eventi rilevanti che possono interessare gli investitori.

Esempi:

- Grandi contenziosi
- Chiusure di stabilimenti
- Interruzioni della catena di fornitura
- Danni da uragani, alluvioni, incendi
- Fusioni e acquisizioni

MODULO 8-K

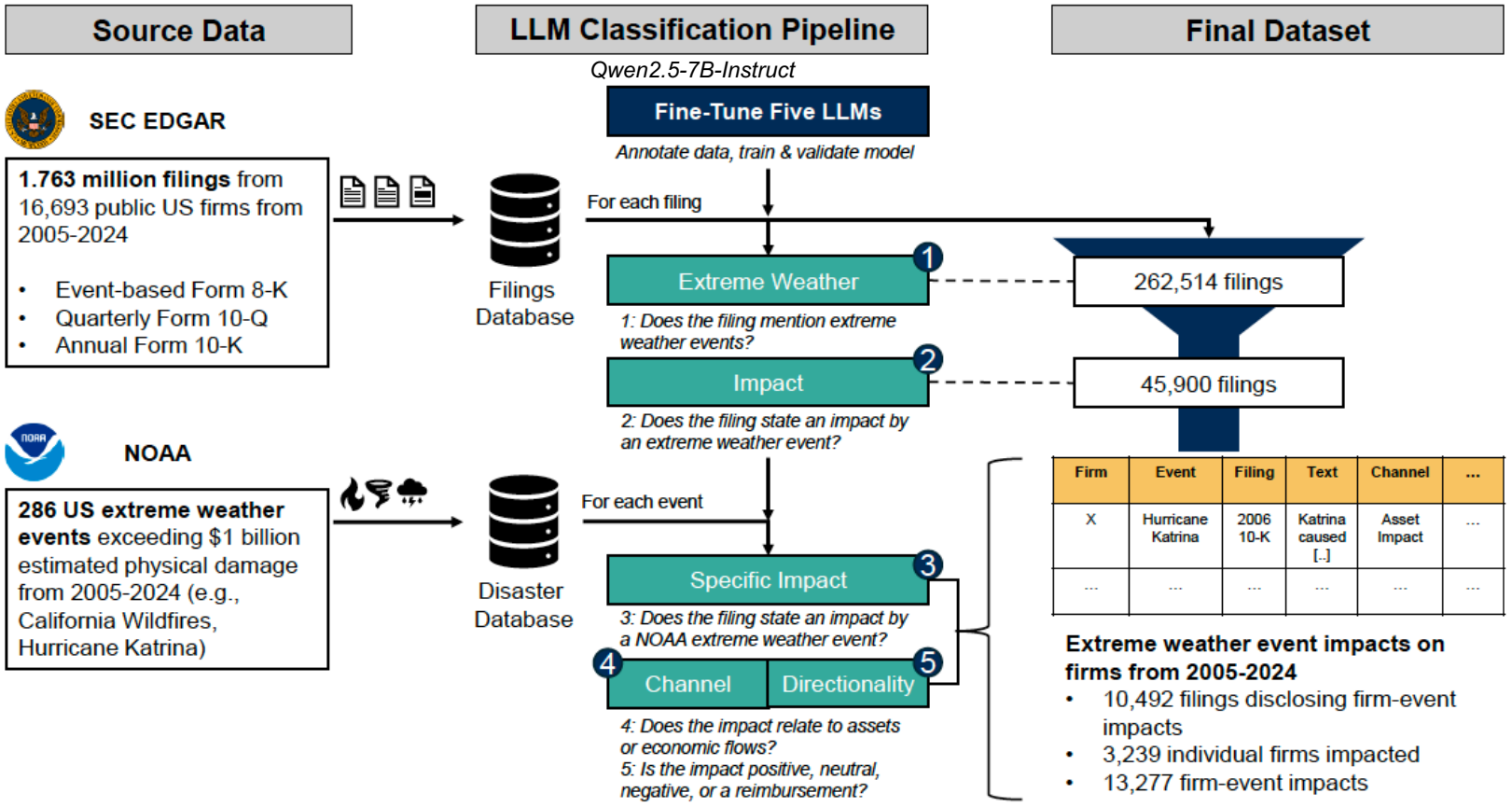
Northwind Turbines Corp.

Voce 8.01 Altri eventi

Il 27 sett. 2024 l'uragano Helene ha danneggiato la raffineria della società sulla costa del Golfo, interrompendo temporaneamente le attività.

Migliaia di imprese presentano decine di migliaia di documenti ogni anno: l'analisi manuale è impossibile

Abbiamo analizzato con LLM le informative finanziarie pubbliche per individuare gli impatti degli eventi estremi sulle imprese

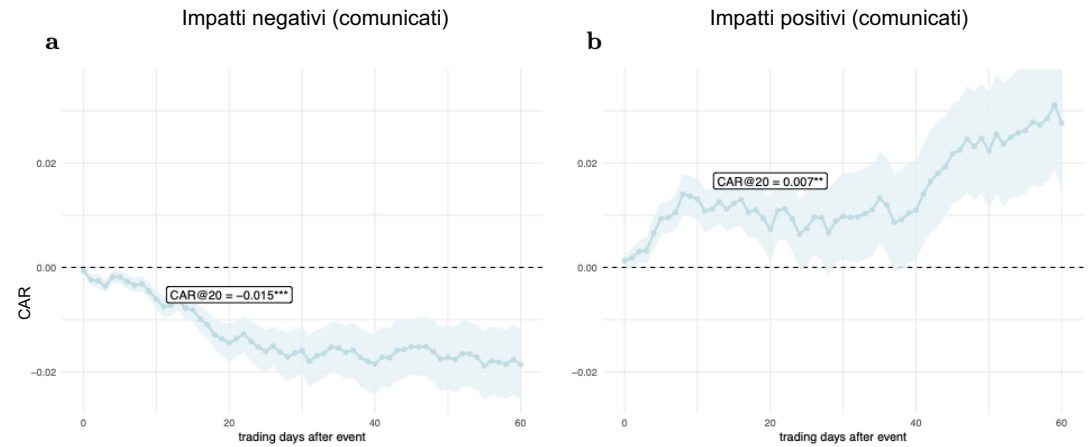


Schimanski et al. (2025)

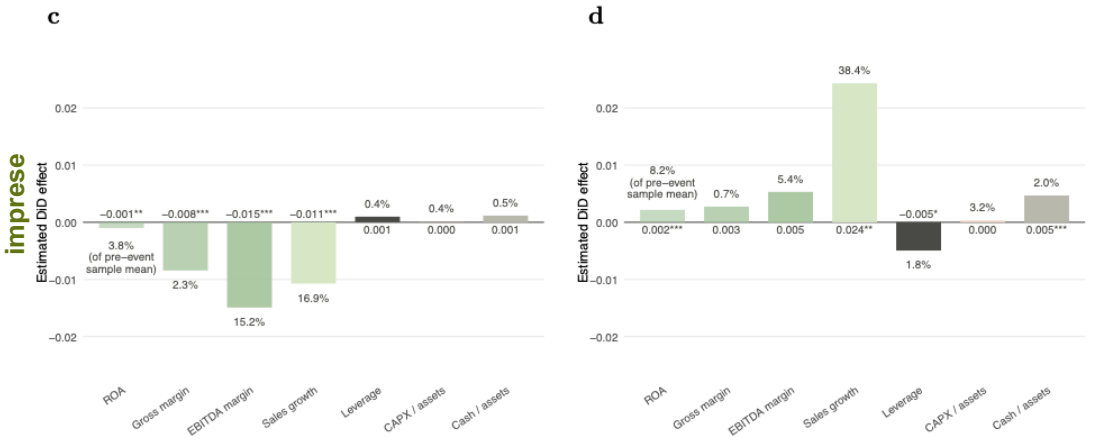
Per le imprese colpite, stimiamo gli effetti sui rendimenti di borsa e su altri dati finanziari

Positivi vs negativi

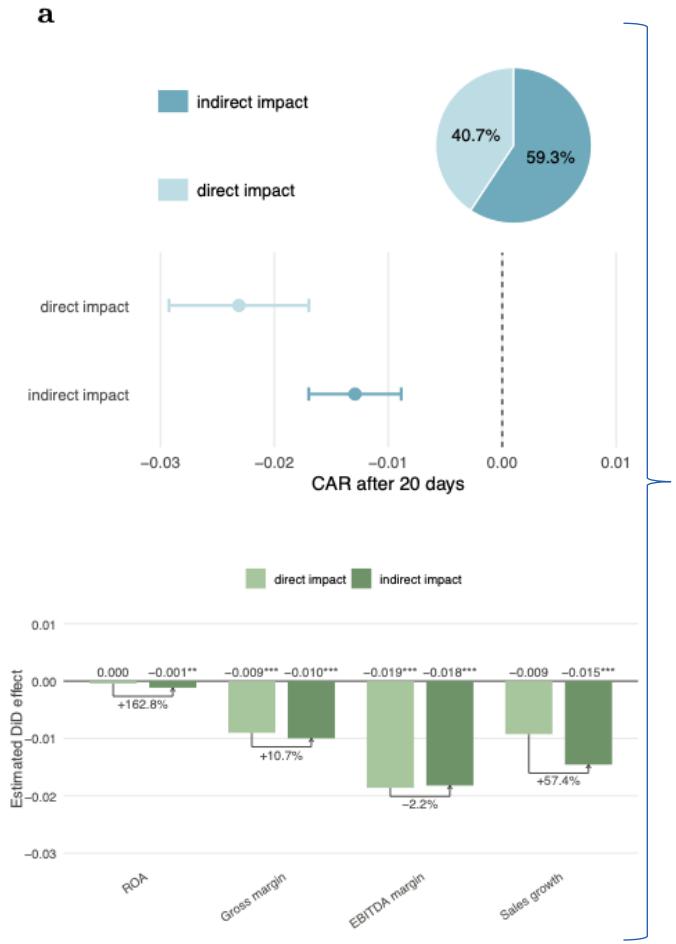
Rendimenti di borsa



Dati finanziari delle imprese



Diretti vs indiretti



I mercati finanziari sembrano **sottovalutare sistematicamente gli impatti indiretti** degli eventi estremi

Schimanski et al. (2025)

Contributo, limiti e ricerca futura

Contributo

- **Strumento di identificazione:** prima identificazione scalabile, a livello di impresa ed ex post, degli impatti reali degli eventi estremi a partire dai documenti
- **Canali diversi:** coglie impatti diretti e indiretti, negativi e positivi, che i metodi geospaziali non vedono

Limiti

- **Fonte informativa:** si basa sulla comunicazione degli impatti alla SEC (anche se le imprese ne rispondono, gli impatti indiretti possono essere sottostimati)
- **Ambito:** limitato alle imprese quotate USA
- **Adattamento:** non include il livello di preparazione delle imprese

Ricerca futura

- **Granularità:** estrarre informazioni sugli asset colpiti e sulle fasi della catena di fornitura
- **Adattamento:** includere informazioni sulle misure di adattamento (es. dai report) per capire se le imprese che investono nell'adattamento (1) sono colpite meno spesso e (2) sostengono costi finanziari minori

Altri casi d'uso dell'IA per analizzare i rischi finanziari legati al clima

Rischi di transizione

Come inciderà la transizione climatica sui miei investimenti?

Le imprese possono fare la transizione?

Es. analizzare i piani di transizione

(Colesanti Senni et al. (2025), Transition Pathway Initiative)

La transizione è credibile?

Es. individuare il greenwashing nei report e nella comunicazione pubblica

(Bingler et al. (2022))

Chi è all'avanguardia nella transizione?

Es. analizzare i brevetti verdi delle imprese e la loro coerenza con il core business

(Cohen et al. (2025), OECD Env-Tech patent classification)

Rischi fisici

Come incideranno gli impatti del cambiamento climatico sui miei ~~investimenti~~?

Quali imprese sono esposte?

Es. confrontare gli asset delle imprese con le previsioni di eventi estremi

(Oxford Spatial Finance Initiative)

Le imprese sono consapevoli dei rischi rilevanti?

Es. confrontare i report sull'adattamento con l'esposizione delle imprese

(Sautner et al. (2023), Pankratz et al. (2023))

Quanto sono preparate le imprese?

Es. analizzare le strategie di adattamento delle imprese e la loro efficacia

Approfondimento

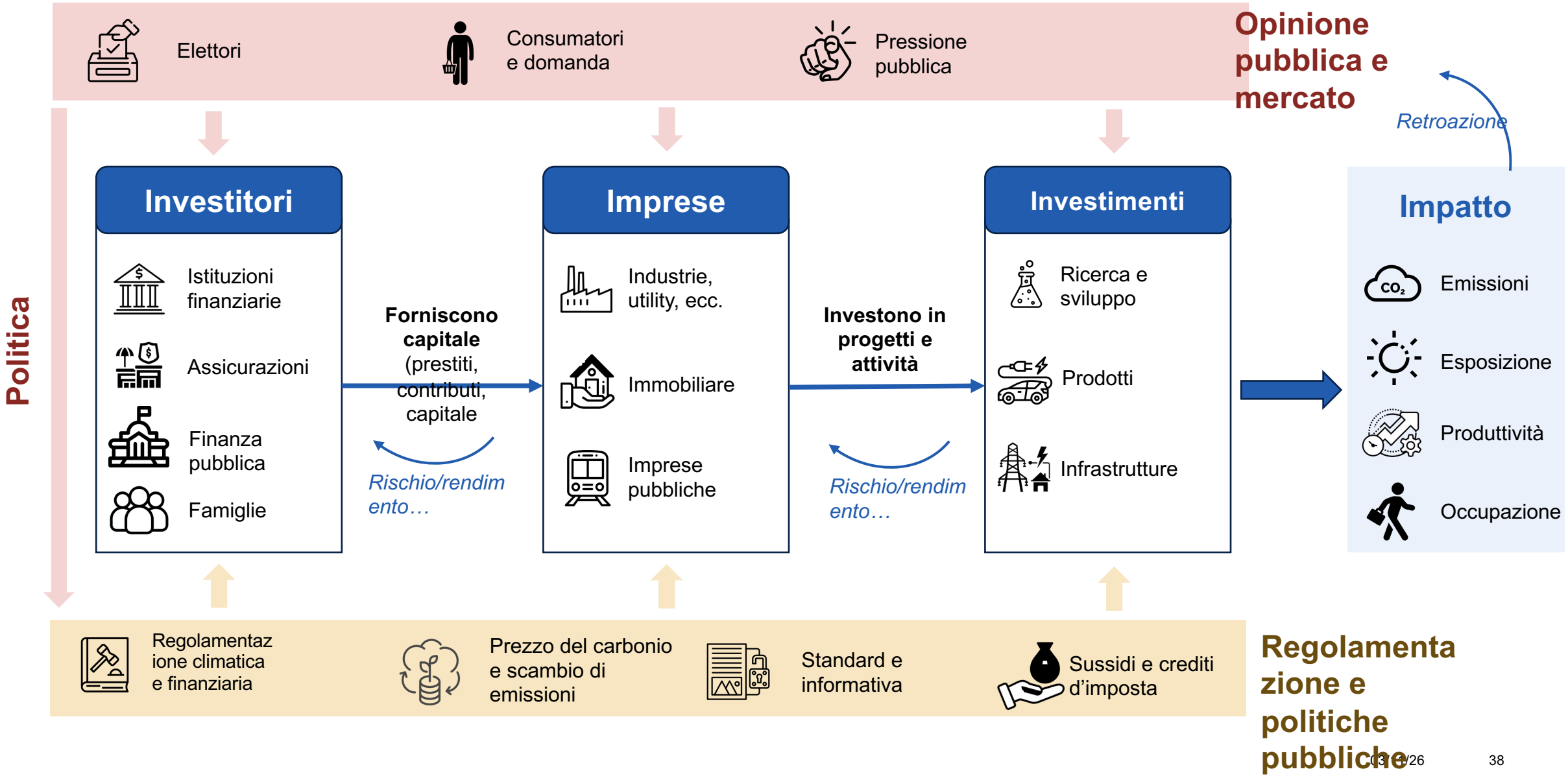
Finanza climatica internazionale:
Dove vanno i finanziamenti per mitigazione e adattamento?

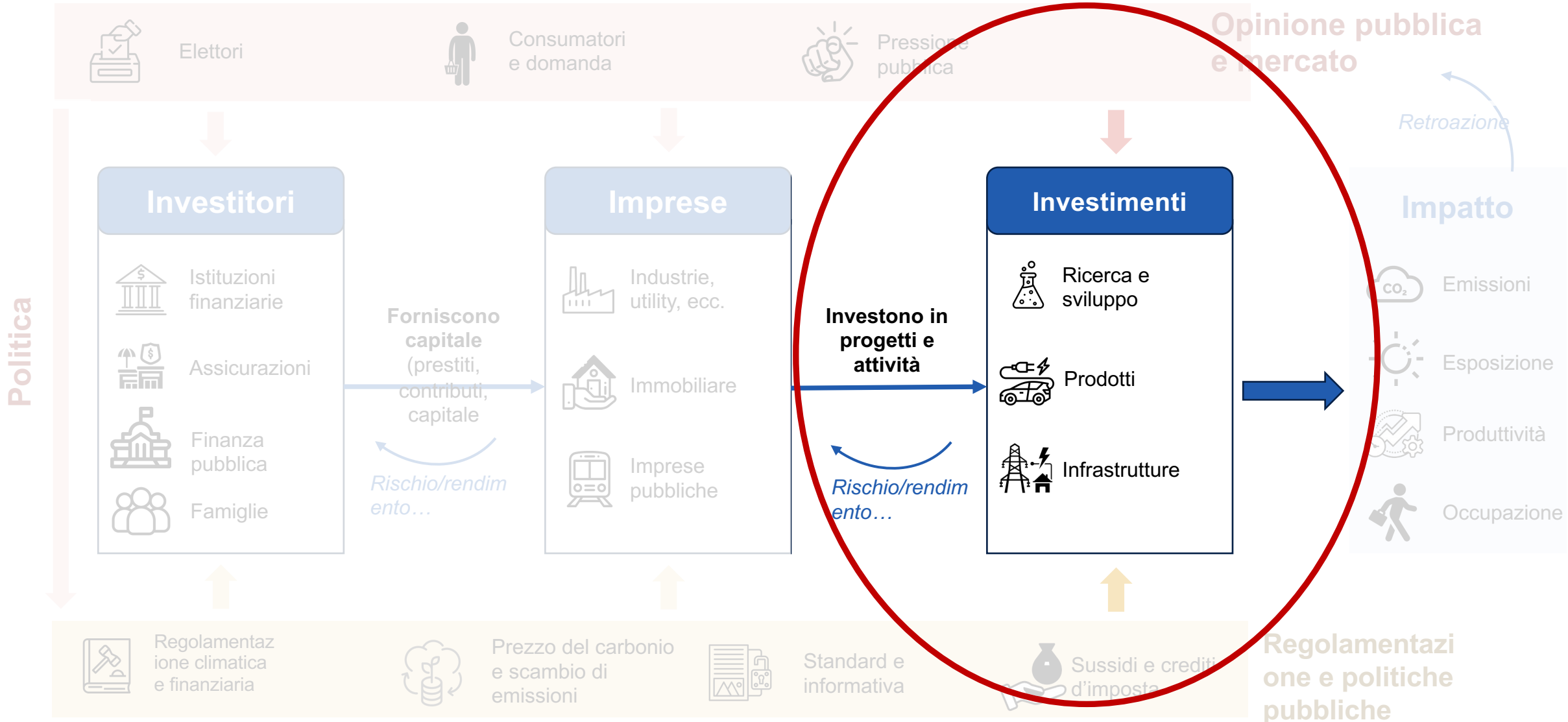
Mercati finanziari:
Dove sono i rischi e le opportunità di investimento legati al clima?

Innovazione climatica:
Come può la finanza accelerare efficacemente le soluzioni climatiche?



Una visione semplificata: le trasformazioni richiedono investimenti, gli investimenti richiedono incentivi




Elettori
Consumatori e domanda
Pressione pubblica
Opinione pubblica e mercato
Retroazione
Politica
Investitori
Istituzioni finanziarie
Assicurazioni
Finanza pubblica
Famiglie
Forniscono capitale (prestiti, contributi, capitale
Rischio/rendimento…
Imprese
Industrie, utility, ecc.
Immobiliare
Imprese pubbliche
Investono in progetti e attività
Rischio/rendimento…
Investimenti
Ricerca e sviluppo
Prodotti
Infrastrutture
Impatto
Emissioni
Esposizione
Produttività
Occupazione
Regolamentazione climatica e finanziaria
Prezzo del carbonio e scambio di emissioni
Standard e informativa
Sussidi e crediti d'imposta
Regolamentazione e politiche pubbliche

La finanza è fondamentale per accelerare l'innovazione delle tecnologie climatiche, dal laboratorio alla diffusione su larga scala



Transizione climatica





Ricerca e sviluppo



Dimostrazione e pilota



Commercializzazione



Primi utilizzatori



Diffusione

La finanza è fondamentale per accelerare l'innovazione delle tecnologie climatiche, dal laboratorio alla diffusione su larga scala



Transizione climatica



Ricerca e sviluppo → Dimostrazione e pilota → Commercializzazione → Primi utilizzatori → Diffusione

«Uscire dal laboratorio» (contributi)

«Arrivare sul mercato» (venture capital in fase iniziale)

«Scalare una nicchia» (venture capital in fase avanzata)

«Scalare su più mercati» (finanziamento a debito)

Sono (tipi di) investitori diversi!

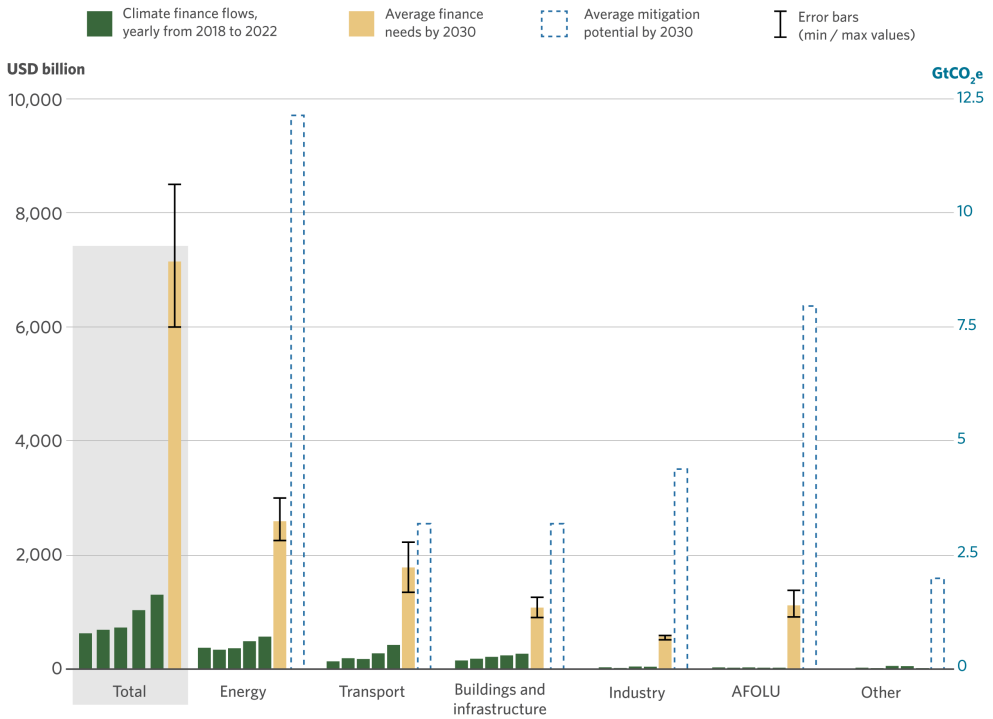
Tuttavia, diverse barriere scoraggiano gli investitori dal finanziare le tecnologie climatiche

Elevato fabbisogno di capitale iniziale per scalare
I primi impianti commerciali e stabilimenti richiedono miliardi di dollari prima di generare ricavi

Elevata incertezza tecnologica
Molte tecnologie emergenti non sono ancora competitive nei costi, e curve di costo e traiettorie tecnologiche future restano incerte.

Orizzonti di investimento lunghi
Gli investimenti in infrastrutture e deep tech hanno vita lunga e tempi di ritorno lenti, poco attraenti per molti investitori di capitale di rischio

Rischio politico e regolatorio
Prezzi futuri del carbonio, sussidi e regole sono incerti, rendendo difficile prevedere domanda e flussi di cassa

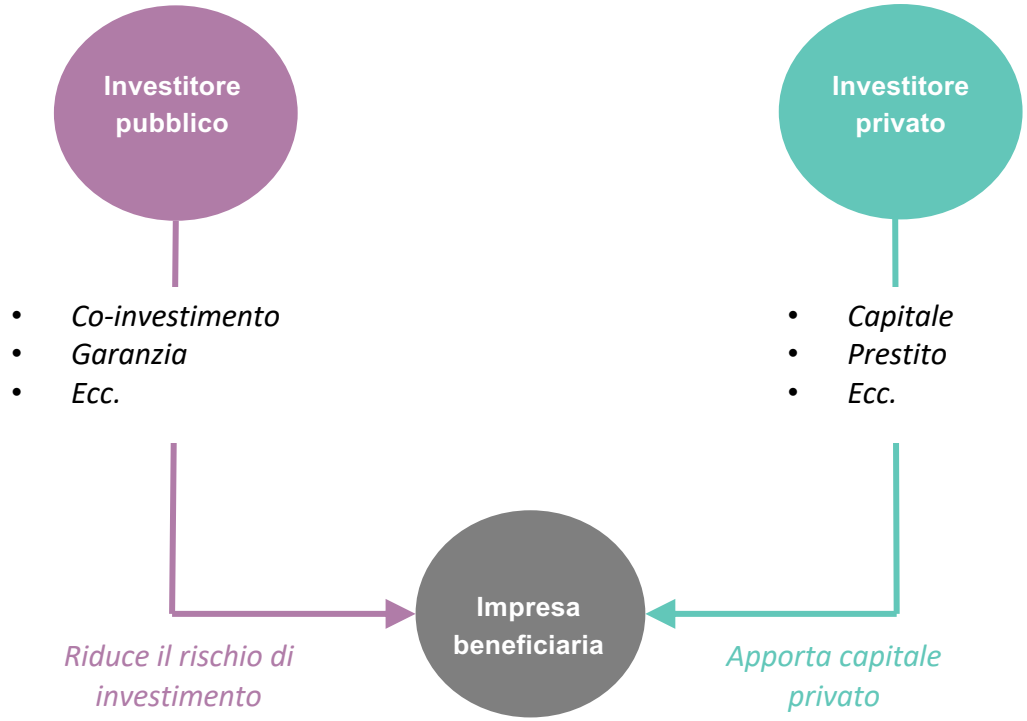


Note: Historical finance flows (2018-2022) are expressed in nominal USD. Climate finance needs for 2023-2030 are expressed in constant 2022 USD. Average mitigation potential is sourced from UNEP (2024). Emissions Gap Report. This applies to similar analyses hereafter.

Source: Climate Policy Initiative

Come possono le politiche pubbliche mobilitare investimenti privati nelle tecnologie climatiche?

Invece di sostituire gli investimenti privati, gli investitori pubblici mirano a mobilitarli tramite co-investimenti



TESLA

SOLYNDRA®

Stegra

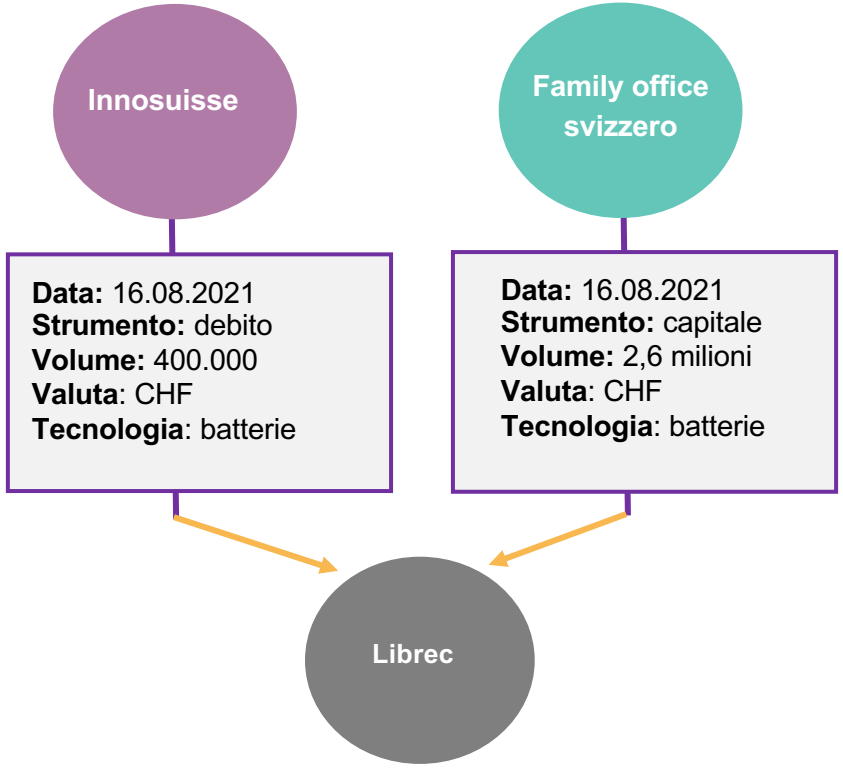
northvolt®

Il cofinanziamento pubblico è efficace e addizionale?

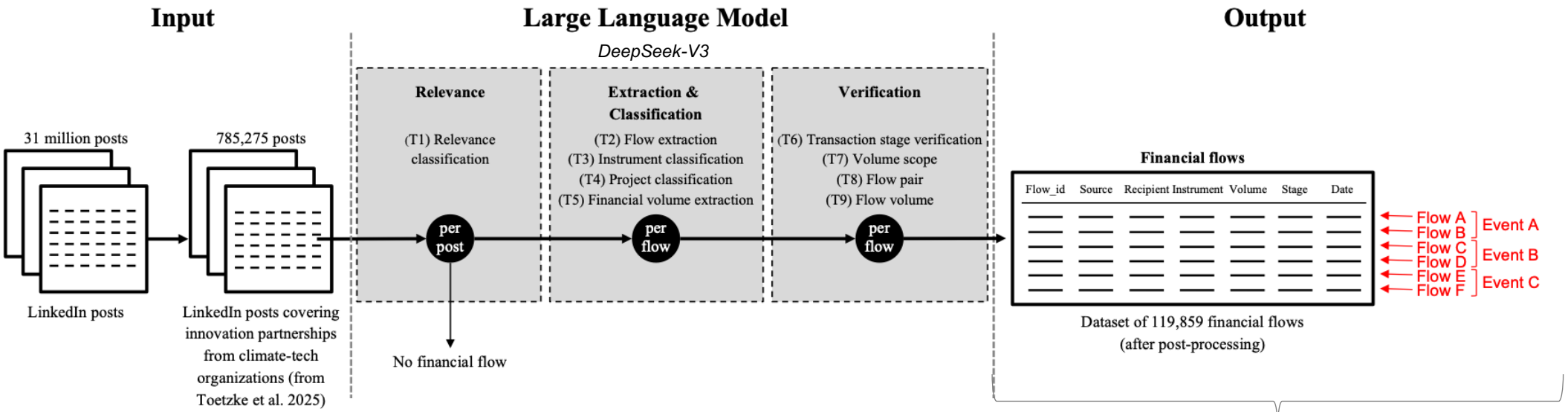
Abbiamo estratto con grandi modelli linguistici i flussi di investimento nelle tecnologie climatiche dagli annunci su LinkedIn

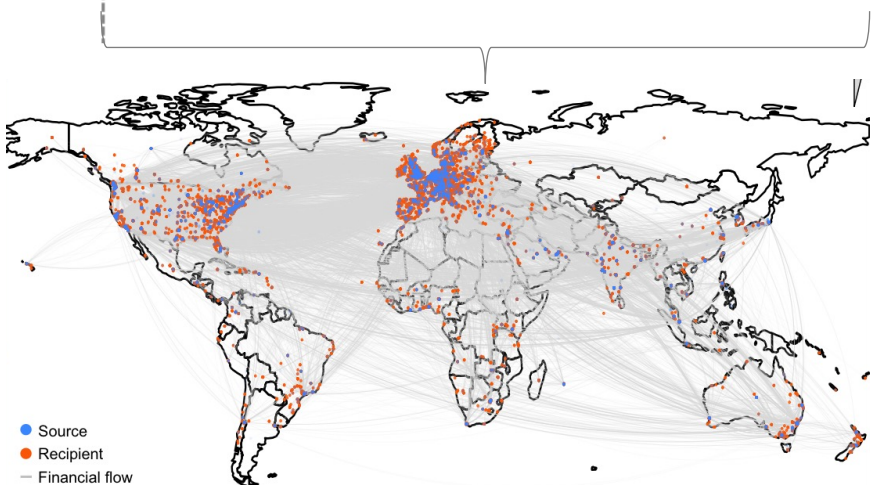
LIBREC
Environmental Services
Biberist, Solothurn

Librec raccoglie 2,6 milioni di franchi in un round seed sottoscritto oltre l'offerta, guidato da un family office svizzero e accompagnato da un prestito di 400.000 da Innosuisse per far progredire il riciclo delle batterie (…).



Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

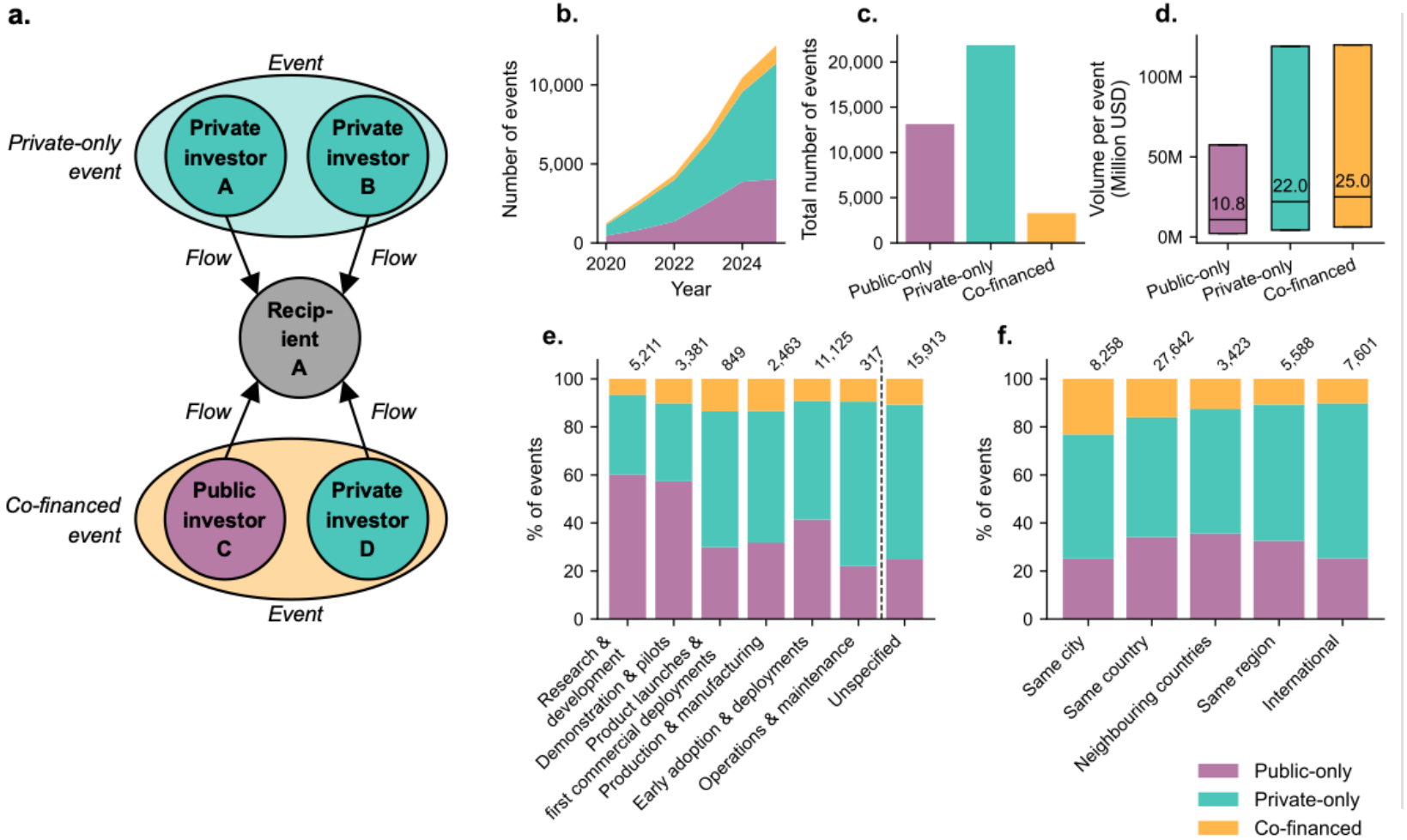




Flussi finanziari globali verso le tecnologie climatiche (2020—2025)

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

Abbiamo estratto 100.000 flussi finanziari nelle tecnologie climatiche da oltre 31 milioni di post delle imprese

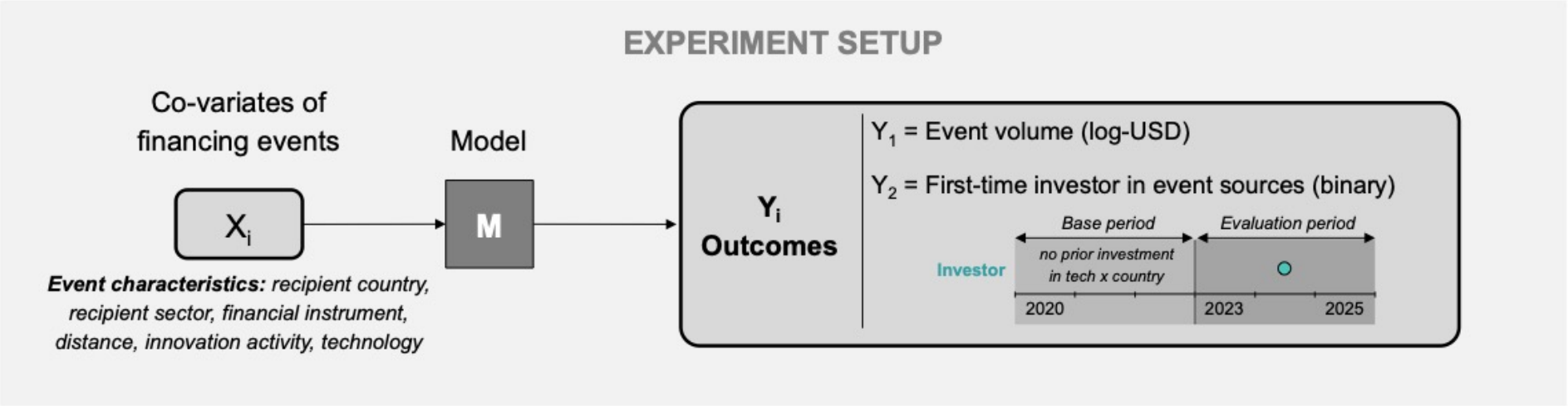


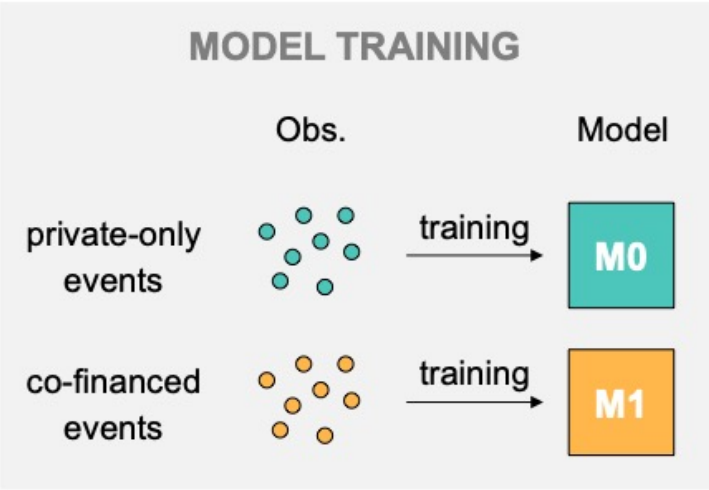
- Il cofinanziamento pubblico mobilita **nuovi investitori**? …che altrimenti difficilmente investirebbero

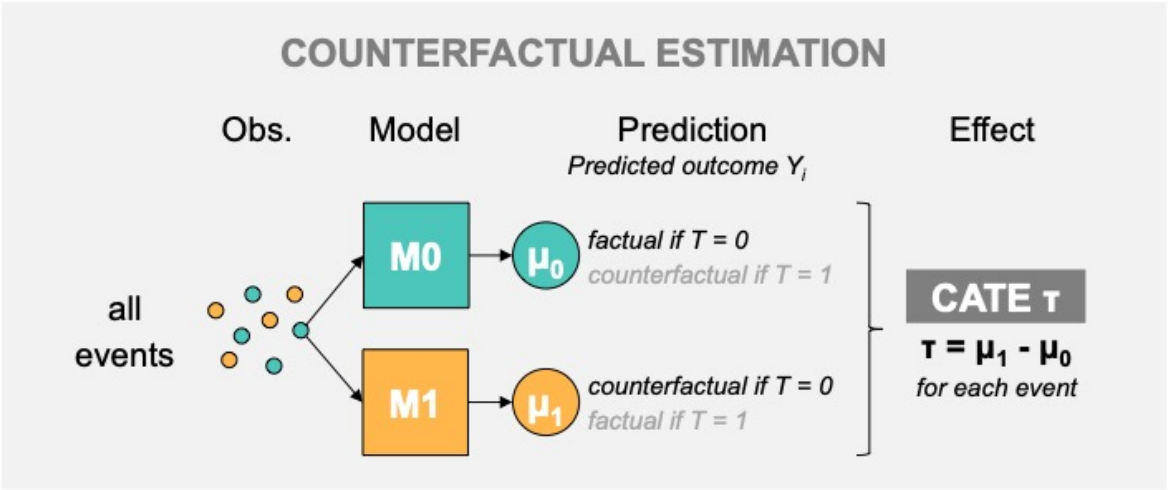
- Il cofinanziamento pubblico porta a **ticket più alti**? …o spiazza gli investimenti privati?

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

Usiamo l'IA per stimare esiti controfattuali





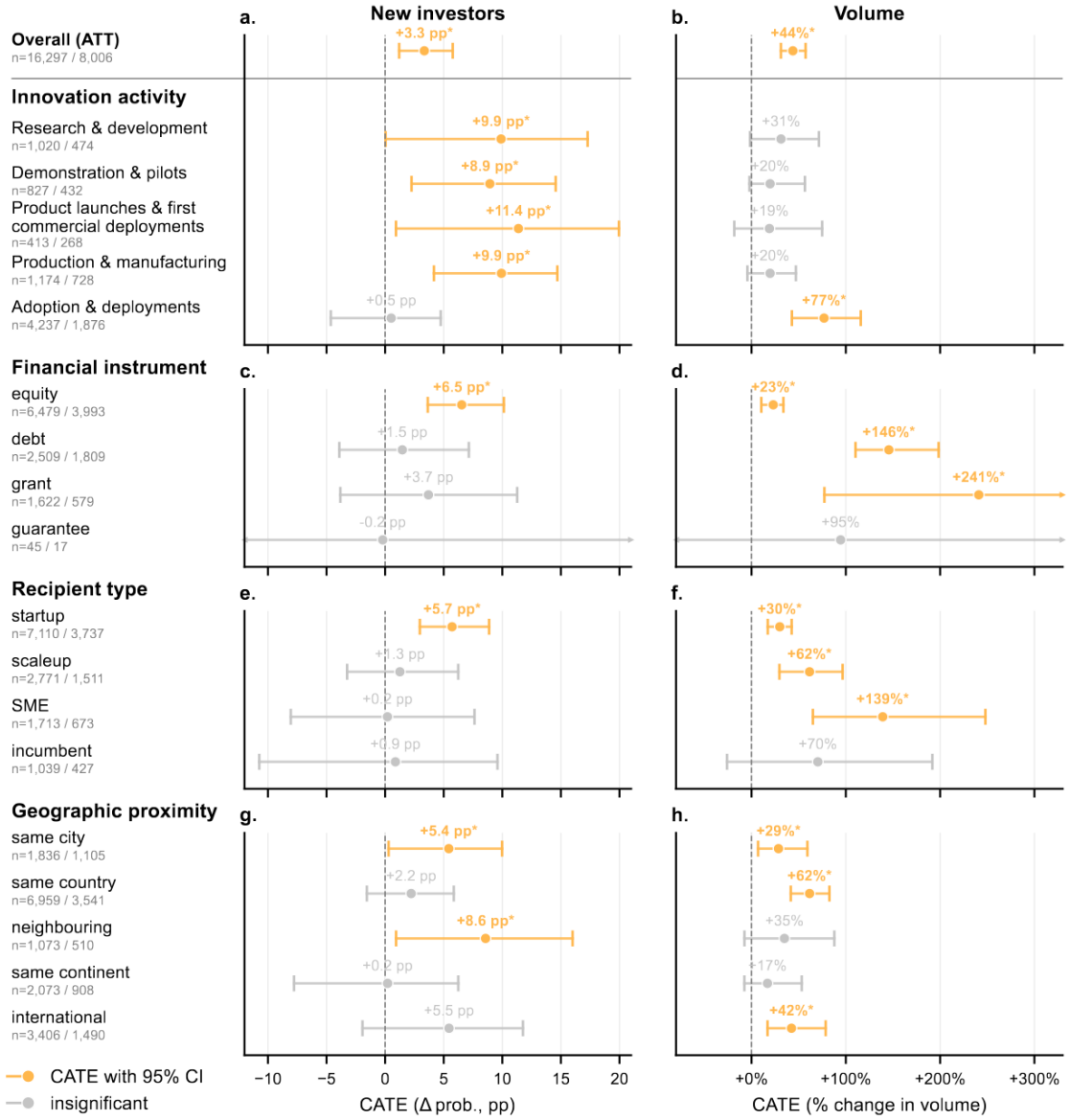


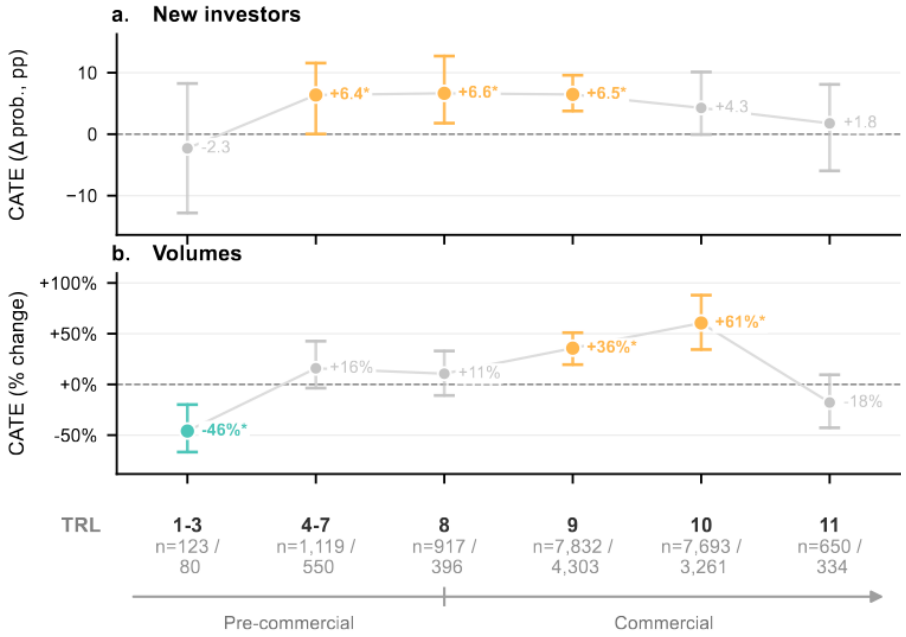
Modello di base:
Albero decisionale con gradient boosting (Ke, 2017)

Verifica di robustezza:
Foresta causale (Athey, 2019)

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

Il cofinanziamento mobilita nuovi investitori in fasi dell'innovazione diverse da quelle in cui mobilita volumi maggiori





Gruppo TRL	Fase	Tecnologie tipiche
TRL 1–3	**Ricerca e proof of concept**	Ricerca di base, esperimenti di laboratorio e tecnologie in fase di proof of concept (es. nuove chimiche delle batterie, primi materiali per DAC).
TRL 4–7	**Sviluppo e dimostrazione**	Sviluppo di prototipi, impianti pilota e progetti dimostrativi in condizioni sempre più realistiche (es. elettrolizzatori a idrogeno pilota, impianti dimostrativi di CCS).
TRL 8–10	**Prima diffusione commerciale**	Primi impianti commerciali e diffusione iniziale sul mercato, con tecnologie collaudate ma non ancora diffuse (es. prime acciaierie verdi, impianti di SAF).
TRL 11	**Scala commerciale e diffusione**	Tecnologie mature diffuse su larga scala in mercati concorrenziali (es. fotovoltaico, eolico onshore, batterie agli ioni di litio, pompe di calore).

Contributo, limiti e lavori futuri

Contributo principale

- **Nuova fonte di dati:** prima mappa su larga scala dei flussi di investimento nelle tecnologie climatiche, compreso il cofinanziamento pubblico (contributi, prestiti, garanzie) assente dalle banche dati commerciali
- **Evidenza causale:** stime controfattuali a livello di impresa sulla capacità del cofinanziamento pubblico di mobilitare capitale privato
- **Orientamento delle politiche:** individua dove il cofinanziamento funziona (TRL, strumento, beneficiario, area geografica)

Limiti

- **Selezione sugli osservabili:** le stime causali presuppongono l'assenza di fattori non osservati nelle decisioni di cofinanziamento
- **Dati autodichiarati:** volumi e strumenti provengono da post di marketing, non da documenti certificati
- **Possibili distorsioni geografiche:** i dati LinkedIn rappresentano alcune regioni più di altre

Lavori futuri

- **Collegamento ai risultati:** collegare la finanza mobilitata a diffusione, brevetti e capacità produttiva
- **Progettazione degli strumenti:** quali strumenti (garanzia vs prestito vs capitale) mobilitano più capitale privato per unità di denaro pubblico
- **Valutare programmi specifici volti a mobilitare investimenti privati**

Altri casi d’uso dell’IA per analizzare il finanziamento dell’innovazione nelle tecnologie climatiche

Input finanziari

Mappare e analizzare l’allocazione dei finanziamenti alle imprese e alle attività di innovazione?

Quanto è probabile che le imprese accedano ai finanziamenti?

Es. prevedere i round di finanziamento da brevetti, prodotti, ecc. con i dati Crunchbase e individuare distorsioni regionali

(Ross et al. (2021), Ang et al. (2022))

Che effetto hanno politiche specifiche sull’attrazione di finanza privata?

Es. collegare le politiche per l’innovazione alle imprese interessate per valutarne gli effetti sull’accesso al credito

Risultati dell’innovazione

Mappare i risultati dell’innovazione e collegarli agli input finanziari?

Di quanta finanza hanno bisogno le imprese per raggiungere certi risultati?

Es. prevedere gli input finanziari a partire dai risultati dell’innovazione (brevetti, commercializzazione, capacità produttiva) e altri dati d’impresa

Quanto velocemente migliorano le tecnologie?

Es. monitorare i guadagni di efficienza delle tecnologie e le differenze regionali per orientare le opportunità di investimento (Way et al. (2022))

Da dove partire: dataset aperti e strumenti di IA per la finanza climatica

	A — Finanza internazionale	B — Mercati finanziari	C — Finanza per l'innovazione
Dataset aperti	**OECD CRS** — 2,7 mln di descrizioni di progetti di aiuto allo sviluppo (gratuito) **AidData GCDF v3.0** — 21.000 progetti di aiuto allo sviluppo finanziati dalla Cina **Climate Watch** — testi e dati dei contributi determinati a livello nazionale (NDC) (CC BY) **Climate Funds Update** — fondi multilaterali	**SEC EDGAR** — testo integrale delle informative finanziarie delle imprese **Dati di esposizione di Sautner et al.** — esposizione delle imprese al cambiamento climatico **Net Zero Tracker** — panoramica degli obiettivi net zero **GeoAsset** — banche dati aperte di asset (acciaio, cemento)	**Google Patents BigQuery** — codici CPC Y02 delle tecnologie verdi **IRENA** — dati su costi e capacità rinnovabile **Global Energy Monitor** — monitoraggio degli asset per unità
Modelli di IA ottimizzati, strumenti e codice	**ClimateBERT** — 16 modelli, 7 dataset (Hugging Face) **Climate Policy Radar** — ricerca NLP nelle politiche climatiche mondiali	**ClimateBERT** — 16 modelli, 7 dataset (Hugging Face) **ChatReport** — analisi di report con LLM (codice aperto) **CLIMADA** — motore aperto per i rischi fisici	**Climate TRACE** — emissioni da satellite + ML a livello di asset (CC BY) **MIT tech rates** / **SFI PCDB** — curve di apprendimento tecnologico

Osservazioni importanti

1 Le definizioni contano

- Le definizioni delle categorie incidono molto sui risultati
- L'automazione garantisce coerenza, non oggettività
- Il disaccordo tra annotatori indica se le definizioni sono chiare

2 La finanza dà un prezzo a un futuro che i dati non hanno visto

- Gli output dei modelli possono generare eccessiva fiducia su esiti molto incerti
- Lavorare con scenari

3 Capire lo scopo originario dei dati

- Gli 8-K sono documenti legali. I post su LinkedIn sono marketing
- I dati possono contenere rumore o affermazioni false (greenwashing)

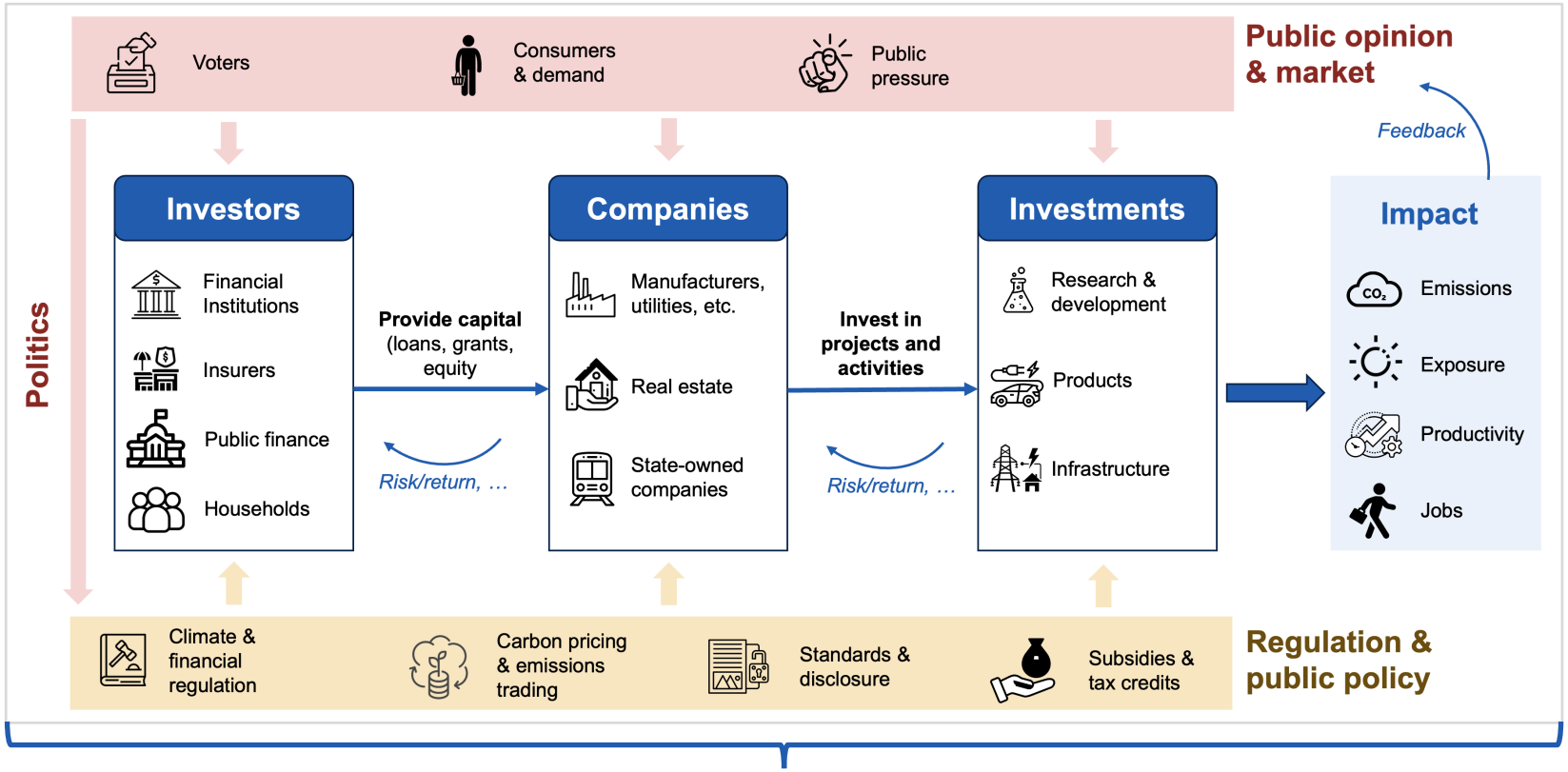
4 Ciò che viene misurato reagisce alla misurazione

- Quando un punteggio conta, il linguaggio si adatta (es. rendicontazione della finanza climatica)
- Preferire segnali costosi da falsificare (es. brevetti, dati finanziari)

Convalidare sempre le informazioni estratte e le previsioni con

- Altri dataset
- Ipotesi degli esperti
- Esiti reali

Dove i risultati si contraddicono, e perché?



- **Mappare i divari di finanziamento:** dove va la finanza e dove manca ancora?
- **Orientare le decisioni di finanziamento:** quali imprese, tecnologie o progetti sono buoni o cattivi investimenti?
- **Valutare l'impatto degli investimenti:** quali investimenti portano a maggiore diffusione, riduzione delle emissioni o resilienza?

Grazie!

Malte Toetzke
Ricercatore postdoc, TU Monaco
Senior Research Fellow, Istituto Max Planck per l'innovazione e la concorrenza

malte.toetzke@tum.de
TUM School of Social Sciences and Technology
Augustenstr. 40 | 80333 Munich | Germany
Sito web: maltetoetzke.com

Bibliografia

Addoum, J., Ng, D., Ortiz-Bobea, A. (2020). Temperature Shocks and Establishment Sales. Review of Financial Studies 33(3).

Ang, Y. Q., Chia, A., Saghafian, S. (2022). Using Machine Learning to Demystify Startups' Funding, Post-Money Valuation, and Success. In: Innovative Technology at the Interface of Finance and Operations, Springer.

Athey, S., Tibshirani, J., Wager, S. (2019). Generalized Random Forests. Annals of Statistics 47(2).

Barrot, J.-N., Sauvagnat, J. (2016). Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks. Quarterly Journal of Economics 131(3).

Bingler, J., Kraus, M., Leippold, M., Webersinke, N. (2022). Cheap Talk and Cherry-Picking: What ClimateBert Has to Say on Corporate Climate Risk Disclosures. Finance Research Letters 47.

Climate Policy Initiative (2024). Global Landscape of Climate Finance 2024.

Cohen, L., Gurun, U., Nguyen, Q. (2025). The ESG-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting. Management Science.

Colesanti Senni, C., Schimanski, T., Bingler, J., Ni, J., Leippold, M. (2025). Using AI to Assess Corporate Climate Transition Disclosures. Environmental Research Communications.

Haščič, I., Migotto, M. (2015). Measuring Environmental Innovation Using Patent Data (ENV-TECH). OECD Environment Working Papers No. 89.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation. AR6 WGIII, Ch. 15 (Investment and Finance).

Ke, G., et al. (2017). LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. NeurIPS 30.

Krueger, P., Sautner, Z., Starks, L. (2020). The Importance of Climate Risks for Institutional Investors. Review of Financial Studies 33(3).

Kruttli, M., Roth Tran, B., Watugala, S. (2025). Pricing Poseidon: Extreme Weather Uncertainty and Firm Return Dynamics. Journal of Finance 80.

Künzel, S., Sekhon, J., Bickel, P., Yu, B. (2019). Metalearners for Estimating Heterogeneous Treatment Effects Using Machine Learning. PNAS 116(10).

Lehofer, C., Egli, F., Toetzke, M. (2026). Public–private co-financing can mobilize private investments in climate technologies. On request.

Pankratz, N., Bauer, R., Derwall, J. (2023). Climate Change, Firm Performance, and Investor Surprises. Management Science 69(12).

Pankratz, N., Schiller, C. (2024). Climate Change and Adaptation in Global Supply-Chain Networks. Review of Financial Studies 37(6).

Ross, G., Das, S., Sciro, D., Raza, H. (2021). CapitalVX: A Machine Learning Model for Startup Selection and Exit Prediction. Journal of Finance and Data Science 7.

Sautner, Z., van Lent, L., Vilkov, G., Zhang, R. (2023). Firm-Level Climate Change Exposure. Journal of Finance 78(3).

Schimanski, T., Gostlow, G., Toetzke, M., Leippold, M. (2024). What Firms Actually Lose (and Gain) from Extreme Weather Event Impacts. Working paper (SSRN).

Stroebel, J., Wurgler, J. (2021). What Do You Think about Climate Finance? Journal of Financial Economics 142(2).

Toetzke, M., Stünzi, A., Egli, F. (2022). Consistent and Replicable Estimation of Bilateral Climate Finance. Nature Climate Change 12.

Toetzke, M., Probst, B., Feuerriegel, S., Diaz Anadon, L., Hoffmann, V. H. (2024). Analyzing the Dynamics of Innovation Networks in Climate Technologies Using Large Language Models. Working paper (SSRN).

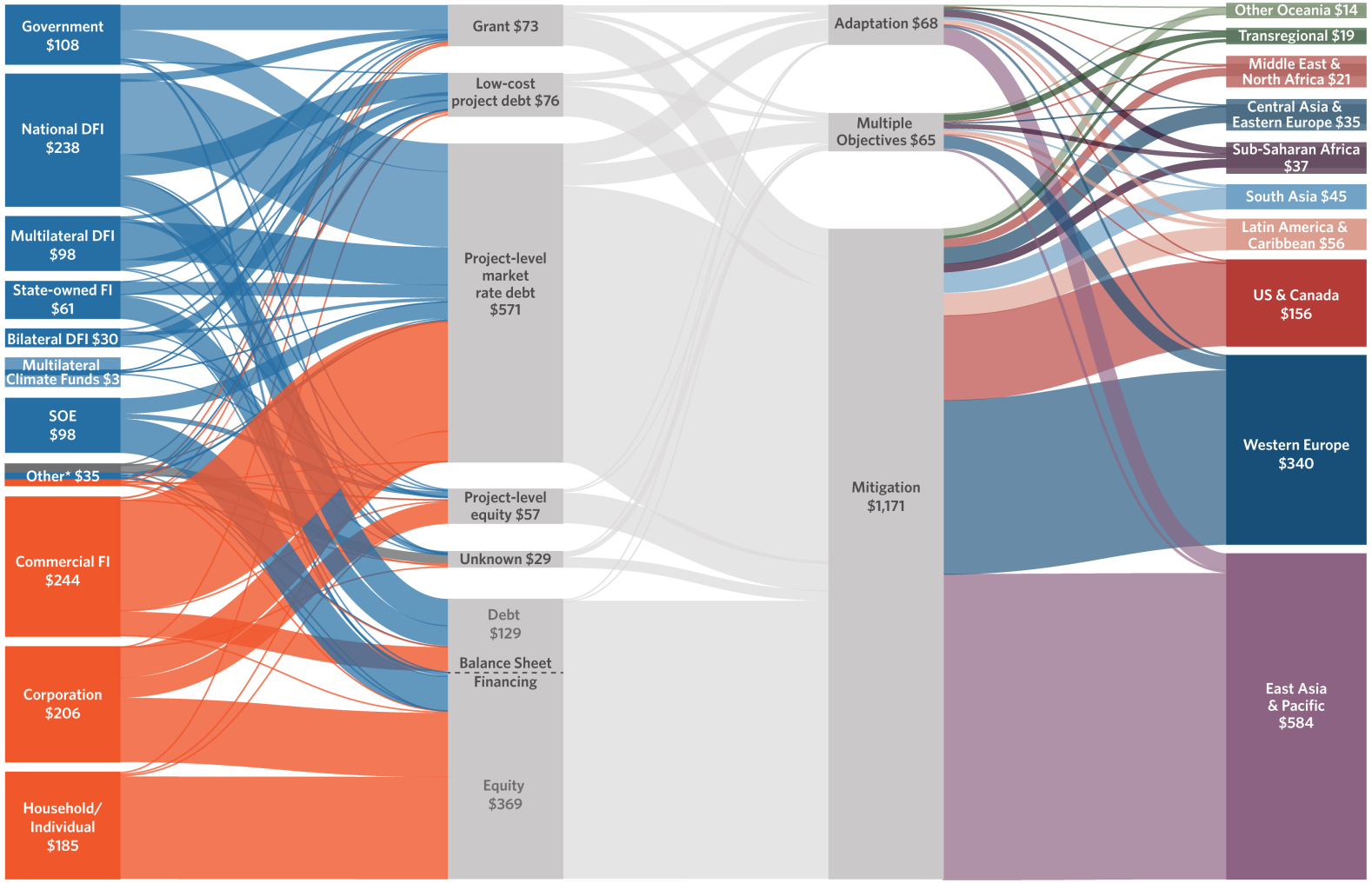
UNEP (2023). Adaptation Gap Report 2023.

LANDSCAPE OF CLIMATE FINANCE IN 2021/2022

Global climate finance flows along their life cycle in 2021 and 2022. Values are averages of two years' data to smooth out fluctuations, in USD billions

CLIMATE POLICY INITIATIVE

1.3 TRILLION USD ANNUAL AVERAGE



"Other" public sources include export credit agencies and unknown public funds
"Other" private sources include institutional investors, funds, and unknown

Source: Climate Policy Initiative

Il settore privato è fondamentale:

Oltre la metà della finanza climatica erogata proviene da fonti private

Redditività e rischio contano:

La stragrande maggioranza della finanza climatica si basa sul debito (prestiti)

L'adattamento resta marginale:

Meno del 10% della finanza climatica va all'adattamento

I paesi in via di sviluppo sono sottofinanziati:

Meno del 25% della finanza climatica va ai mercati emergenti* e ai PMA

*esclusa la Cina