

Assicurazioni Index-Based e Climate Change: Strategie di Copertura tra Incertezza dei Modelli e Vincoli di Solvency II

Imma Oliva

joint work: Davide Feleppa (Sapienza), Andrea Macrina (UCL & UCT)

Sapienza Università di Roma, Dip. MEMOTEF

**Dipartimento di Matematica per le Scienze economiche, finanziarie ed
attuariali (DiMSEFA) – UCSC**

Milano, 22 Maggio 2026

Agenda

- ① Introduzione e motivazione
- ② Indice meteorologico
- ③ Equilibrio assicurativo
- ④ Risultati numerici
- ⑤ Conclusioni & sviluppi futuri

- **Perdita di stazionarietà:** il cambiamento climatico ha alterato le serie storiche, portando a un trend in forte peggioramento.
- **Dati recenti: 376 eventi estremi** registrati in Italia nel 2025 (+6% a/a), caratterizzati da un aumento congiunto di **frequenza e severità**.
- **Casi studio emblematici (2023-2025):**
 - ▶ **Caldo estremo (Coda destra delle temperature):** picchi di 43°C in Sardegna a Luglio e anomalie termiche di 33°C in Sicilia a fine Ottobre.
 - ▶ **Eventi convettivi estremi:** in Veneto (2023) registrate 52 forti grandinate in un solo giorno. Un livello di concentrazione temporale che mette sotto stress la diversificazione di portafoglio.

L'aumento della correlazione spaziale degli eventi estremi sta minando l'assunto di base della mutualità assicurativa agricola.

- **Shock sulla redditività agricola:** Gli eventi catastrofici colpiscono direttamente i bilanci aziendali.
- **Il caso Alluvioni Emilia-Romagna (Maggio 2023):**
 - ▶ **€1,5 Mld** di perdite dirette nel comparto agricolo.
 - ▶ Crollo sistemico della **Produzione Lorda Vendibile (PLV)** regionale: **-30,1%** per i cereali e **-28,6%** per la frutta.
- **Il Paradosso del Protection Gap:**
 - ▶ **Sotto-assicurazione sistemica:** in E.R. solo il **6%** delle perdite da alluvione risultava assicurato (fallimento del mercato sui rischi di punta).
 - ▶ **Iper-esposizione ai rischi frequenti:** nello stesso anno, la forte penetrazione delle polizze grandine ha generato un record di perdite assicurate pari a **€4,8 Mld** in Italia, mettendo in crisi le capacità riassicurative.

Di fronte ai fallimenti delle polizze *indemnity* (alti costi peritali, tempistiche lunghe), le **polizze parametriche** offrono una soluzione, ma i modelli a **indice singolo** mostrano criticità strutturali:

- **Rischio di Base Spaziale (Risoluzione):**

- ▶ Gli eventi odierni sono spesso iper-localizzati.
- ▶ Es. **Alluvioni lampo (2025): 180mm** di pioggia in 24h in Toscana. Fenomeni così violenti e circoscritti passano spesso *invisibili* alle reti standard di stazioni meteorologiche.

- **Rischio di Base di Design:**

- ▶ Disallineamento intrinseco tra il parametro misurato (es. mm di pioggia) e l'effettivo danno agronomico subito dalla coltura in quella specifica fase fenologica.

Goal: sviluppare un framework integrato per valutare la sostenibilità delle polizze parametriche, superando i limiti dei modelli tradizionali

1. Il Lato Domanda (L'Agricoltore):

- ▶ **Avversione al Rischio di Base:** Utilizziamo il framework della *Smooth Ambiguity Aversion* (Klibanoff et al., 2005) per catturare un aspetto cruciale: l'incertezza dell'agricoltore sull'effettiva *affidabilità* dell'indice.
- ▶ **Finanziamento endogeno:** Integriamo i vincoli di liquidità reali delle aziende agricole.

2. Il Lato Offerta (L'Assicuratore):

- ▶ **Pricing Risk-Based:** Calibrazione del premio basata sui requisiti di capitale **Solvency II (Cost-of-Capital)** e sulle frizioni di mercato, unificando le principali prassi attuariali in un unico framework.

3. L'Equilibrio assicurativo:

- ▶ Determinazione dell'**Equilibrio di Nash**: il punto d'incontro esatto tra la disponibilità a pagare dell'agricoltore e il caricamento minimo richiesto dall'assicuratore.

4. Stress Test Climatico (Applicazione Empirica):

- ▶ Costruzione di un **indice agroclimatico viticolo** testato in Francia e proiettato al 2100 secondo **4 scenari di emissione IPCC (SSP)**, per misurare come l'equilibrio si sposterà nel tempo.

Per testare la robustezza e la fattibilità economica del nostro modello, abbiamo applicato l'impianto teorico a un caso studio specifico: **la viticoltura in Francia**.

- **Perché la Viteicoltura?**

- ▶ **Altissimo valore esposto:** Settore ad alta densità di capitale e redditività. Similmente alle eccellenze lombarde (es. Franciacorta), un danno severo compromette non solo la singola PLV, ma il capitale vitale dell'azienda.
- ▶ **Iper-sensibilità climatica:** La vite è il *proxy* perfetto per gli eventi composti (*compound events*). Richiede un delicato equilibrio termico e idrico in fasi fenologiche strettissime.

- **Perché la Francia (10 Regioni Vitivinicole)?**

- ▶ **Eterogeneità del rischio:** Un portafoglio che spazia dallo Champagne al Rodano permette di stress-testare il modello su regimi climatici completamente diversi.
- ▶ **Data Quality:** Accesso a dataset storici (agronomici e meteorologici, es. ERA5) con altissima granularità spaziale, requisito fondamentale per quantificare accuratamente il **Basis Risk** e ottimizzare i premi.

*Il caso francese ci permette di rispondere alla domanda chiave:
con l'aggravarsi degli scenari climatici, questi **asset ad alto valore** diventeranno
inassicurabili (**stranded assets**) o l'innovazione parametrica può garantirne la
resilienza?*

Goal: estendere il concetto classico di assicurazione parametrica, affrontando una complessità strutturale molto più elevata rispetto ai tradizionali rischi catastrofali.

Parametrico Tradizionale (es. Cat Bonds / Meteo standard)

- **Trigger Istantanei:** Eventi puntuali e circoscritti (es. Terremoto Magnitudo ≥ 7 , Uragano Cat. 4 in specifiche coordinate).
- **Dinamica Temporale:** Logica quasi binaria (*Hit or Miss*). L'evento si esaurisce in tempi brevissimi.
- **Variabili:** Singole e indipendenti dal calendario.

Parametrico Agroclimatico

- **Trigger Cumulati e Continui:** Temperatura, precipitazioni, deficit di evapotraspirazione.
- **Dinamica Temporale:** La tempistica è tutto. Conta *quando* avviene, per *quanto tempo* e in che *quantità*.
- **Variabili:** Fortemente dipendenti dalla finestra fenologica della coltura.

Nell'Agribusiness, il sinistro non deriva quasi mai da un singolo shock meccanico, ma dalla **cumulazione di stress ambientali prolungati** nei momenti critici dello sviluppo vegetativo.

Nelle polizze standard, la richiesta di indennizzo si basa su **informazioni private** (la reale entità del danno sul campo).

- Tali informazioni non sono osservabili o verificabili da terzi senza **ingenti costi di monitoraggio** (*Loss Adjustment Expenses*).
- Legare il pagamento alle perdite effettive espone il portafoglio a due fallimenti sistemici: **Moral Hazard** e **Selezione Avversa**.

La polizza parametrica rivoluziona il concetto di indennizzo rimuovendo la dipendenza dal dato privato:

- L'assicuratore aggrega variabili meteorologiche/satellitari **pubblicamente osservabili** in un **Indice Composito** \hat{Y} .
- L'indennizzo scatta in modo oggettivo quando l'indice supera (o scende sotto) una soglia predefinita a contratto.
- **Il Risultato:** Un prodotto **trasparente, scalabile e verificabile** (*auditable*) da chiunque, privo di moral hazard.

Il **Basis Risk** (ε) rappresenta la discrepanza residua tra la resa agricola **effettiva** (Y) e la stima teorica catturata dall'**indice** (\hat{Y})

$$\varepsilon := Y - \hat{Y}$$

L'indice cattura solo la componente **sistemica** (macro) della variazione di resa. Gli **shock idiosincratici** (locali/specifici) rimangono interamente a carico dell'assicurato.

Implicazioni di Mercato:

- **Efficacia limitata:** Pone un tetto strutturale alla capacità di mitigazione del rischio [Barnett & Mahul, 2007].
- **Crollo della Domanda:** Il rischio spaziale sopprime la propensione all'acquisto, *persino in presenza di forti sussidi pubblici* [Kodama et al., 2022].

Con la perdita di stazionarietà del clima, le relazioni storiche tra indice e resa (*Index-Output*) saltano. Questo genera nell'assicurato una profonda **incertezza sull'affidabilità del modello**.

Fissato uno spazio di probabilità filtrato $(\Omega, \mathcal{F}, (\mathcal{F}_t), \mathbb{P})$ su un orizzonte stagionale $t \in [0, T]$, definiamo X_t come il vettore delle variabili di stato meteorologiche (es. temp, pioggia).

La produzione agricola cumulata a fine stagione Y_T dipende dall'evoluzione continua degli stati X_t :

$$Y_T(X_T) := \int_0^T f(s, X_s) ds$$

Nota: Y_T è \mathcal{F}_T -misurabile ma **non contrattualizzabile** (costi di perizia/asimmetrie).

L'assicuratore stima la resa teorica \hat{Y}_{TT} utilizzando solo **dati pubblici**:

$$\hat{Y}_{TT} = \mathbb{E} [Y_T(X_T) | \mathcal{F}_T]$$

Da qui emerge rigorosamente il **Rischio di Base**: $\varepsilon := Y_T - \hat{Y}_{TT}$, con $\mathbb{E}[\varepsilon] = 0$.

Fissato uno spazio di probabilità filtrato $(\Omega, \mathcal{F}, (\mathcal{F}_t), \mathbb{P})$ su un orizzonte stagionale $t \in [0, T]$, definiamo X_t come il vettore delle variabili di stato meteorologiche (es. temp, pioggia).

Il payoff della copertura parametrica ϕ_T è strutturato come un'**Opzione Put** con strike K :

$$\phi_T = (K - \widehat{Y}_{TT})^+$$

Il premio puro caricato P_0 richiesto per unità di produzione è dato da:

$$P_0 = (1 + \pi) \mu_\phi$$

dove $\mu_\phi := \mathbb{E}[\phi_T]$ e $\pi > 0$ è il **loading factor**.

L'azienda agricola che richiede copertura affronta due decisioni congiunte:

- 1 Il livello di **copertura assicurativa** $\alpha \in [0, 1]$.
- 2 L'ammontare del **finanziamento** (*borrowing*) $B \geq 0$.

Sull'importo preso a prestito B grava un tasso di interesse totale $r + s(\alpha)$, dove r è il tasso risk-free e $s(\alpha)$ rappresenta uno **spread creditizio endogeno** che riflette l'esposizione al rischio residuo dell'azienda post-assicurazione.

Tale spread è proporzionale alla varianza residua dell'azienda ed è dato da:

$$s(\alpha) = \kappa \left(\sigma_Y^2 + \alpha^2 \sigma_{\hat{Y}}^2 - 2\alpha \sigma_{Y\hat{Y}} \right),$$

dove $\kappa > 0$, $\sigma_Y > 0$, $\sigma_{\hat{Y}} > 0$, $\sigma_{Y\hat{Y}} > 0$.

Nota: Anche con una copertura assicurativa totale ($\alpha = 1$), il rischio di base persiste.

Il vincolo di bilancio iniziale dell'azienda è $w + B - \alpha(1 - \beta)P_0 = \bar{w}$, dove w è il capitale aziendale, e $\beta \in [0, 1]$ è il sussidio governativo.

La ricchezza terminale dell'agricoltore, al tempo $t = T$, è definita come:

$$W(\alpha, B) = \bar{w} + Y_T + \alpha\phi_T - B(2 + r + s(\alpha)).$$

L'assicurato può nutrire **dubbi legittimi** sull'effettiva accuratezza dell'indice (*Model Uncertainty*).

Questo porta a considerare una famiglia di modelli per la resa produttiva attesa:

$$\mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[Y_T] = \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[\hat{Y}_T] + \mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T],$$

dove $\mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T]$ è il **bias sistematico percepito** di ε_T sotto la misura \mathbb{P}^b .

Assumendo che $\mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = 0$ e $\mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = \sigma_b^2$, nel framework della *smooth ambiguity* [Klibanoff et al., 2005], otteniamo:

$$J(\alpha, B) := \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[W] - \frac{\gamma}{2} \mathbb{V}^{\mathbb{P}}[W] - \frac{\xi}{2} \mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[W],$$

dove $\gamma > 0$ è l'avversione al rischio sotto \mathbb{P} , e $\xi \geq 0$ è l'avversione all'ambiguità tra le misure \mathbb{P}^b .

L'Impatto del Cambiamento Climatico:

La varianza soggettiva del rischio di base $\mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = \sigma_b^2$ può aumentare notevolmente a causa del **global warming**, anche se la media $\mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = 0$ resta invariata.

Assumendo $\mathbb{E}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = 0$ e $\mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[\varepsilon_T] = \sigma_b^2$, la penalità legata all'ambiguità è data da:

$$\mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[W] = (1 - \alpha p)^2 \sigma_b^2$$

dove $p = \mathbb{P}[\widehat{Y} < K]$ è la probabilità di attivazione (*trigger*) della copertura.

Espandendo il termine $(1 - \alpha p)^2$, la penalità si scompone in tre componenti distinte:

$$\mathbb{V}^{\mathbb{P}^b}[W] = \underbrace{-\frac{\xi}{2}\sigma_b^2}_{\text{costante}} + \underbrace{\xi\sigma_b^2 p \alpha}_{\text{incremento marginale}} - \underbrace{\frac{\xi}{2}\sigma_b^2 p^2 \alpha^2}_{\text{rendimenti decrescenti}}$$

Duplice ruolo di hedging: *l'assicurazione agisce come copertura sia contro il rischio oggettivo sia contro l'incertezza del modello.*

L'obiettivo dell'assicurato è massimizzare la propria funzione obiettivo controllando la domanda di copertura α , dato un certo fattore di caricamento (*loading*) π :

$$\max_{\alpha} J(\alpha),$$

dove il budget disponibile è vincolato dal debito $B(\alpha) := \Delta w + \alpha(1 - \beta)P_0$, con $\Delta w := \bar{w} - w$.

L'obiettivo può essere riformulato come una **funzione cubica** rispetto ad α :

$$J(\alpha) = -q_3\alpha^3 + q_2\alpha^2 + q_1\alpha + q_0,$$

con i coefficienti così definiti:

- $q_3 := \kappa(1 - \beta)P_0\sigma_{\hat{Y}}^2 > 0$
- $q_2 := 2\kappa(1 - \beta)P_0\sigma_{Y\hat{Y}} - N$
- $q_1 := C - R$

Dove le componenti strutturali sono:

$$N := \kappa\Delta w \sigma_{\hat{Y}}^2 + \frac{1}{2}(\gamma\sigma_{\phi}^2 + \xi\sigma_b^2\rho^2),$$

$$C := \mu_{\phi} - \gamma\sigma_{Y\phi} + 2\kappa\Delta w \sigma_{Y\hat{Y}} + \xi\sigma_b^2\rho,$$

$$R := (1 - \beta)P_0(2 + r + \kappa\sigma_{\hat{Y}}^2).$$

La copertura assicurativa ottimale (*optimal coverage*) è data dalla radice:

$$\alpha^*(\pi) = \frac{2\kappa c_0(1 + \pi)\sigma_{Y\hat{Y}} - N + \sqrt{D(\pi)}}{3\kappa c_0(1 + \pi)\sigma_{\hat{Y}}^2}$$

dove $D(\pi) := (2\kappa(1 - \beta)P_0\sigma_{Y,\hat{Y}} - N)^2 + 3\kappa(1 - \beta)P_0\sigma_{\hat{Y}}^2(C - R)$ e $c_0 = (1 - \beta)\mu_\phi$.

Affinché $\alpha^*(\pi)$ sia invertibile, il caricamento è vincolato a $(0, \bar{\pi})$. Se $\pi \geq \bar{\pi}$, l'assicurato si ritira dal mercato (disponibilità a pagare nulla).

La soglia massima di tolleranza al caricamento è data da:

$$\bar{\pi} = \frac{C}{c_0(2 + r + \kappa\sigma_Y^2)} - 1.$$

Per garantire l'invertibilità (e l'esistenza dell'equilibrio), si dimostra che:

- $\alpha^*(\pi)$ è **strettamente decrescente** su $(0, \bar{\pi})$ con $\alpha^{*\prime}(\pi) < 0$.
- $\alpha^*(\pi)$ è un C^1 -diffeomorfismo: $(0, \bar{\pi}) \rightarrow (0, \alpha^*(0))$.

L'assicuratore sceglie il caricamento $\pi > 0$ per massimizzare la propria funzione obiettivo, bilanciando profitto, requisiti patrimoniali e competitività:

$$K(\pi; \alpha) := \underbrace{\mathbb{E}[W_I(\pi)]}_{\text{Profitto Atteso}} - \underbrace{\delta \text{VaR}_\eta(-W_I(\pi))}_{\text{Costo del Capitale (SII)}} - \underbrace{\frac{\rho}{2} (\pi - \pi_0)^2}_{\text{Frizioni di Mercato}}$$

Dove i parametri normativi e di mercato sono:

- $\delta = 6\%$ (*Cost-of-Capital rate* regolamentare).
- $\eta = 99.5\%$ (Livello di confidenza del VaR sotto Solvency II).
- $\rho > 0$ intensità della frizione, π_0 caricamento di benchmark.

Il modello unifica (i) massimizzazione del profitto, (ii) allocazione del capitale regolamentare [Cummins, 1990] e (iii) pricing competitivo [Emms & Haberman, 2005].

La reazione ottima dell'assicuratore alla domanda α è una funzione lineare:

$$\pi^*(\alpha) = \pi_0 + \frac{(1 + \delta) \mu_\phi}{\rho} \alpha$$

Il mercato converge a un unico punto di equilibrio nel piano (π, α) in cui:

- **La Domanda** (α^*): È strettamente *decescente* rispetto al caricamento (π).
- **L'Offerta** (π^*): È strettamente *crescente* rispetto alla copertura (α), riflettendo il costo del capitale e i vincoli di Solvency II.

Il modello garantisce che, se il caricamento base è ammissibile, l'intersezione esiste, è **unica** e comporta sempre uno scambio attivo (*active trade*).

La Soluzione in Forma Chiusa: Il Polinomio Cubico

- Sostituendo la reazione dell'assicuratore nell'ottimo dell'agricoltore, l'intero mercato viene sintetizzato da un'**equazione di terzo grado** (Formula di Cardano):

$$A_3\alpha^3 + A_2\alpha^2 + A_1\alpha + A_0 = 0$$

- I coefficienti (A_i) combinano i parametri chiave: avversione al rischio, rischio di base, varianza dell'indice e requisiti patrimoniali.
- Dalla copertura di equilibrio $\alpha^N \in (0, 1)$ si ottiene direttamente il premio π^N .

Rilevanza Pratica: *Computazionalmente efficiente (zero simulazioni stocastiche o algoritmi black-box). Permette una perfetta dualità di programmazione per i regolatori (es. fissare un target di penetrazione del mercato e ricavare istantaneamente il caricamento tariffario necessario).*

L'Applicazione Empirica: La Viticoltura Francese

Perché la produzione vitivinicola francese?

- Rese guidate da **meccanismi agroclimatici** ben identificati (Jones, 2005).
- Dati meteorologici e produttivi pubblici ad altissima **risoluzione spaziale**.
- Forte **gradiente climatico**: ideale per testare il rischio spaziale.

Fonti Dati:

- **Copernicus CDS (ERA5-Land)**: Temperature giornaliere, precipitazioni, evapotraspirazione a risoluzione 0.1° (1979–2024).
- **Ministero dell'Agricoltura Francese**: Rese viticole AOP per dipartimento (2009–2024).
- **Proiezioni Climatiche CMIP6** (UKESM1-0-LL, CNRM-CM6-1): 2030–2100.

Costruzione dell'Indice Agroclimatico

La resa teorica (fissata al 27 Ottobre 2025) è modellizzata tramite un **modello log-lineare a effetti misti**:

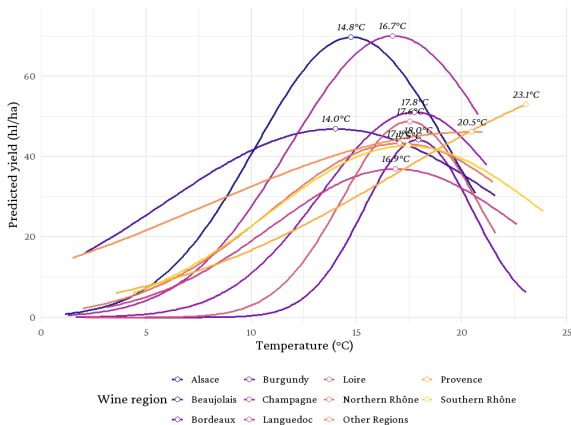
$$\ln(\hat{Y}_I) = \beta_0 + u_{0,r} + \beta_1 P_I^{\text{seas}} + \beta_2 P_I^{\text{pre}} + \beta_3 WRSI_I + \beta_4 WEI_I + \beta_5 VTSI_I \\ + (\beta_6 + u_{1,r}) T_{I,r} + (\beta_7 + u_{2,r}) T_{I,r}^2 + (\beta_8 + u_{3,r}) n + \varepsilon_I,$$

I Tre Indici Agroclimatici Core:

- **VTSI** (*Viticulture Temperature Suitability Index*): mappa lineare a tratti dell'adeguatezza termica alla fisiologia varietale.
- **WRSI** (*Water Requirement Satisfaction Index*): bilancio idrico FAO (cattura lo stress da **siccità**).
- **WEI** (*Water Excess Index*): cattura lo stress da **ristagno idrico** (eccesso).

*Nota: Le componenti casuali (u) permettono ad ogni regione di avere una propria curva di risposta alla temperatura \implies **Curve di Goldilocks regionali.***

Mantenendo le covariate alle medie regionali, la log-resa assume una forma **quadratica concava** rispetto alla temperatura. C'è un punto di "ottimo" oltre il quale il caldo distrugge valore.



Componenti di Varianza Calibrate

Regione	$\mathbb{E}[Y]$	σ_Y^2	$\sigma_{\hat{Y}}^2$	$\sigma_{Y\hat{Y}}$	σ_θ^2	σ_ϕ^2	$\sigma_{Y\phi}$
Alsace	66.8	65.8	27.9	0.539	47.49	1.8197	-4.6996
Beaujolais	44.5	33.7	5.4	0.410	28.02	0.1963	-1.3462
Bordeaux	43.0	45.2	17.6	0.604	28.72	1.3212	-2.8649
Burgundy	48.0	127.4	62.2	0.655	72.94	4.6230	-13.6634
Champagne	69.3	221.4	83.7	0.533	160.08	7.8044	-21.1136
Languedoc	33.5	37.2	10.7	0.513	27.46	2.3528	-4.1478
Loire	46.4	90.2	39.7	0.600	58.03	6.0104	-11.5436
Northern Rhône	40.5	12.8	2.7	0.268	12.38	0.1651	-0.1803
Provence	39.6	121.4	65.0	0.745	54.07	6.3316	-16.8383
Southern Rhône	40.5	20.0	3.5	0.273	18.95	0.2556	-0.3079

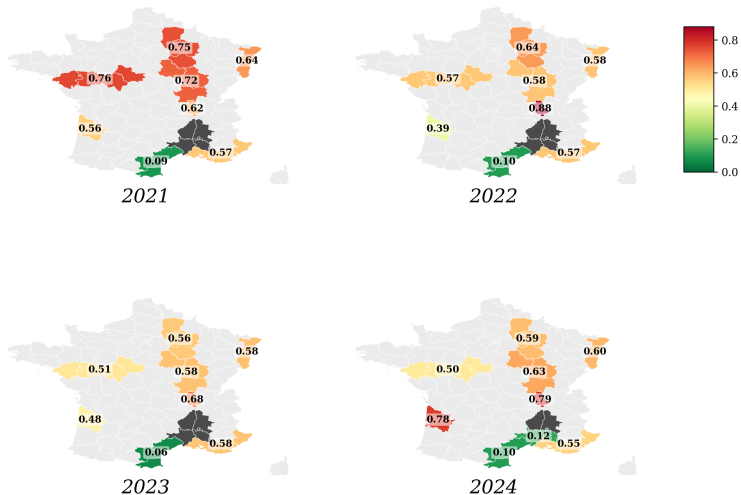
Condizione di Hedging Soddisfatta: $\sigma_{Y\phi} < 0$ in tutte le regioni: i payoff assicurativi sono **inversamente correlati** alle rese, requisito fondamentale per un'efficace riduzione del rischio per l'agricoltore.

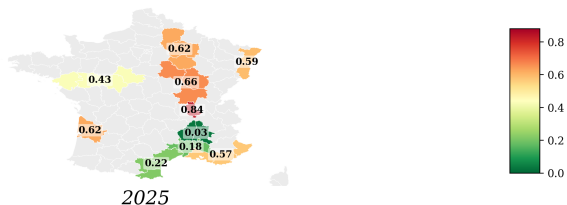
Parametri: $\gamma = 0.05$, $\xi = 0.02$, $r = 0.03$, $\kappa = 0.0025$, $\beta = 0.10$, $\pi_0 = 0$, $\rho = 1.0$,
 $\delta = 0.06$, $\eta = 0.995$.

Regione	α^N	π^N	Premio	\bar{Y}	\hat{Y}	μ_ϕ
Alsace	0.589	0.354	0.691	62.030	69.185	0.567
Beaujolais	0.837	0.156	0.183	41.572	44.807	0.176
Bordeaux	0.620	0.257	0.442	38.551	45.155	0.391
Burgundy	0.664	0.599	1.226	40.100	48.987	0.852
Champagne	0.622	0.754	1.807	60.120	69.268	1.145
Languedoc	0.215	0.125	0.555	30.834	34.723	0.548
Loire	0.428	0.443	1.270	40.589	47.788	0.978
Northern Rhône	0.029	0.005	0.140	38.850	41.176	0.155
Provence	0.570	0.648	1.591	30.319	40.142	1.073
Southern Rhône	0.180	0.035	0.170	38.634	41.352	0.182

- **Alta** $\sigma_{Y\hat{Y}} \implies$ **Alta Domanda** (Provenza, Borgogna, Bordeaux)
- **Bassa** $\sigma_{Y\hat{Y}} \implies$ **Bassa Domanda** (Rodano Nord e Sud, limitati dal rischio idiosincratco).

Nowcasting: Equilibrio a Finestra Mobile (2021-2025)





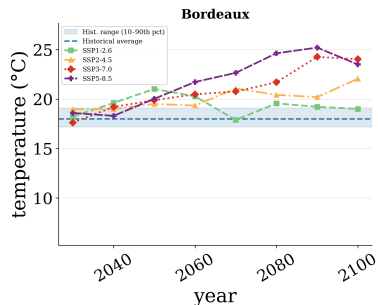
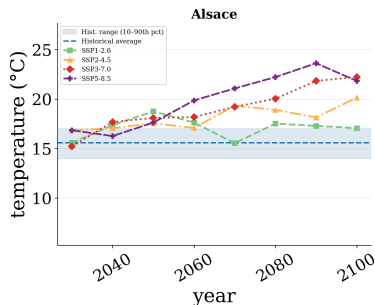
Negli ultimi periodi emerge un chiaro **pattern di convergenza**:

- Regioni storicamente costose diventano *relativamente* più convenienti.
- Regioni a bassa domanda iniziale mostrano **incrementi marcati**.

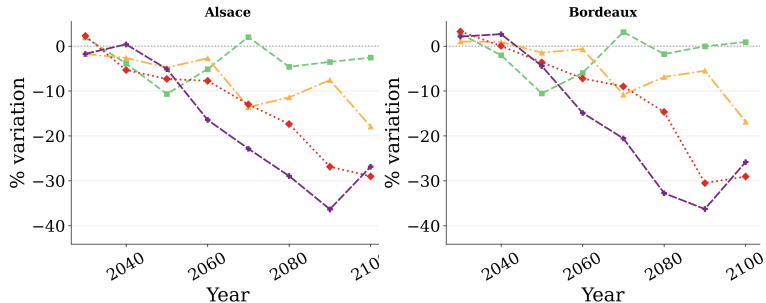
L'intensificarsi del segnale climatico sta già alterando l'equilibrio del mercato.

Proiezioni IPCC (Media UKESM1-0-LL e CNRM-CM6-1):

- **SSP1-2.6:** +1.5°C (Target di Parigi)
- **SSP2-4.5:** +2.7°C (Scenario Intermedio)
- **SSP3-7.0:** +3.6°C (Alte Emissioni)
- **SSP5-8.5:** +4.3°C al 2100 (Sviluppo basato sui fossili)



Le traiettorie sono fortemente **non lineari** e dipendenti dalla regione.



- Le regioni *fresche* inizialmente **beneficiano** di un riscaldamento moderato.
- Le regioni *calde* subiscono un **declino monotono** del VTSI.

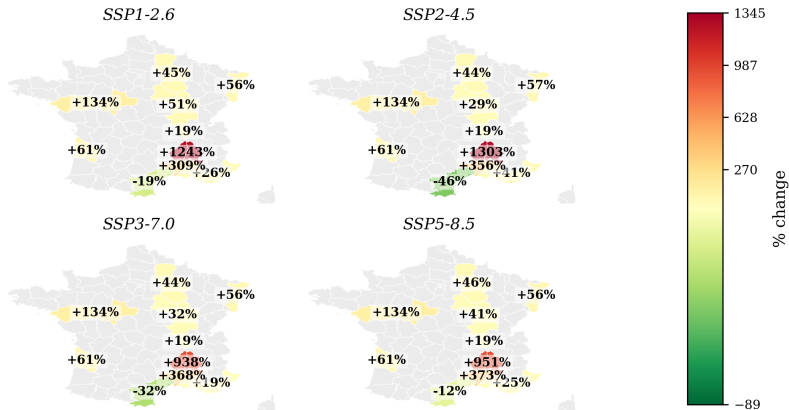
⇒ **La "frontiera dell'idoneità" vitivinicola migra verso Nord.**

Anno	SSP1-2.6		SSP2-4.5		SSP3-7.0		SSP5-8.5	
	α^N	π^N	α^N	π^N	α^N	π^N	α^N	π^N
2030	0.748	0.217	0.746	0.219	0.721	0.218	0.706	0.228
2040	0.763	0.183	0.763	0.200	0.738	0.220	0.754	0.208
2050	0.783	0.170	0.782	0.196	0.766	0.199	0.782	0.188
2060	0.782	0.180	0.794	0.179	0.798	0.197	0.796	0.188
2070	0.833	0.152	0.821	0.152	0.816	0.189	0.809	0.179
2080	0.851	0.148	0.840	0.136	0.819	0.191	0.791	0.165
2090	0.853	0.143	0.864	0.139	0.797	0.172	0.768	0.172
2100	0.865	0.126	0.854	0.160	0.814	0.149	0.791	0.202

- Quasi tutte le regioni mostrano una **crecente domanda assicurativa**, trainata dal rischio sistemico del clima.
- Le variazioni più ampie si verificano nelle regioni con **bassa copertura storica**.

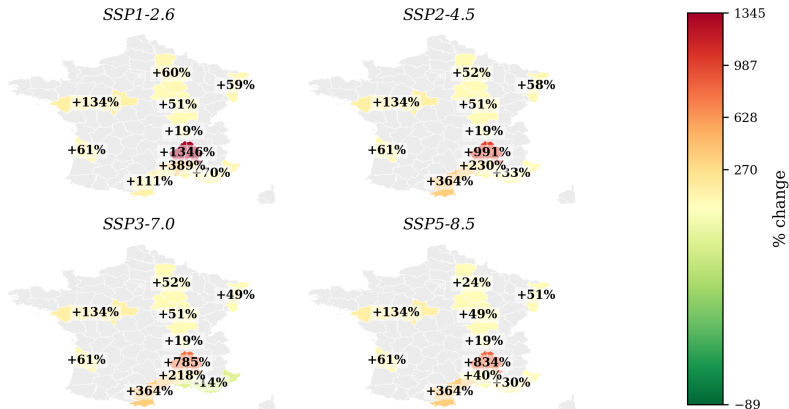
Il cambiamento climatico amplifica la componente *sistemica* della variabilità della resa rispetto a quella *idiosincronica*. Questo spinge la domanda anche in zone precedentemente non coperte.

Anno 2050:



Il cambiamento climatico amplifica la componente *sistemica* della variabilità della resa rispetto a quella *idiosincrica*. Questo spinge la domanda anche in zone precedentemente non coperte.

Anno 2100:



La relazione tra la severità dello scenario e l'aumento della copertura assicurativa è **non monotona** in diverse regioni.

Esempio: Valle del Rodano Sud

- L'aumento maggiore di α^N si ha sotto lo scenario mite **SSP1-2.6**, NON sotto il peggiore (SSP5-8.5).
- **Perché?** Il riscaldamento moderato migliora il VTSI (le temperature si avvicinano all'ottimo varietale).
- Il riscaldamento estremo, invece, spinge la pianta oltre l'ottimo, deprimendo la resa e generando **maggiore rischio di base**.

La divergenza tra scenari subisce una rapida accelerazione dopo la metà del secolo. La calibrazione storica è affidabile fino al 2040, ma diviene obsoleta post-2050.

Il Valore della Copertura (*Coverage Value*, $CV := \alpha^N \mu_\phi$) rappresenta il valore netto della protezione.

Regione	Stor.	2030				2050				2100			
		SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Alsace	0.334	0.113	0.087	0.114	0.088	0.079	0.072	0.080	0.079	0.043	0.061	0.140	0.123
Bordeaux	0.242	0.025	0.031	0.058	0.029	0.044	0.030	0.039	0.039	0.010	0.020	0.016	0.017
Champagne	0.712	0.471	0.484	0.485	0.551	0.404	0.417	0.417	0.393	0.160	0.310	0.312	0.602

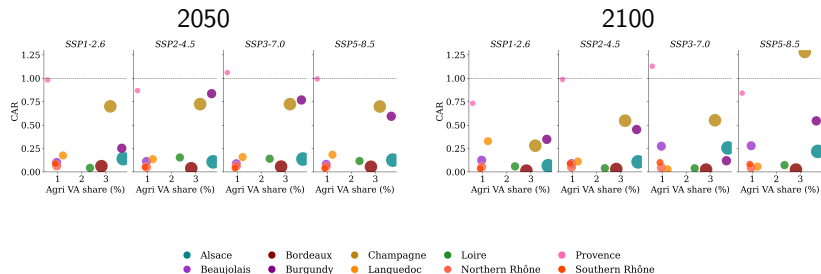
- Nelle regioni settentrionali (es. Champagne, Alsazia), il CV subisce variazioni negative enormi.
- **Crollo delle rese:** Negli scenari più avversi, il trigger atteso crolla, rendendo la polizza poco efficace dal punto di vista dell'indennizzo.

Quando il payoff atteso μ_ϕ tende a zero a causa del crollo delle rese, il **rischio di coda (VaR)** rimane elevato. Il Capital Adequacy Ratio ($CAR := \pi^N / \pi^{\min}$) misura se il mercato copre i requisiti Solvency.

Regione	Stor.	2030				2050				2100			
		SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Bordeaux	0.566	0.044	0.041	0.079	0.051	0.061	0.038	0.057	0.055	0.013	0.031	0.024	0.025
Burgundy	1.536	0.912	0.954	0.938	1.022	0.252	0.835	0.768	0.594	0.347	0.453	0.119	0.545
Champagne	2.000	0.837	0.861	0.967	0.949	0.700	0.723	0.723	0.698	0.280	0.547	0.551	1.281

Se $CAR < 1$, il caricamento di mercato π^N scende **sotto il minimo Solvency II**. Il clima colpisce due volte: (i) distrugge il raccolto, e (ii) **distrugge l'assicurabilità commerciale**.

La crisi di assicurabilità avrà effetti devastanti nelle regioni in cui il **Valore Aggiunto (VA)** agricolo sul PIL è molto elevato.



- **Quadrante in basso a destra:** Alto Valore Aggiunto + Assicurabilità compromessa \implies Rischio di **Stranded Assets** (es. Alsazia, Bordeaux, Loira). Capitale immobilizzato a forte rischio fallimento.
- **Quadrante in alto a sinistra:** Basso Valore Aggiunto + Forte assicurabilità (es. Provenza).









Conclusioni

In questo lavoro:

- 1 **Equilibrio chiuso:** Primo modello in forma chiusa per un mercato parametrico con rischio di base, vincoli finanziari endogeni e *smooth ambiguity aversion*.
- 2 **Valore dell'ambiguità:** L'avversione all'incertezza sul modello crea una dinamica di *pricing* unica, fondamentale in scenari climatici non stazionari.
- 3 **Integrazione Solvency II:** Il *pricing* regolamentare è stato unificato col *pricing* competitivo in un singolo framework.
- 4 **Redistribuzione del rischio:** In Francia la domanda si sposterà geograficamente a causa dell'interazione non lineare tra riscaldamento e ottimi varietali.
- 5 **La Crisi Sistemica:** Identificati forti *affordability gaps*. Senza robusti **Partenariati Pubblico-Privato**, il mercato assicurativo in molte regioni **collasserà** prima del 2100.

Nei prossimi lavori:

- **Estensione Dinamica:** Ricalibrazione intertemporale dell'indice man mano che si apprende il reale trend climatico.
- **Dinamica di Stackelberg:** Modello *Leader-Follower* dove l'assicuratore si impegna in anticipo su una politica tariffaria di lungo periodo.
- **Assicuratori Multipli:** Competizione oligopolistica e reale diversificazione di portafoglio multi-regionale.
- **Oltre l'Agricoltura:** Applicare il framework a energie rinnovabili, *Sovereign Catastrophe pools* e rischio di interruzione della *Supply Chain*.
- **Adattamento Varietale Endogeno:** Permettere all'agricoltore di cambiare vitigno nel lungo periodo in risposta al climate change.

-  Barnett, B.J., Mahul, O. (2007). Weather index insurance for agriculture in developing countries. *Am. J. Agric. Econ.*, 89(5).
-  Clarke, D.J. (2016). A theory of rational demand for index insurance. *Am. Econ. J.: Microeconomics*, 8(1).
-  Emms, P., Haberman, S. (2005). Pricing general insurance using optimal control theory. *ASTIN Bulletin*, 35(2).
-  Jones, G.V. (2005). Climate and terroir. *Fine Wine*, 28.
-  Klibanoff, P., Marinacci, M., Mukerji, S. (2005). A smooth model of decision making under ambiguity. *Econometrica*, 73(6).
-  Mahul, O. (2001). Optimal insurance against climatic experience. *Am. J. Agric. Econ.*, 83(3).
-  Myers, S.C., Read, J.A. (2001). Capital allocation for insurance companies. *J. Risk Insur.*, 68(4).
-  Pantelous, A.A., Passalidou, E. (2013). Optimal premium pricing in a competitive stochastic insurance market. *Insur.: Math. Econ.*, 53(3).

Grazie per l'attenzione!

email: immacolata.oliva@uniroma1.it