



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”**

---

Corso di Laurea Magistrale o Specialistica in Scienze Economiche e Finanziarie

Curriculum: scienze attuariali e assicurative

**Assicurazioni parametriche: un caso studio di una polizza agricola  
su indice di temperatura**

**Index-based insurance: a case study on agricultural policy based on  
temperature index**

Relatore: Chiar.ma  
Prof.ssa Francesca Mariani

Tesi di Laurea di:  
Giuseppe Cassiano

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>1- L'ASSICURAZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1 - SOLVENCY 2 .....	6
1.2 -ELEMENTI DEL PREMIO .....	11
1.3 - FONDAMENTI LOGICI DELLA TARIFFAZIONE .....	15
1.4 - BASI TEORICHE E CLAUSOLE CONTRATTUALI DEL RISARCIMENTO .....	18
1.5 - BASI TECNICHE DEL RAMO DANNI.....	21
1.6 - PREMIO DI TARIFFA .....	27
<b>2 - POLIZZE PARAMETRICHE .....</b>	<b>29</b>
2.1 - CARATTERISTICHE PRINCIPALI .....	30
2.2 - POLIZZE PARAMETRICHE AGRICOLE E METODOLOGIE .....	32
<b>3 - MODELLIZZAZIONE DI UNA COPERTURA SU INDICE DI TEMPERATURA.....</b>	<b>41</b>
3.1 - CARATTERISTICHE DEL CONTRATTO.....	44
3.2 - BURN ANALYSIS E INDEX MODELLING .....	47
3.3 - TEMPERATURE MODELLING .....	50
3.3.1 - Fase di stima dei parametri.....	52
3.3.2 - Tariffazione sulle traiettorie simulate della temperatura .....	62
<b>4 - INQUADRAMENTO NORMATIVO DELLE POLIZZE PARAMETRICHE .....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....</b>	<b>76</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>78</b>

## INTRODUZIONE

Fin dall'alba della civiltà, l'attività economica nel suo complesso, annoverata tra i molteplici atti relativi all'uomo, non può essere pensata come scorporata dal suo scenario imprescindibile rappresentato dall'ambiente naturale. Le attività umane sono state da sempre in connessione con i complessi sistemi della natura, e la stabilità delle prime non può prescindere gli stati di equilibrio dell'ecosistema.

L'incremento demografico e l'innovazione tecnologica, intese a livello globale come fisiologica conseguenza e stimolo al sempre crescente sviluppo economico della società, sono variabili che possono alterare lo stato d'essere della natura.

Negli ultimi decenni stiamo diventando sempre di più attori degli scenari previsti in passato ma di cui precedentemente eravamo solo probabili spettatori: le necessarie risposte industriali alla complessità dei crescenti fabbisogni globali sono fattori capaci di alterare, in periodi relativamente "brevi", i già mutevoli equilibri dei sistemi naturali. D'altronde le imprese e il mercato hanno dimostrato un interesse crescente nelle tematiche ambientali e negli strumenti ad esso connessi, diventando un tema fondamentale anche nel dibattito politico. Non a caso, si stima che le variabili ambientali siano capaci di influenza diretta o indiretta a livello globale su circa l'80% delle attività industriali e commerciali.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> A. Müller e M. Grandi, *Weather Derivatives. A Risk Management tool for weather-sensitive industries?*, in [www.riva-online.de](http://www.riva-online.de), Aprile 2000.

Le conseguenze maggiormente visibili del cambiamento climatico sono l'aumento della frequenza e dell'entità delle cosiddette "catastrofi naturali", le quali, perdendo la caratteristica di eventualità in favore della regolarità, richiedono risposte altrettanto sistematiche.

Talvolta le perdite economiche derivanti dal verificarsi di tali eventi possono avere un impatto capace di smorzare la vitalità economica di interi settori, mettendone a rischio la crescita e il benessere negli anni futuri. Soprattutto in un tessuto economico, come nel caso specifico dell'Italia, reso fragile dal punto di vista finanziario dalla presenza di una maggioranza di micro, piccole e medie imprese, il sistema assicurativo rappresenta una delle possibili soluzioni attuabili nel breve periodo per mitigare gli effetti negativi di tali eventi.

La diffusione di strumenti finanziari connessi a parametri naturali e il conseguente aumento di volume dei mercati regolamentati e non, legata anche all'innovazione tecnologica e digitale, apre nuovi possibili scenari per le aziende che desiderano una copertura contro la volatilità climatica e le possibili ricadute sugli utili ad essa associata.

In quest'ambito tematico si colloca il presente elaborato nel quale, attraverso il contenuto del primo capitolo, predispone una riesamina delle caratteristiche fondamentali delle assicurazioni mettendo in luce gli aspetti tecnici relativi al calcolo del premio e dei caricamenti.

Nel secondo capitolo è presentato un focus sulle coperture assicurative di tipo parametrico, esaminando in via generale la storia e lo sviluppo degli strumenti del settore, le caratteristiche e il loro funzionamento.

Nel terzo capitolo viene trattato un caso studio specifico relativo ad una copertura assicurativa parametrica basata su un indice di temperatura che usa dati meteo della provincia di Brescia. In particolare, vengono analizzati diversi approcci metodologici per quanto riguarda il calcolo del premio e relative valutazioni in caso di successive applicazioni.

Nel capitolo quattro si mettono in luce gli aspetti normativi delle coperture parametriche evidenziando gli strumenti giuridici che entrano in gioco, le possibili analogie e le criticità dei principi legali sottostanti e la relativa compatibilità con l'ordinamento italiano.

Infine, nell'ultimo capitolo, vengono espone le conclusioni finali e possibili prospettive future.

## 1- L'ASSICURAZIONE

Nel trattare le peculiarità tecniche del contratto assicurativo, presentate in seguito, risulta fondamentale delinearne le caratteristiche in via generale, esaminando prima i riferimenti normativi.

Citando l'art. 1882 c.c.: *“L'assicurazione è il contratto col quale l'assicuratore, verso il pagamento di un premio, si obbliga a rivalere l'assicurato, entro i limiti convenuti, del danno ad esso prodotto da un sinistro, ovvero a pagare un capitale o una rendita al verificarsi di un evento attinente alla vita umana.”* è possibile mettere in luce un elemento cardine di tale tipologia contrattuale: *l'alea*. Tale particolarità fa sì che lo schema del contratto di assicurazione diverga dal classico negozio giuridico, e ponendolo alla base della materia assicurativa ne diventa elemento fondante, addirittura capace di sancire la nullità del contratto stesso qualora venisse a mancare. Difatti, è l'incognita del verificarsi dell'evento avverso o sinistro a giustificare l'accordo tra le parti: l'oggetto del contratto non è la prestazione dell'assicuratore, che risulta quindi essere eventuale, bensì la volontà di trasferire il rischio del sinistro. La polizza assicurativa è definita dallo stesso Codice civile come contratto di tipo aleatorio, nel quale le parti definiscono i rispettivi obblighi e le conseguenze, in virtù del verificarsi di un evento futuro ed incerto. Il concetto di rischio, quindi, è sempre presente nel contratto assicurativo e determina la dimensione del premio richiesto dall'assicuratore per realizzare

l'eventuale copertura. La naturale fisiologia del negozio assicurativo comporta quindi, in linea generale, un rischio contrattuale ad esso associato più ampio, e deve essere compito dell'assicuratore ridurlo il più possibile.

## **1.1 - SOLVENCY 2**

La gestione del rischio è anche alla base della normativa in materia assicurativa entrata in vigore il 1° gennaio 2016 in Europa, e quindi in Italia, denominata Solvency II. Il fine ultimo del legislatore europeo è infatti fornire, tramite una regolamentazione prudenziale, strumenti efficaci alla corretta misurazione di ogni rischio rilevante per una compagnia, con l'obiettivo di determinare il livello di capitale necessario ad evitare che la stessa preservi la sua solvibilità, qualora si materializzasse quel rischio. Tale approccio *risk-based*, non nuovo al mondo della finanza e dell'economia, è già fortemente presente nella prassi aziendale ed è alla base dei principi contabili internazionali IFRS e IAS.

La struttura di vigilanza europea, con al vertice l'EIOPA (European Insurance and Occupational Pensions Authority) e ramificata nelle varie autorità di vigilanza

nazionali del settore<sup>2</sup>, ha una normativa fondata su tre “pilastri” (Figura 1).

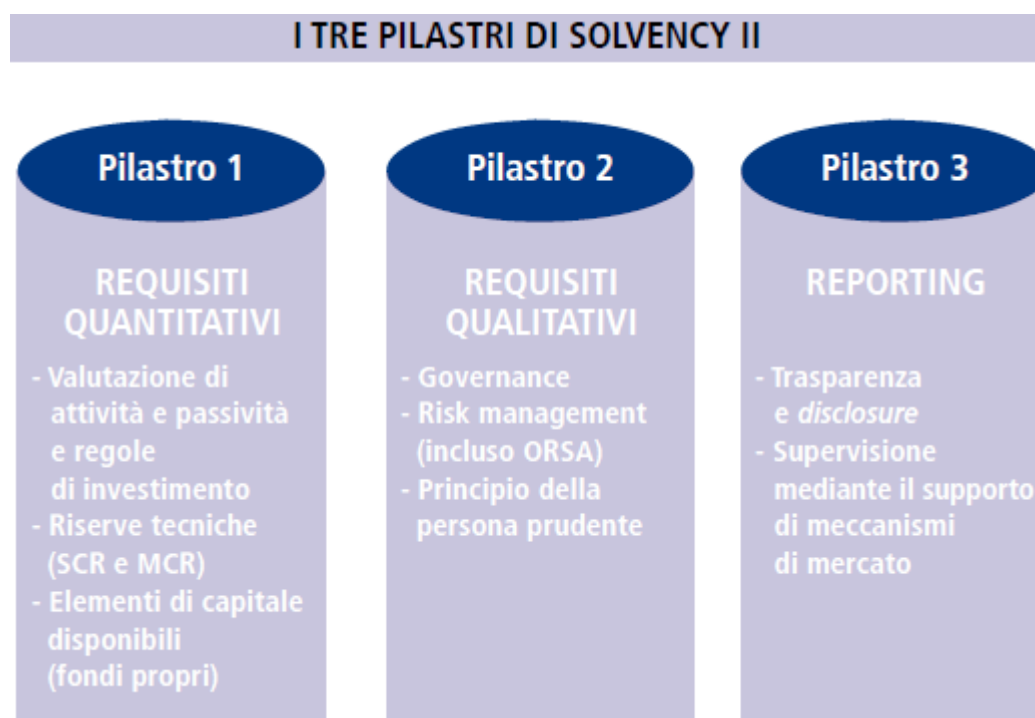


Figura 1. (Fonte: Ivass, Guida Solvency II)

Il primo rappresenta il cuore del sistema di vigilanza, delineando i requisiti quantitativi, che mirano a fornire una corretta valutazione delle attività e passività, una efficace veicolazione degli investimenti, in coerenza alla profittabilità e sostenibilità temporale dell’offerta assicurativa, nonché alla capacità di moderare l’insieme dei rischi tecnici e finanziari. Il secondo pilastro racchiude le norme di tipo qualitativo, mirate a formare dei sani e prudenti sistemi di governance aziendali, evidenziando i principi fondamentali di “buona gestione” fondati sulla

---

<sup>2</sup> In Italia, Ivass.



precisa separazione delle responsabilità degli organi societari al fine di un corretto bilanciamento dei poteri di gestione e controllo. Tali principi, già presenti nelle realtà societarie quotate, ma solo in forme di autoregolamentazione, assumono un carattere precettivo per le imprese assicurative. Infine, il terzo pilastro è formato da tutti gli obblighi di trasparenza informativa nei confronti degli *stakeholders* e dell’Autorità di vigilanza, ovviamente con un maggior grado di periodicità e livello di dettaglio, con la duplice finalità di supervisione e di tutela del cliente finale attraverso il controllo esterno e la comparabilità del mercato, ottenuto grazie alla standardizzazione dell’unità di misura del *reporting* dei diversi aspetti aziendali. I diversi prospetti informativi sono composti dai periodici obblighi classici di derivazione codicistica con standard progressivamente più stringenti in caso di quotazione in borsa di azioni o obbligazioni. Tra i prospetti è da evidenziare uno speciale rapporto sulla condizione finanziaria e di solvibilità: l’SFCR<sup>3</sup>; il quale, esplicitando i rischi aziendali e operativi, promuove una maggiore chiarezza e profondità comunicativa riguardo la consistenza dei valori contabili aziendali.

Le metodologie di valutazione delle riserve assicurative, le quali rappresentano le obbligazioni in capo alla compagnia nei confronti degli assicurati in virtù dei contratti stipulati, risultano essere di tipo *market consistent*. È lo stesso legislatore europeo a definire il valore delle riserve pari all’importo attuale che la compagnia

---

<sup>3</sup> Solvency and Financial Condition Report

dovrebbe sostenere nel caso di trasferimento immediato delle stesse obbligazioni in capo ad un'altra compagnia. L'accuratezza della stima è quindi fondamentale al fine del calcolo annuale dei requisiti di solvibilità patrimoniale (SCR e MCR<sup>4</sup>), che rappresenta l'obiettivo finale del primo pilastro di Solvency II.

La "Formula Standard" per la stima del SCR prevede un approccio di tipo modulare (Figura 2) per quantificare i requisiti di capitale prudenziale in relazione ai diversi rischi, ponderando le possibilità di accadimento attraverso serie storiche o simulazioni matematiche.

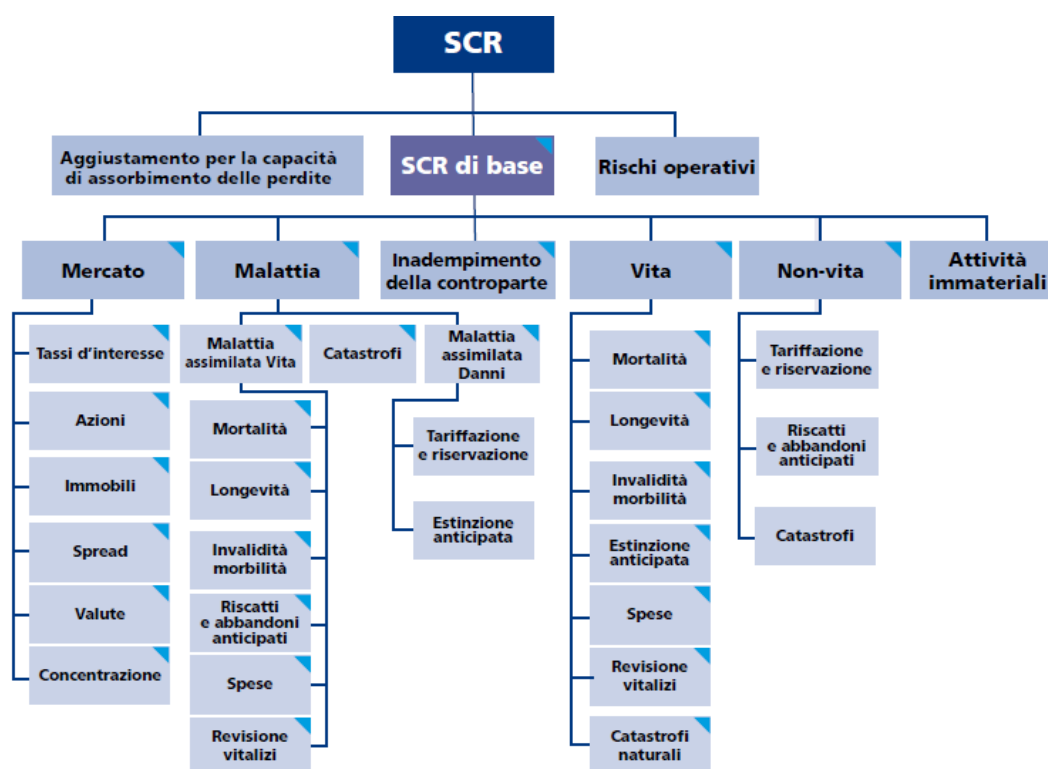


Figura 2. Albero dei rischi. (Fonte: Ivass, Guida Solvency 2).

<sup>4</sup> Solvency Capital Requirement e Minimum Capital Requirement

In base all'analisi della composizione patrimoniale, seguito da un censimento dei rischi tipici in cui l'azienda incorre, viene determinato il requisito di capitale per ogni sub-modulo di rischio sottoponendo a ciascun valore contabile in esame uno shock coerente, i quali parametri sono periodicamente revisionati dal legislatore in relazione all'andamento macroeconomico globale. L'SCR risultante è quindi il valore aggregato della differenza dei vari NAV (Net Asset Value)<sup>5</sup> sottoposti ai diversi scenari stressati, unitamente agli effetti stimati relativi ai rischi operativi e agli aggiustamenti sulla volatilità previsti dalla stessa normativa.

In alternativa alla “Formula Standard” fin qui descritta, previa specifica autorizzazione da parte dell'autorità di vigilanza, le compagnie assicurative possono seguire modelli interni di valutazione del rischio, o optare per una soluzione intermedia tra le due metodologie appena esposte, adottando propri parametri capaci di adattarsi meglio alle specifiche fattispecie di portafogli di rischi (così detti USP, Undertaking specific parameters) al fine del calcolo dei requisiti patrimoniali all'interno dei singoli sub-moduli. A copertura del SCR, la normativa indica in via preferenziale i fondi propri dell'azienda, includendo anche le passività subordinate<sup>6</sup> emesse dalla compagnia le quali per loro stessa caratteristica vengono assimilate al capitale proprio e, a certe condizioni, i profitti attesi sui premi futuri. In aggiunta a

---

<sup>5</sup> Ivass, *Guida Solvency II*, in [www.ivass.it](http://www.ivass.it), novembre 2016.

<sup>6</sup> “Le obbligazioni subordinate sono titoli in cui il pagamento delle cedole ed il rimborso del capitale, in caso di particolari difficoltà finanziarie dell'emittente, dipendono dalla soddisfazione degli altri creditori non subordinati (o subordinati di livello inferiore)”, *Consob*.

questi, ma soggetti a preventiva approvazione dell'organismo di vigilanza, possono essere inclusi fondi propri o accessori, quali: capitale sociale non versato e non richiamato, lettere di credito e altri impegni giuridicamente vincolanti.

L'MCR, calcolato ogni tre mesi e corrispondente al presidio minimo patrimoniale ai fini operativi, è previsto dalla normativa come una percentuale tra il 25% e il 45% dell'SCR e ne delinea inoltre il livello minimo assoluto (2,2 milioni per le imprese di assicurazione non vita; 3,2 milioni di euro per le imprese vita e di riassicurazione; la somma degli importi precedenti nel caso di esercizio sia nei rami danni che nei rami vita). Per la copertura dell'MCR sono ammessi solo i fondi propri, escludendo quelli accessori, dato il carattere di essenzialità concesso dal legislatore europeo per una sana continuità aziendale.

## **1.2 -ELEMENTI DEL PREMIO**

L'attenzione prudenziale posta dalla recente produzione normativa europea in tema assicurativo, nel paragrafo precedente sommariamente descritta, è conseguenza, oltre che dalla sua importante funzione sociale di mitigazione dei rischi personali e societari, anche dalle peculiarità che tale attività economica comporta. Riprendendo la definizione codicistica si evince che il contratto assicurativo è differente dal classico negozio giuridico sinallagmatico, in quanto caratterizzato dalla così detta "*inversione del ciclo produttivo*": il cliente-contraente deve onorare i suoi doveri

contrattuali, tramite il versamento del premio, prima del sinistro e quindi dell'eventuale diritto all'indennizzo, pena la sospensione della copertura assicurativa (art. 1901, comma 2 del Codice civile). Ciò comporta da parte della compagnia assicurativa, l'incameramento dei profitti in un tempo precedente ai costi ad essi associati, rendendo necessario, ai fini di una corretta gestione dei flussi finanziari, da un lato una vigile e prudente gestione patrimoniale, in termini di redditività, liquidabilità e sicurezza, delle riserve assicurative, dall'altro una corretta valutazione del premio in conformità del profilo di rischio ad esso associato.

Il *premio di tariffa o commerciale*, ovvero il premio finale richiesto dall'assicuratore ai suoi clienti per attivare la copertura, si compone di due elementi principali:

- il *premio puro*;
- il *caricamento per spese*.

La prima componente è l'importo richiesto all'assicurato per sopperire il trasferimento del rischio, il secondo rappresenta i costi sostenuti dalla compagnia assicurativa, i quali si possono suddividere in spese di acquisizione, amministrazione e liquidazione. Solitamente nelle coperture del ramo vita, caratterizzate da una durata contrattuale medio-lunga, il premio puro subisce un *caricamento di sicurezza implicito*, e il calcolo attuariale segue dalle basi tecniche demografiche prudenziali (*basi tecniche del I ordine*) diverse da quelle realistiche

(*basi tecniche del II ordine*). Tale azione prudentiale è finalizzata a proteggere l'equilibrio tecnico dell'operazione di copertura. Infatti, a causa della lunghezza contrattuale, quest'ultimo risente maggiormente l'influenza delle oscillazioni dei fattori demografici e finanziari, e la sua preservazione risulta fondamentale per garantire la solvibilità della compagnia nei confronti degli assicurati.

I contratti del ramo danni sono caratterizzati da una durata nettamente inferiore che rende poco influente la componente finanziaria e le relative oscillazioni dei valori associati. Di fatti nell'analisi statistica, relativa all'osservazione dei campioni dei rischi associati ai diversi portafogli in mano alle compagnie assicurative, essi assumono un peso maggiore. Le tecniche attuariali nel ramo danni, quindi, sono mirate a determinare due variabili aleatorie fondamentali:

- la *frequenza dei sinistri*, valor medio dei sinistri annuali relativi a una specifica classe di rischio;
- il *costo medio*, cioè il rapporto tra il costo complessivo relativo a ciascuna copertura assicurativa e il numero di sinistri pagati e riservati, relativi allo stesso periodo di competenza.

La loro stima, determinante per la formazione del premio commerciale offerto al mercato, solitamente segue dei modelli lineari generalizzati. La distribuzione del costo medio può essere stimata con una funzione Gamma o una Gaussiana inversa, mentre la frequenza dei sinistri solitamente è modellata attraverso delle distribuzioni di Poisson o Binomiale negativa.

Solitamente il valore del bene assicurato, formando la base valutativa dell'eventuale risarcimento, è strettamente connesso all'entità del premio richiesto dalla compagnia assicurativa. La *regola proporzionale* descritta dall'art 1907 c.c., essendo derogabile solo per espressa volontà contrattuale delle parti, risulta essere un principio essenziale nel processo di stima dei valori fondamentali. In presenza di assicurazione parziale, ovvero nei casi in cui il valore assicurato risulti minore del valore del bene (anche detto, valore assicurabile) al momento del sinistro, tale rapporto influenzerà proporzionalmente il valore del danno rimborsato. Una stima precisa e veritiera del bene è quindi fondamentale per evitare coperture inadeguate non desiderate, e per evitare inoltre situazioni di sovrassicurazione (art. 1908 c.c. comma 1), ovvero fattispecie in cui il valore assicurato risulta essere maggiore del valore assicurabile. Ad esempio, in presenza di dolo dell'assicurato, l'eventuale risarcimento risulterebbe essere una fonte di lucro illegittimo cadendo il principio indennitario e se l'assicuratore in buona fede, esclude inoltre la ripetizione dei premi (art 1909, comma 1 e 2 c.c.); invece se non c'è stato dolo, la normativa preserva la funzione indennitaria, riportando proporzionalmente la copertura nei limiti del valore assicurabile sia in relazione al risarcimento che ai premi futuri (art 1909 c.c., comma 3).

### 1.3 - FONDAMENTI LOGICI DELLA TARIFFAZIONE

Il fondamento logico del calcolo del premio assicurativo è il principio di equità. Si definisce *premio equo*, l'entità  $P_e$  commisurata al valore atteso del risarcimento  $X$  legato al sinistro e che rende nullo il guadagno atteso delle parti.

$$P_e = E(X)$$

Il *premio netto (o premio puro)*  $P$ , offerto all'assicurato, risulta essere l'equivalente certo del risarcimento aleatorio  $X$ , in quanto deve essere in grado di soddisfare la seguente disequazione:

$$E(u(P - X)) \geq u(0) = 0,$$

dove  $u$  rappresenta la funzione di utilità dell'assicuratore<sup>7</sup>. Logicamente, l'utilità attesa del guadagno aleatorio, derivante dalla stipula del contratto, non può essere inferiore all'utilità certa relativa alla situazione in cui la copertura non venga formata.

Nota la distribuzione di probabilità di  $X$ , è possibile determinare il premio  $P$ . Infatti, detta  $F(x)$ , la funzione di ripartizione della variabile aleatoria  $X$ , è possibile determinare il premio equo  $P_e$  come la speranza matematica del risarcimento:

$$P_e = E(X) = \int_0^{+\infty} x dF(x).$$

---

<sup>7</sup> Daboni L., *Lezioni di Tecnica Attuariale delle Assicurazioni contro i danni*, 1993.



Il calcolo del premio, dovendo inserire, non solo i costi futuri ma anche la remunerazione per il trasferimento del rischio, non può essere svolto esclusivamente in termini di equità. Tale compenso, definito *caricamento di sicurezza*, permette all'assicuratore di raggiungere l'equilibrio tecnico della gestione, garantendo la solvibilità della compagnia e la capacità di onorare gli impegni contrattuali nei confronti degli assicurati. Quindi come accennato precedentemente, il premio puro  $P$  assume una funzione diversa, legata al risarcimento aleatorio, a seconda del principio sottostante che definisce il caricamento di sicurezza. Tra i criteri di calcolo del premio puro  $P$  è possibile includere:

- criterio del valore atteso:

$$P = (1 + \alpha)E(X),$$

dove  $\alpha$  è un coefficiente adimensionale e maggiore di zero. La sua semplicità lo rende, da un lato molto diffuso nella pratica assicurativa, data la sua semplicità di utilizzo, dall'altro svantaggioso poiché non ben rappresentativo del rischio.

- criterio della varianza:

$$P = E(X) + \beta \cdot Var(X),$$

dove  $\beta$  è il reciproco di un importo ed è maggiore di zero. Il caricamento di sicurezza è proporzionale alla rischiosità del contratto, rappresentata dalla varianza della variabile legata al risarcimento aleatorio. Il seguente criterio

richiede un'ulteriore analisi di  $X$  e risulta maggiormente significativo nella rappresentazione del rischio nella fattispecie di distribuzioni simmetriche e con code "pesanti".

- criterio dello scarto quadratico medio:

$$P = E(X) + \gamma \cdot \sigma(X),$$

con  $\gamma$  adimensionale e maggiore di zero, e  $\sigma(X)$  pari alla deviazione standard di  $X$ . Poiché  $\sigma(X) = \sqrt{Var(X)}$ , il criterio per il calcolo del caricamento risulta essere molto simile al criterio precedente, differenziandosi principalmente per l'unità di misura dell'indice di dispersione, che in questo secondo caso è uguale a quello della variabile  $X$ .

- criterio dell'utilità attesa:

$$E(u(P - X)) = 0.$$

Definita la funzione di utilità  $u$ , il valore che rende nulla l'utilità attesa del guadagno aleatorio, è il premio puro  $P$ . In accordo a tale criterio di calcolo,  $P$  risulta essere l'equivalente certo della variabile  $X$ .

- criterio del percentile:

$$\Pr[X > P] = \varepsilon,$$

dove  $\varepsilon$ , compreso tra zero e uno, e convenientemente piccolo, rappresenta la probabilità che il singolo contratto subisca una perdita. Ai fini dell'utilizzo di questo principio di calcolo, risulta fondamentale determinare

la funzione di distribuzione di probabilità del risarcimento aleatorio. Se  $F$  è la funzione di ripartizione di  $X$ , si ha:

$$1 - F(X) = \varepsilon.$$

Si noti che la precedente equazione ha un'unica soluzione solo nel caso in cui la funzione di ripartizione risulti continua e monotona crescente in senso stretto.

#### **1.4 - BASI TEORICHE E CLAUSOLE CONTRATTUALI DEL RISARCIMENTO**

I fondamenti teorici, che andranno a formare le basi tecniche utili ai calcoli attuariali per la determinazione del premio, poggiano su due diversi pilastri, a seconda della macro-tipologia della copertura assicurativa.

Si parla di *teoria del rischio individuale*, solitamente per contratti appartenenti al ramo vita, quando la perdita aggregata del portafoglio della variabile aleatoria  $X$ , definita anche come il risarcimento globale a carico dell'assicuratore, segue il modello:

$$X = \sum_{i=1}^n Y_i,$$

dove  $n$  è il numero di rischi presenti nel portafoglio, mentre  $Y_i = \varphi(Z_i)$  è il risarcimento complessivo associato all' $i$ -esimo rischio  $Z_i$ , con la funzione  $\varphi$  dipendente dalle clausole contrattuali.

Nei contratti relativi al ramo danni, il modello della variabile aleatoria del risarcimento globale segue invece la *teoria del rischio collettivo*, definita dalla seguente equazione:

$$X = \sum_{i=1}^N Y_i.$$

In questo secondo caso, a differenza del precedente modello,  $N$  è una variabile aleatoria discreta, relativa al conteggio dei sinistri prodotti dal portafogli nel periodo di copertura, mentre  $Y_i = \varphi(Z_i)$  rappresenta il risarcimento associato all' $i$ -esimo danno  $Z_i$ , a prescindere da quale polizza è scaturito. Infatti, i calcoli attuariali ai fini del calcolo del premio nel ramo danni, considerano l'intero portafogli dei rischi, inteso come una entità collettiva, e non più le singole polizze individuali che lo compongono.

Ulteriore discriminante tra i due modelli è la variabilità della funzione risarcimento  $\varphi$ . Infatti, nel ramo vita la funzione  $\varphi$  è quasi sempre lineare, poiché l'eventuale rendita e/o capitale concordati a titolo di risarcimento al momento della stipula, viene influenzata quasi esclusivamente dalle tavole di probabilità (*basi tecniche demografiche* o *tavole di mortalità*) e dal tasso tecnico utilizzato per attualizzare i flussi finanziari. Al contrario, le polizze del ramo danni, presentano nella prassi una

funzione di risarcimento con diverse sfaccettature a seconda delle differenti previsioni contrattuali.

Le prestazioni dell'assicuratore vengono sempre previste con precisione da clausole negoziali che ne definiscono entità e limiti, principalmente classificabili in:

- ❖ *massimali*, ovvero limitazioni superiori al risarcimento

$$Y_i = \varphi(Z_i) = \min(m, Z_i).$$

- ❖ *franchigie*, ovvero limitazioni inferiori al risarcimento.

Fissata una soglia  $d$  (adeguatamente inferiore al valor medio del danno), si definisce:

- *franchigia relativa*, se:

$$Y_i = \varphi(Z_i) = \begin{cases} 0 & \text{per } Z_i \leq d \\ Z_i & \text{per } Z_i > d, \end{cases}$$

- *franchigia assoluta*, se:

$$Y_i = \varphi(Z_i) = \begin{cases} 0 & \text{per } Z_i \leq d \\ Z_i - d & \text{per } Z_i > d. \end{cases}$$

Il loro utilizzo permette di prevenire i sinistri la cui entità è inferiore ai costi di gestione, abbattendo naturalmente il premio, e disincentivare l'azzardo morale<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> "...si verifica dopo la stipula del contratto e contraddistingue le azioni intraprese dall'assicurato che portano a modificare la probabilità del rischio originariamente stimata dall'impresa assicurativa o l'entità del risarcimento - tal caso si riscontra nel comportamento di un agente assicurato che ottenuta l'assicurazione riduce la prudenza che avrebbe avuto nel caso in cui non fosse stato assicurato rendendo così l'evento assicurato più probabile e il risarcimento più elevato.", [www.bankpedia.org](http://www.bankpedia.org)

- ❖ *scoperti*, ovvero previsioni di partecipazione dell'assicurato al danno. Si ha uno scoperto, se fissata un'aliquota  $q \in (0,1)$ , il risarcimento è:

$$Y_i = (1 - q)Z_i.$$

In questa tipologia rientrano tutti i contratti che vogliono mantenere una percentuale del danno sempre esclusa dalla responsabilità dell'assicuratore.

### **1.5 - BASI TECNICHE DEL RAMO DANNI**

L'obiettivo ultimo, ai fini del calcolo del premio, è quella di individuare una funzione della distribuzione di probabilità di  $X$  che sia espressione della relazione tra le distribuzioni di probabilità del numero dei sinistri  $N$  e dell'entità del singolo risarcimento  $Y_i$ . L'analisi delle due variabili aleatorie  $N$  e  $Y_i$  permette di determinare la *base tecnica* del rischio.

Da sottolineare che, considerando i criteri di formazione del premio puro maggiormente usati nella prassi assicurativa, descritti nel paragrafo precedente, non occorre conoscere l'effettiva distribuzione della variabile  $X$  ma è sufficiente conoscerne i primi due momenti, i quali sono desumibili dai primi due momenti delle variabili  $N$  e  $Y_i$ .

Grazie alle ipotesi di indipendenza delle variabili  $X$  e  $N$  nel modello composto, è possibile dimostrare:

$$E(X|N = n) = E(\sum_{i=1}^N Y_i | N = n) = E(\sum_{i=1}^n (Y_i | N = n)) = E(\sum_{i=1}^n Y_i) = nE(Y).$$

Considerando l'intero dominio della variabile  $N$  e non solo la singola realizzazione  $n$ , inoltre si avrà  $E(X|N) = NE(Y)$ , e quindi; sfruttando la legge delle aspettative iterate e l'indipendenza tra  $N$  e  $Y$ , è possibile trovare il momento primo di  $X$ :

$$E(X) = E[E(X|N)] = E[NE(Y)] = E(N)E(Y).^9$$

Analogamente possiamo dedurre il secondo momento della variabile del modello composto come segue:

$$Var(X|N) = Var(\sum_{i=1}^N Y_i | N) = \sum_{i=1}^N Var(Y_i | N) = \sum_{i=1}^n Var(Y_i) = NVar(Y).$$

Applicando la legge della varianza totale quindi deduciamo il momento secondo:

$$Var(X) = E[Var(X|N)] + Var(E(X|N)) = E(N)Var(Y) + E(Y)^2Var(N).$$

Infine, applicando la legge della probabilità totale, è possibile dimostrare che una volta note le distribuzioni di probabilità delle variabili aleatorie  $N$  e del danno  $Z$  (e quindi anche  $Y$ ), sarà nota anche la distribuzione del risarcimento  $X$ :

$$\begin{aligned} P(X \leq x) &= P(\sum_{i=1}^N Y_i \leq x) = \sum_{k=0}^{+\infty} P(\sum_{i=0}^N Y_i \leq x | N = k) \cdot P(N = k) = \\ &= \sum_{k=0}^{+\infty} (P(\sum_{i=1}^N Y_i \leq x) \cdot p_k) = \sum_{k=0}^{+\infty} p_k \cdot P(\sum_{i=1}^k Y_i \leq x). \end{aligned}$$

Attraverso l'analisi statistica di una collettività di contratti, le variabili aleatorie relative al numero dei sinistri e al risarcimento ad essi associati possono essere

---

<sup>9</sup> Daboni, *Lezioni di tecnica attuariale delle assicurazioni contro i danni*, Cap.2

ricondotte a modelli noti, capaci di descrivere verosimilmente l'insieme di rischi "analoghi" osservati.

Avendo a disposizione un set informativo di rischi omogenei riconducibili a uno stesso periodo di copertura, solitamente annuale, è possibile determinare le grandezze identificative del portafoglio assicurativo. Il risarcimento medio per sinistro, detto anche *quota danni*, è ottenuto dal rapporto tra la sommatoria dei risarcimenti relativi agli  $n$  sinistri osservati e il conteggio degli  $r$  rischi presenti nel portafoglio:

$$Q = \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{r},$$

dove  $y_k$  è il risarcimento osservato associato al  $k$ -esimo danno.

La grandezza  $Q$  è un'approssimazione del premio equo osservato ex-post, ed è tanto più statisticamente significativa quanto più numeroso è il campione dei rischi omogenei presi in esame. Supponendo, infatti, di aver richiesto a ciascuno degli  $r$  contratti il premio  $Q$  si sarebbe raggiunto l'equilibrio attuariale;  $Q \cdot r =$  risarcimento totale osservato.

È possibile scomporre l'equazione precedente, dividendo numeratore e denominatore per il numero  $n$  dei sinistri e isolando le grandezze, in modo tale da ottenere:

$$Q = \frac{n}{r} \cdot \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{n} = \frac{n}{r} \cdot \bar{y} = f \cdot \bar{y},$$



dove  $f = \frac{n}{r}$  e  $\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{n}$ .

Nell'equazione precedente  $f$  è l'*indice di sinistrosità*, ovvero il numero medio di sinistri per rischio relativo al periodo di osservazione, mentre  $\bar{y}$  è il *costo medio osservato*. Da quest'ultima equazione è ricavabile  $Q \cdot r = n \cdot \bar{y}$ , riconducibile all'immagine statistica  $P_e = E(X) = E(N)E(Y)$ , dove  $Q \cdot r$  è la media campionaria di  $X$ , mentre  $n$  e  $\bar{y}$  sono, rispettivamente, la media campionaria di  $N$  e  $Y$ , le quali sono rappresentazioni delle stime consistenti e non distorte dei valori attesi delle rispettive variabili.

Solitamente  $f$  risulta essere inferiore ad uno, ma nella pratica  $f$  può assumere valori maggiori o uguale a uno se si è in presenza di un portafogli che include polizze capaci di produrre molteplici sinistri per unità di rischio nel periodo contrattuale considerato. È utile quindi definire anche l'*indice di ripetibilità*, decomponendo il numero di rischi  $r$ :

$$r = \sum_{j=0}^h r_j,$$

dove  $r_j$  è il numero di rischi riconducibile a  $j$  sinistri registrati, con  $j=0, 1, \dots, h$  e  $h \leq n$  è il numero massimo di sinistri prodotti dall' $j$ -esimo rischio. È possibile riscrivere il numero dei sinistri come:

$$n = \sum_{j=1}^h j \cdot r_j,$$

e definire nuovamente  $f$ , nel seguente modo:

$$f = \frac{\sum_{j=1}^h j \cdot r_j}{r - r_0} \cdot \frac{r - r_0}{\sum_{j=0}^h r_j} = \frac{n}{r - r_0} \cdot \frac{r - r_0}{r},$$

dove  $\frac{n}{r - r_0}$  è definito *indice di ripetibilità*, ovvero il numero dei sinistri per rischio sinistrato, mentre  $\frac{r - r_0}{r} = 1 - \frac{r_0}{r}$  è la frequenza di rischi sinistrati, ovvero il complemento a uno della frequenza dell'evento relativa all'assenza di sinistro.

Tuttavia, è da sottolineare, che nella realtà assicurativa, solitamente la compagnia ha a disposizione un portafoglio eterogeneo rispetto al valore assicurato. Alla luce delle diverse sfaccettature contrattuali relative alla funzione di risarcimento sopraelencate, si potrebbe verificare infatti che la variabile  $Y$  presenti una forte analogia sul profilo di rischio, ma una diversa esposizione monetaria non la renda più indipendente e identicamente distribuita. È opportuno allora misurare il volume del portafoglio non più secondo il numero di rischi, bensì in base all'unità monetaria.

Definendo  $w_1, w_2, \dots, w_r$  come i valori delle esposizioni monetari, ovvero le entità di valore di massimale relativo agli  $r$  contratti, assumiamo che  $\frac{Y_i}{w_i}$ , ovvero il risarcimento totale per unità di esposizione, siano identicamente distribuite per  $i = 1, 2, \dots, r$  e che inoltre  $E\left(\frac{Y_i}{w_i}\right) = m$ , risultando quindi  $E(Y_i) = m \cdot w_i$  per  $i = 1, 2, \dots, r$ . La costante  $m$  è definita *tasso teorico di premio*, ed è il premio equo per un rischio con esposizione monetaria unitaria.

Sia  $w = \sum_{i=1}^r w_i$ , è possibile ricavare il *tasso di premio*  $\tau$ , nel seguente modo:

$$\tau = \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{w} = \frac{n}{r} \cdot \frac{\bar{y}}{\bar{w}},$$

dove  $\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^r w_i}{r}$  è l'*esposizione media*.

L'immagine statistica di  $E(X) = E(N)E(Y)$  è riconducibile all'equazione  $\tau \cdot \bar{w} \cdot r = n \cdot \bar{y}$ , dove il valore atteso del risarcimento  $E(X) = m \cdot w \cdot r$  è stimato attraverso  $\tau \cdot \bar{w} \cdot r$ , mentre  $n$  e  $\bar{y}$  sono rispettivamente gli stimatori delle speranze matematiche delle variabili  $N$  e  $Y$ .

Ai fini del calcolo del premio puro, secondo i criteri della varianza e dello scarto quadratico medio, è necessario definire anche la stima del momento secondo della variabile aleatoria  $X$ . Supponendo di possedere un campione statistico di  $r$  rischi i quali hanno prodotto  $n$  sinistri con valori di risarcimento ad essi associati  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , lo stimatore della varianza di  $Y$  è:

$$Var(Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2,$$

e quello della varianza di  $N$ :

$$Var(N) = \frac{r}{r-1} \sum_{i=1}^r \left( n_i - \frac{n}{r} \right)^2,$$

dove  $n_i$  è il numero dei sinistri registrati dal  $i$ -esimo rischio.

Disponendo di un set informativo dei rischi connessi a  $j$  sinistri, è possibile riscrivere la formula precedente nel seguente modo:

$$Var(N) = r \cdot \sum_{j=0}^h \left(j - \frac{n}{r}\right)^2 \frac{r_j}{r} = \sum_{j=0}^h \left(j - \frac{n}{r}\right)^2 r_j,$$

dove  $r_j$  identifica il numero di rischi con un seguito di  $j$  sinistri, e  $h$  rappresenta il numero massimo di sinistri registrati da una copertura.

## 1.6 - PREMIO DI TARIFFA

Dopo aver svolto l'analisi statistica delle variabili aleatorie, relative al numero dei sinistri e ai risarcimenti ad essi associati dai vincoli contrattuali, si dispongono gli elementi necessari al calcolo del premio equo. Inoltre, una volta selezionato il caricamento di sicurezza che meglio soddisfa il necessario equilibrio tecnico dei flussi finanziari netti attuali, è possibile determinare il premio puro. Il premio di tariffa, ovvero quel valore richiesto al contraente della polizza, tuttavia deve incamerare anche i costi gravanti sulla compagnia. È possibile elencarli in tre classi di spesa principali:

- Acquisizione dei contratti; ovvero tutte le spese relative alla stipula del contratto ed accessorie all'attivazione della copertura, oppure le spese imputabili al primo anno di copertura (es. visite mediche o accertamenti, provvigioni di acquisto, spese di emissione della polizza, ecc.).

- Incasso premi; cioè i costi legati all'incasso della rata di premio, relativi alle provvigioni di incasso, ai diritti di quietanza e alla contabilizzazione degli incassi.
- Gestione amministrativa; comprendente i costi di amministrazione aziendale, non imputabili direttamente alla singola polizza ma ripartiti percentualmente sulla collettività contrattuale.

Le voci di costo sopraelencate sono direttamente commisurate al premio di tariffa tramite due coefficienti:  $\alpha$ , che tiene conto delle spese di acquisizione e incasso del premio, e  $\beta$  è la percentuale imputabile alla spesa di gestione. Questi due coefficienti ovviamente possono variare a seconda del ramo di rischio e dal volume del portafoglio, e inoltre subire modifiche legate alle oscillazioni del mercato. Mantenendo la simbologia precedente, con  $P$  che definisce il premio puro, il premio di tariffa  $P_T$  è soluzione della seguente equazione:

$$P_T = P + (\alpha + \beta)P_T.$$

Quindi

$$P_T = \frac{1}{1 - (\alpha + \beta)}P = P(1 + \gamma),$$

dove  $\gamma = \frac{(\alpha + \beta)}{1 - (\alpha + \beta)}$  rappresenta il caricamento per spese in termini percentuali da aggiungere al premio puro per formare il premio commerciale.

Qui si è assunto che il premio di tariffa venga versato in un'unica soluzione al momento della stipula. Tuttavia, questo raramente accade e spesso il contraente

decide di frazionare il premio in più rate. In quest'ultimo caso la rata  $P_T^k$ , dove  $k$  è il numero del periodo di frazionamento in rate, non è equivalente alla frazione  $\frac{1}{k}P_T$  risultando essere superiore a causa dell'aumento degli oneri amministrativi e della perdita di interessi. Anche nel caso di durata della copertura inferiore all'anno non sarà applicata una riduzione del premio proporzionale, dovuto al fatto che le spese di acquisizione e gestione non subiscono una riduzione proporzionale alla durata della polizza. Quindi il caricamento per spese risulta non essere una funzione lineare del tempo.

## **2 - POLIZZE PARAMETRICHE**

Le polizze parametriche, definite anche *index-based*, sono una tipologia di copertura che recentemente si sta diffondendo nel mercato assicurativo. L'aumento dell'imprevedibilità del clima, della frequenza e dell'intensità dei rischi legati agli eventi meteorologici estremi, ha creato una domanda crescente da parte del mercato di prodotti innovativi che possano fornire un'adeguata copertura. L'esigenza del mercato ha quindi reso un tema attuale l'utilizzo di contratti assicurativi sempre più sofisticati e capaci di mitigare questi nuovi rischi, misurabili attraverso lo sviluppo di modelli attuariali, elaborabili grazie alle potenzialità delle nuove tecnologiche.

## 2.1 - CARATTERISTICHE PRINCIPALI

Le prime coperture assicurative basate su degli indici hanno iniziato a diffondersi nei paesi in via di sviluppo nei primi anni '90, per sostenere l'economia dai danni provocati dagli eventi climatici estremi, e mitigare le conseguenze finanziarie dei rischi "catastrofici", come siccità, terremoti e tempeste di elevata intensità. Gli indici che parametrizzano tali forme assicurative sono frequentemente di tipo meteorologico, andando soprattutto a mitigare i rischi del settore agricolo. Tuttavia, le prime forme collegabili a tale strumento finanziario sono state distribuite nel mercato di fornitura di energia.

Nei contratti di tipo parametrico, l'elaborazione dell'indennizzo diverge dalla prassi assicurativa tradizionale, non essendo quantificato sulla base dell'effettivo danno subito dall'assicurato, ma per l'appunto, parametrizzato rispetto ad uno o più indici. Difatti il diritto al risarcimento da parte dell'assicurato è correlato allo scostamento di un predeterminato valore, in relazione ad un indice di riferimento, il cui comportamento è monitorato in via continuativa da un terzo soggetto (o più raramente dalla stessa compagnia assicurativa), definito "oracolo". Attraverso la registrazione e la comunicazione da parte dell'oracolo dei valori dell'indice è possibile determinare, quasi in tempo reale, sia il verificarsi del sinistro (evento *trigger*) sia l'ammontare del risarcimento.

In tali forme di copertura non è quindi necessaria una perizia sul campo per stabilire l'entità di danno effettivamente subito, e quindi l'eventuale diritto alla liquidazione,

poiché la perdita è stimata al momento della stipula sulla base di specifici parametri, i quali una volta concretizzati formano il presupposto di un danno presunto e contrattualmente stabilito dalle parti. La tempistica di liquidazione diventa inoltre notevolmente più breve e aderente alla validazione dei dati registrati dall'oracolo, non essendo prevista la fase peritale di valutazione del sinistro e le attività ad essa connesse. Conseguentemente le polizze parametriche sono in grado di ridurre molti costi amministrativi relativi alla gestione del sinistro (periti, avvocati o consulenti tecnici), con un effetto positivo sul premio commerciale. Inoltre, l'oggettività dei dati su cui si basa il valore d'indennizzo, garantita dall'indipendenza dell'attività di monitoraggio dell'indice del soggetto terzo, dovrebbe avere effetti positivi anche sul rischio di controversie legali, sia relative al valore del risarcimento e alla misura della copertura, e sia sull'eventualità di richieste risarcitorie fraudolente.

A livello globale, la principale applicazione di assicurazione legata ad indici meteorologici è finalizzata alla copertura di rischi del settore agricolo, un settore di rischi dove spesso le forme tradizionali di copertura (tipicamente a copertura "multirischio") godono di forti sussidi statali. Anche all'interno del nostro paese lo sviluppo delle polizze parametriche coinvolge soprattutto l'agricoltura e la copertura dei rischi catastrofali, ma data la flessibilità applicativa, nell'ultimo periodo ha incontrato un discreto sviluppo anche in settori di rischio diversi, quali:

- Interruzione di attività produttiva non causata da eventi catastrofici, ma derivata da eventi di minor portata (attacchi informatici o pandemie) anche



quando il danno non è direttamente imputabile alla perdita o danneggiamento di un bene;

- Copertura del rischio sismico;
- Copertura contro epizootie, ovvero contro il rischio di defezione del reddito a seguito della diffusione di malattie infettive che colpiscono sia i tradizionali capi di bestiame sia specifiche specie animali, quali api, o appartenenti al settore ittico.

Oltre i precedenti settori, tra i soggetti di eventuale copertura parametrica, è possibile elencare le attività turistiche e le attività ad esse correlate (trasporti aerei e marittimi, settore alberghiero e della ristorazione, ed altre attività connesse all'industria del tempo libero), ma anche quelle relative al comparto salute.

## **2.2 - POLIZZE PARAMETRICHE AGRICOLE E METODOLOGIE**

Le coperture assicurative di tipo parametrico nel settore agricolo trovano un fondamento legale sia nell'ordinamento europeo che in quello nazionale. Rinnovata anche nel recente piano strategico della Politica Agricola Comune 2023-2027, la capacità di sottoscrivere polizze parametriche era già considerata dall'art. 37 del Regolamento (UE) n. 1305/2013, rientrante nello schema normativo relativo agli strumenti di gestione del rischio della Politica Agricola Comune 2014-2020. Tale norma prevede l'inserimento, nell'insieme degli interventi a favore del settore

agricolo, di un contributo finanziario pubblico a sostegno dei versamenti sostenuti dagli agricoltori per assicurare il raccolto, il bestiame e le piante contro il rischio di subire perdite economiche a causa di situazioni meteorologiche sfavorevoli (gelo, tempesta, grandine, precipitazioni eccessive, siccità), di epizootie o fitopatie, di infestazioni di parassiti o a causa di un'emergenza ambientale, introducendo in maniera esplicita la possibilità della misurazione della perdita registrata tramite l'utilizzo sia di indici biologici (perdita quantitativa di biomassa) che meteorologici rilevati a livello locale, regionale o nazionale, comprendendo i dati relativi a precipitazioni e temperatura.

L'ordinamento italiano inserisce le polizze parametriche per la prima volta nel panorama assicurativo agricolo attraverso il Piano Assicurativo Agricolo 2017, il quale con il Decreto del Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali del 30 dicembre 2016, come integrato dal Decreto ministeriale 23 marzo 2017, le include, insieme alle polizze ricavo, tra le "polizze sperimentali", utilizzabili come copertura del difetto quantitativo o qualitativo della resa delle produzioni vegetali previste dallo stesso testo normativo e fruibili del contributo pubblico statale sul premio assicurativo versato dagli imprenditori agricoli.

Con il Decreto del 08 Febbraio 2023, il Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste, delineando il Piano di gestione dei rischi in agricoltura 2023, riprende le definizioni presenti nei precedenti testi normativi in materia, definendo le polizze parametriche (o *index-based*) come "contratti assicurativi che

coprono la perdita di produzione assicurata per danno di quantità e/o qualità a seguito di un andamento climatico avverso, identificato tramite uno scostamento positivo o negativo rispetto a un indice biologico e/o meteorologico. Il relativo danno sarà riconosciuto sulla base dell'effettivo scostamento rispetto al valore del suddetto indice.”

La scelta dell'indice nella costruzione di una copertura parametrica risulta quindi fondamentale. Nel settore agricolo, la relazione tra clima e resa produttiva è complessa e dipendente sia dalle peculiarità del territorio, tra le quali è possibile elencare l'altitudine, la pendenza, la qualità del terreno, la disponibilità di fonti idriche alternative, ma anche dalle caratteristiche specifiche della coltura esaminata e delle attività ausiliari ad essa collegate, come ad esempio l'utilizzo di concimi e pesticidi particolari. L'insieme delle variabili da prendere in esame, brevemente elencate in precedenza, concorrono alla formazione della principale critica posta alle coperture assicurative di tipo parametrico nel settore agricolo, ovvero alla formazione del rischio base (o *basis risk*<sup>10</sup>). In campo assicurativo, per *basis risk* s'intende una correlazione imperfetta tra la resa agricola e i valori dell'indice meteorologico, comportando una parziale discrepanza tra la stima economica del danno sofferto e l'entità della somma indennizzata dall'assicurazione a copertura del sinistro. Il processo di costruzione e della scelta dell'indice, sottostante la

---

<sup>10</sup> A. Leblois e Philippe Quirion, *Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges*, 2010.

polizza parametrica, risulta essere una materia multidisciplinare, presupponendo la necessità di competenze diverse, ed ha come obiettivo la minimizzazione del *basis risk* e cioè essere un buon predittore della resa, specialmente in situazioni sfavorevoli.

Le tipologie di coperture applicabili in campo agricolo, come precedentemente accennato, sono molteplici ed ovviamente in ogni tipologia di copertura sono presenti degli specifici indici e metodologie. Ad oggi, la maggior parte delle polizze parametriche nel settore agricolo sono costruite per mitigare i rischi legati alla siccità e alla carenza di precipitazioni. Dato il maggior sviluppo in materia, di seguito verranno esaminate alcune delle principali metodologie di costruzione degli indici riferibili a coperture contro il rischio di carenza idrica, al fine di analizzarne le caratteristiche e le eventuali criticità.

- *Indici di precipitazione base.*

L'accumulo di pioggia registrato durante la fase di crescita della coltura è il più elementare indicatore di disponibilità idrica. Ovviamente la carenza di acqua è da relazionare sia all'impatto sulla specifica coltura che sulla fase di crescita in esame. Il periodo di crescita è solitamente diviso in diverse fasi, e l'indennizzo viene pagato quando il deficit di precipitazione incorre in uno di questi sub-periodi o solo nella fase in cui la coltivazione è considerata maggiormente influenzata da stress idrici. Il quantitativo di precipitazione che attiva l'indennizzo (cosiddetto "*strike*"), ed anche la

somma indennizzata, saranno diverse a seconda del sub-periodo, in base alle conoscenze agro-meteorologiche. In accordo con la maggior parte degli schemi assicurativi analizzati dalla Banca Mondiale, non sono presi in considerazione nell'accumulo di pioggia i valori di precipitazione giornaliera molto bassi (tipicamente inferiori ad 1 mm giornaliero) o che superano determinati valori soglia (60 mm giornalieri). Infatti, i quantitativi molto bassi di pioggia, a causa dell'evaporazione, risultano essere effettivamente inutilizzabili dalla pianta, così come le quantità che eccedono determinate soglie, defluendo, perdono di utilità ai fini dello sviluppo della coltivazione.

Grazie alla facilità di analisi, gli indici di precipitazione basati sull'accumulo di pioggia sono le tipologie di indici utilizzati nelle prime forme di assicurazione parametrica del settore agricolo. Tra di esse è possibile citare il AWRI<sup>11</sup>, il quale stima la disponibilità idrica, simulando la riduzione dovuta al deflusso, all'infiltrazione e all'evapotraspirazione. La riduzione è rappresentata da una somma ponderata delle precipitazioni registrate nell'arco di un determinato periodo di tempo (solitamente dieci giorni) con fattori temporali decrescenti. Per garantire una miglior predicibilità della resa, sarebbe opportuno utilizzare la data (o la finestra

---

<sup>11</sup> “*Available Water Resource Index*”. Byun et al., 2002

temporale) effettiva di semina. Viceversa, impostando arbitrariamente il periodo di semina si potrebbe incorrere nell'aumento del *basis risk*, riducendo il beneficio dell'indice meteorologico.

- *Indici di stress idrico.*

Tale tipologia di indici è basata sull'idea che la resa è proporzionale al soddisfacimento dei bisogni idrici della coltura. Il WRSI (*Water Requirement Satisfaction Index*), sviluppato dalla FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), è l'indice di riferimento per gli indici di stress idrico. È definito dal rapporto tra l'evapotraspirazione effettiva (ETa) e l'evapotraspirazione potenziale (ETp). L'evapotraspirazione effettiva corrisponde a una stima della quantità d'acqua effettivamente evaporata dal terreno e dagli apparati fogliari delle piante, mentre l'evapotraspirazione potenziale corrisponde alla quantità d'acqua che sarebbe evaporata in caso di completo soddisfacimento del fabbisogno idrico della coltura. Poiché la sensibilità agli stress idrici è influenzata dalla fase di crescita della pianta, la maggior parte delle coperture parametrizzate con questo tipo di indice prende in considerazione differenti valori *trigger* di riferimento, in base alla fase fenologica. Ad esempio, per le arachidi e il mais i contratti si basano su tre fasi di crescita, mentre per il tabacco, il periodo di coltivazione viene suddiviso in 17 sub-periodi di 2 settimane. Il livello di pioggia registrato in ogni sub-periodo è

comparato con quello richiesto dalla coltivazione nella particolare fase di crescita e incluso nella somma ponderata al fine di calcolare il valore dell'indice corrispondente all'intero periodo di coltivazione.

- *Indice di siccità.*

Questo tipo di indici utilizza i dati di temperatura e di precipitazione per determinare l'aridità dell'aria e/o del suolo. Il *Selyaninov drought index* e il *PED index (Potential evapotranspiration deficit)* catturano solo l'aridità dell'aria e sono stati utilizzati da Breustedt *et al.* (2008) per strutturare uno schema assicurativo parametrico per il territorio del Kazakistan. Il principale vantaggio nel loro utilizzo è che, per calcolarlo, sono necessari solo i dati relativi alle precipitazioni e alla temperatura. A differenza del *Palmer Drought Severity Index (PDSI: Palmer, 1965)*, utilizzato per uno schema assicurativo in Marocco (Skees *et al.*, 2001), il cui calcolo necessita oltre che dei dati relativi alla temperatura e alle precipitazioni, anche delle informazioni relative alla latitudine e alla capacità di ritenzione del suolo, solitamente registrata con una frequenza di 10 giorni.

- *Dati di immagini satellitari.*

Attraverso le immagini acquisite dai satelliti è possibile sviluppare degli indici di vegetazione, come il *Leaf Area Index*, che mette in relazione la superficie fogliare con quella del suolo, o il *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Quest'ultimo stima la fotosintesi delle chiome

della vegetazione, calcolata come il rapporto tra la differenza delle lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino (NIR) e del rosso (RED), e la loro somma:  $NVDI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$ . Tuttavia, il NDVI riesce a percepire a malapena la differenza tra i pascoli e le superfici coltivate, ed inoltre il calcolo necessita di un periodo di ritardo a causa della possibile presenza di nuvole. Le caratteristiche, quindi, lo rendono più adatto a valutazioni relative alla biomassa, piuttosto che a quelle sulle rese, tantoché è frequentemente utilizzato per le stime di crisi alimentari su larga scala, per la gestione del bestiame, e per le previsioni sulla produzione foraggera. È stato utilizzato dall'Agriculture Financial Services Corporation (AFSC) in Alberta (Canada), Spagna e Messico per le assicurazioni sui pascoli e sulle colture foraggere (Hartell et al., 2006), ed in Mongolia dalla Banca Mondiale nel 2005 (Mahul and Skees, 2007) per il bestiame. Con lo sviluppo di nuove tecnologie nel prossimo futuro, si attendono miglioramenti per quanto riguarda la qualità delle immagini acquisite che potrebbero dare maggior spazio a queste tipologie di indici.

- *Modelli di simulazione colturali.*

I modelli di simulazione colturali stimano i processi fisiologici di sviluppo della coltivazione in base ai dati ambientali. Teoricamente, la precisione della stima della resa è relativamente alta, ma è necessario anche un elevato grado di precisione nei dati forniti come input, difficilmente reperibile per



l'analisi di vaste aree, soprattutto in paesi in via di sviluppo. Tra i diversi modelli, è possibile citare il DSSAT<sup>12</sup> utilizzato da Osgood *et al.* (2007) nei territori dell'Africa orientale e da Diaz Nieto *et al.* (2005) in Nicaragua. Come affermato anche dagli autori Osgood *et al.* (2007), l'utilizzo di modelli così sofisticati è reso complicato dall'elevato grado di sensibilità della calibrazione dei parametri. Tuttavia, il loro uso potrebbe avere uno sviluppo come funzione ausiliare ad altre metodologie, coprendone le eventuali mancanze, e in un probabile futuro, la registrazione di dati collezionati con un grado di precisione maggiore può essere incentivata dall'utilizzo crescente delle forme parametriche di assicurazione nel settore agricolo.

Il criterio principale per la comparazione di questi indici è la minimizzazione del *basis risk*, in particolare, per quei casi in cui gli agricoltori subiscono perdite senza ricevere un indennizzo. Per aumentare l'appetibilità di tali forme assicurative nel settore agricolo, risulta quindi fondamentale valutare la correlazione tra rese agricole e i valori dell'indice per livelli bassi di resa. Tuttavia, poiché la complessità dell'indice potrebbe essere deficitaria per la trasparenza e accettabilità della copertura parametrica, così come il reperimento e la disponibilità dei dati, è

---

<sup>12</sup> <https://dssat.net>

importante preservare un certo grado di semplicità dell'indice per garantire la chiarezza per il sottoscrittore della polizza.

Inoltre, a causa della complessità della relazione tra resa e fattori meteorologici, spesso le indennità e i parametri definiti contrattualmente non vengono stabiliti attraverso un formale processo di ottimizzazione matematica, ma vengono concordati attraverso l'ausilio di conoscenze specialistiche, simulazioni ed analisi di sensibilità. Tipicamente, il valore *strike* è definito in accordo con la supervisione di agronomi che verificano quando il livello diventa un fattore limitante per la resa agricola, mentre il massimo valore indennizzabile viene definito dal valore delle materie prime utilizzate (seminativi, pesticidi, fertilizzanti) o dal valore della coltivazione prodotta in un periodo regolare.

### **3 - MODELLIZZAZIONE DI UNA COPERTURA SU INDICE DI TEMPERATURA**

L'obiettivo di questo capitolo è analizzare l'andamento del prezzo di una polizza parametrica basata su un indice di temperatura. Saranno analizzati principalmente due differenti approcci metodologici, ovvero *l'historical burn analysis*<sup>13</sup> e un approccio basato sulla modellizzazione e simulazione della temperatura,

---

<sup>13</sup> Jewson e Brix, *Weather Derivative Valuation*, 2005.

denominato “*temperature modelling*”<sup>14</sup>. Tale tipologia di copertura assicurativa può avere una capacità applicativa che spazia tra diverse attività economiche, variando dai settori energetici alle attività agricole, ma può offrire anche una copertura contro le oscillazioni economiche derivanti dalla necessità di climatizzazione domestica o delle attività commerciali e aziendali. Nel procedere alla struttura dell’indice sottostante la polizza parametrica, si è considerata la finalizzazione di una copertura agricola nella provincia di Brescia, contro le temperature insolitamente alte che potrebbero intercorrere in una particolare fase di crescita del frumento.

L’attivazione della copertura è quindi subordinata al superamento della soglia di temperatura predeterminata e il risarcimento aleatorio è calcolato sulla base delle temperature che superano tale limite. La costruzione del contratto prevede la definizione del valore assicurato, il quale può variare dal valore stimato dei costi operativi totali o parziali a una stima del mancato profitto legato a una defezione quantitativa o qualitativa della resa correlabile al rischio assicurato. Tale valore negoziato dalle parti definisce l’entità del risarcimento in accordo al valore dell’indice di tipo CDD<sup>15</sup>, nel seguente modo:

$$X(\tau_1, \tau_2) = k \times \sum_{s=\tau_1}^{\tau_2} \max(T(s) - c, 0),$$

---

<sup>14</sup> Benth e Taib, *Pricing of temperature index insurance*, 2012.

<sup>15</sup> “Cooling-degree day”. Benth e Taib, *Pricing of temperature index insurance*, 2012.

dove  $k$  e  $c$  sono due costanti positive, riferite rispettivamente al fattore di conversione monetario e alla soglia di temperatura critica, mentre  $\tau_1$  e  $\tau_2$  definiscono l'intervallo di tempo in cui la temperatura massima  $T(s)$  è registrata, ovvero il periodo di copertura. Il premio, seguendo l'approccio standard della tariffazione delle polizze danni, è calcolato come il valore scontato, a un tasso d'interesse composto continuo giornaliero pari a  $r$ , del valore atteso del risarcimento aleatorio nell'intervallo di tempo  $(\tau_1, \tau_2)$ .

$$P(t, \tau_1, \tau_2) = \exp(-r(\tau_2 - t)) E(X(\tau_1, \tau_2)|F_t).$$

Nel seguito verrà considerato un tasso d'interesse composto continuo annuo pari al 2%, con un conseguente valore di  $r$  pari a 0,00005425. La filtrazione generata da  $F_t$  comprende tutte le informazioni disponibili derivanti dal mercato al tempo  $t$  (con  $t < \tau_1$ ) prese in considerazione dalla compagnia assicurativa in fase di tariffazione. Lo studio è concentrato su due diversi approcci di tariffazione. Il primo, definito anche come *burn analysis*, è il metodo classico di valutazione dei derivati meteorologici, che presenta diversi aspetti tecnici in comune a tale tipologia di copertura assicurativa. Il burn analysis prevede lo studio empirico del risarcimento  $X(\tau_1, \tau_2)$  all'interno del campione di dati registrati. Il prezzo è così calcolato come il valore medio delle osservazioni. Tale approccio risulta strettamente connesso ad un'altra metodologia di calcolo ovvero la *modellizzazione dell'indice*, presa in considerazione solo marginalmente nel presente studio, data la quasi totale aderenza con i risultati ottenuti dal primo metodo. Infine, verrà proposto un approccio basato

sulla modellizzazione delle dinamiche giornaliere relative all'evoluzione della temperatura. Tale metodologia, in seguito chiamata *modellizzazione della temperatura*, consiste nel calcolo del premio come valore medio di  $G$  risarcimenti simulati derivanti dall'iterazione della previsione della temperatura giornaliera scaturita dal modello precedentemente costruito sui dati meteorologici storici.

### **3.1 - CARATTERISTICHE DEL CONTRATTO**

Ai fini comparativi dei diversi metodi di calcolo del premio, si è ritenuto utile considerare un esempio realistico di polizza e, come in precedenza accennato, la scelta è ricaduta su una copertura assicurativa agricola relativa al frumento duro nella provincia di Brescia. Per entrambi gli approcci metodologici, verrà preso in analisi l'indice CDD precedentemente descritto.

Allo scopo di condurre un'analisi empirica relativa alla valutazione dei metodi di tariffazione, è necessario quindi determinare un valore soglia della temperatura e periodo di copertura indicativo. Partendo dalle conclusioni presenti in "M. Tappi, G. Nardone, F.G. Santeramo (2022). *On the relationships among durum wheat yields and weather conditions. Bio-based and Applied Economics 11*" si è scelto come periodo di copertura la fase fenologica della fioritura, la quale, come anche in altre diverse specie ortofrutticole, risulta particolarmente suscettibile a temperature massime oltre i 31°C, con conseguenti perdite di resa sia quantitativa

che qualitativa del prodotto finale. È stato selezionato quindi il lasso temporale relativo al periodo 20 giugno-10 luglio, riferibile alla fase fenologica nella zona di analisi. Un ulteriore elemento da prefissare è il fattore di conversione monetario, che, data la variabilità della stima del valore da assicurare relativa alle possibili sfaccettature contrattuali, è stato deciso di porre uguale ad uno in maniera simbolica. Si ritiene che tale scelta non influisca sulla valutazione dei diversi metodi di tariffazione e ne potrebbe facilitare la comparazione.

I dati meteorologici utilizzati relativi alla temperatura massima, registrata in gradi Celsius, sono stati ottenuti dall'elaborazione dei dati provenienti da sei diverse stazioni meteo appartenenti all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della regione Lombardia<sup>16</sup>. Tutte le stazioni sono locate nella provincia di Brescia: Brescia-Itas Pastori, Brescia-v.Ziziola, Corzano Bargnano, Edolo Ist.Meneghini, Gambara, Treviso Bresciano.

Sono stati eliminati dati mancanti e outliers inverosimili. È stata calcolata la media giornaliera tra le sei stazioni meteo e predisposta un'interpolazione lineare per raggiungere la continuità della serie. I valori mancanti finali, relativi ai giorni in cui nessuna delle sei stazioni meteo prese in considerazione tra il 01/01/1995 e il 31/12/2022 ha registrato valori validi, sono 67 (0,65% del campione). A scopo

---

<sup>16</sup> <https://www.arpalombardia.it>

illustrativo, viene di seguito mostrata la serie storica delle temperature massime registrate negli ultimi dieci anni:

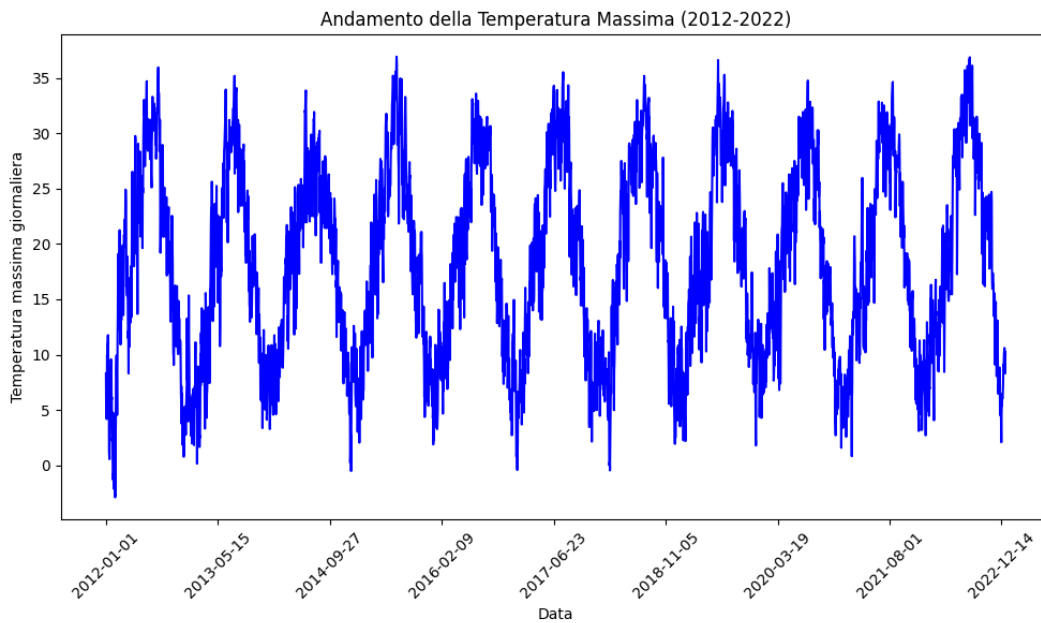


Figura 3. Serie storica delle temperature massime nella provincia di Brescia. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Da notare che la più bassa e la più alta delle osservazioni hanno registrato rispettivamente  $-3,2^{\circ}\text{C}$  e  $37,2^{\circ}\text{C}$ , con un valor medio di  $18,1^{\circ}\text{C}$ . I dati, quindi, presentano una variazione non indifferente. La distribuzione presenta un coefficiente di skewness di  $-0,046$ , indicando una leggera asimmetria verso la coda di sinistra, e un coefficiente di curtosi di  $-1,11$ , quindi un picco intorno al valor medio più "piatto" e code più "spesse" rispetto a una distribuzione normale.

### 3.2 - BURN ANALYSIS E INDEX MODELLING

L'approccio del Burn Analysis è una metodologia molto semplice, tradizionalmente usata nella valutazione del prezzo dei contratti derivati meteorologici. In pratica risulta essere il calcolo del valore medio dei valori osservati relativi all'indice  $X(\tau_1, \tau_2)$ , che nella nostra struttura contrattuale, ricordiamo corrispondere al risarcimento. In base al campione di dati osservati è calcolato il premio, attualizzando al tempo  $t$  il valore atteso del risarcimento, tramite un tasso di sconto pari a  $\exp(-r(\tau_2 - t))$ . Quando  $t \rightarrow \tau_1$ , il premio converge al valore atteso del risarcimento attualizzato al momento dell'inizio della copertura assicurativa.

Inoltre, disponendo di un campione di osservazioni dell'indice  $X(\tau_1, \tau_2)$ , è possibile determinare una distribuzione che modelli statisticamente l'entità del sinistro: tale approccio prende il nome di *index modelling*<sup>17</sup>. Una volta selezionata la distribuzione e adattata alla serie storica, verrà calcolato la media per trovare il valore atteso dei risarcimenti  $X(\tau_1, \tau_2)$ . Il principale vantaggio dell'*index modelling* è la capacità di analisi statistica di valori non presenti nel campione di dati storici, e in particolar modo nell'assegnare un valore di probabilità al verificarsi di eventi estremi attraverso la stima dei quantili.

L'analisi visiva dell'istogramma dei risarcimenti suggerisce di modellare la distribuzione di probabilità con una distribuzione esponenziale di parametro  $\mu$ :

---

<sup>17</sup> A. Leblois e Philippe Quirion, *Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenge*, 2010.



$$f_{exp}(x; \mu) = \frac{1}{\mu} \exp\left(\frac{-x}{\mu}\right), x > 0.$$

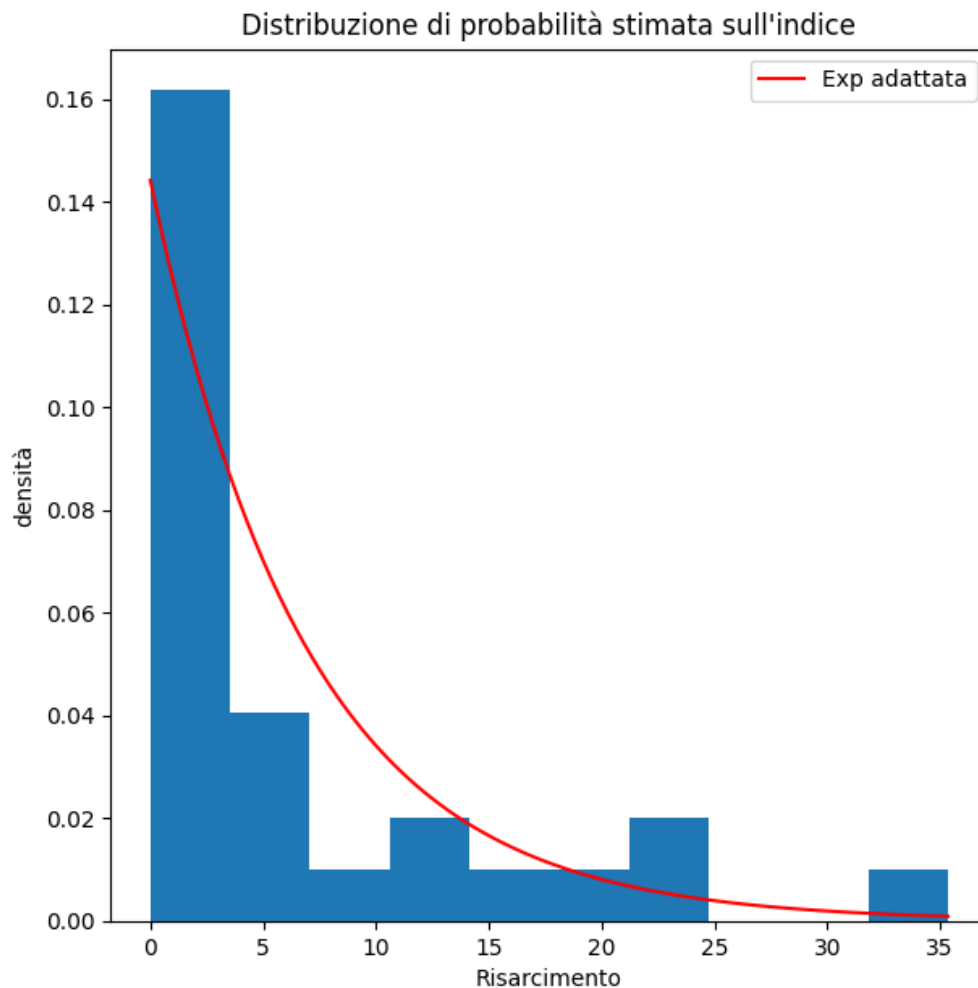


Figura 4. Istogramma dei risarcimenti e distribuzione esponenziale adattata. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Con il metodo della massima verosimiglianza si trova la stima del parametro,  $\mu=6,94$ , che, nel caso della distribuzione esponenziale, coincide con la media. L'intervallo della stima del parametro  $\mu$ , con una confidenza al 95%, è  $[4,37; 9,50]$ .

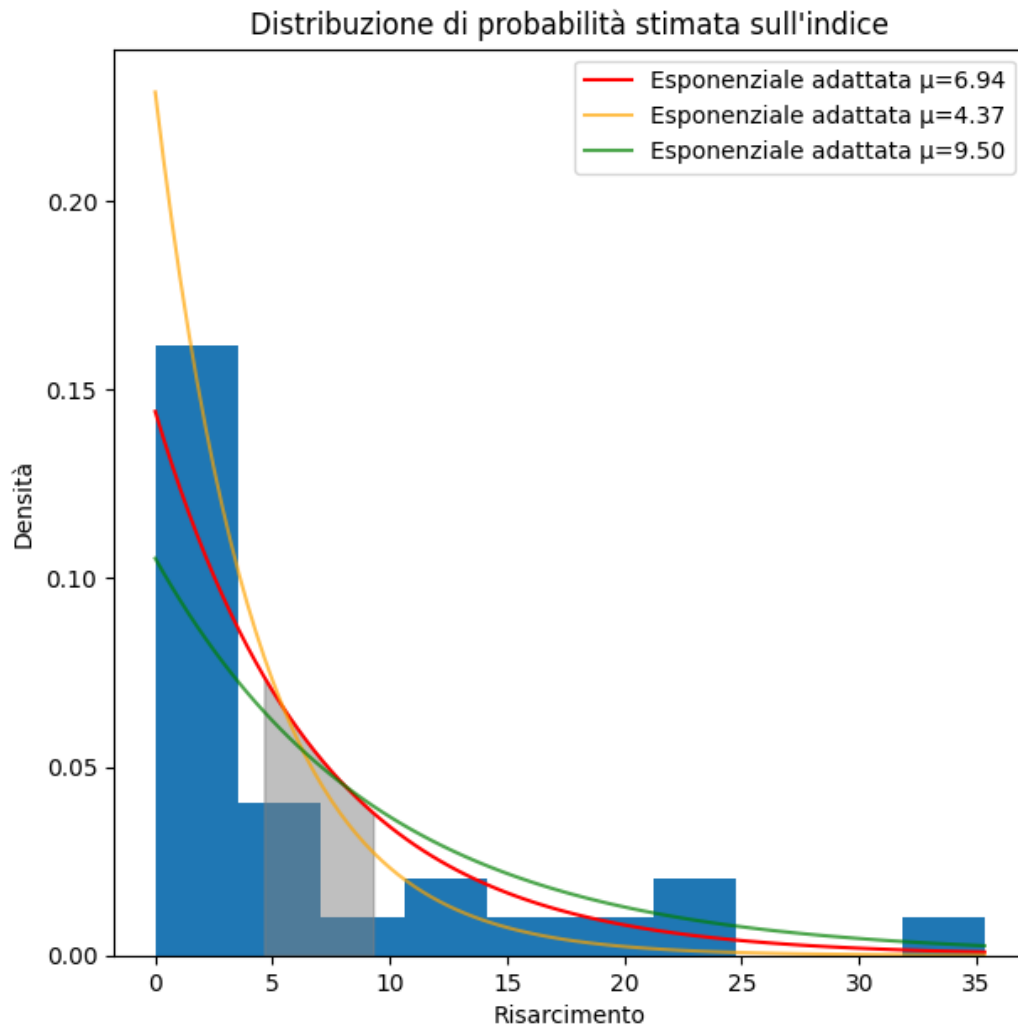


Figura 5. Istogramma dei risarcimenti, distribuzione esponenziale adattata con diversi parametri  $\mu$  e relativo intervallo al 95% di confidenza di  $\mu$ . (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

L'ampiezza dell'intervallo è sintomo dell'incertezza statistica di questo tipo di approccio, dovuta alla ristrettezza dell'ampiezza del campione dei dati. Da notare che la stima dell'approccio burn analysis ovviamente converge allo stesso risultato, dato che la stima di massima verosimiglianza si basa sulla media dello stesso

campione di dati osservati, e quindi è caratterizzata dallo stesso livello d'incertezza. Questo comporta un caricamento di sicurezza sul premio non indifferente poiché l'entità dell'incertezza della stima ne è la principale base valutativa. Da notare inoltre che in entrambe le metodologie la temperatura registrata fino al tempo  $t$ , rappresentata dalla filtrazione  $F_t$ , non influisce in nessun modo sul calcolo del premio. Entrambi gli approcci, quindi, non sono modelli dinamici dell'indice, risultando in fase di tariffazione essere dei semplici valori attesi piuttosto dei valori attesi condizionati.

### 3.3 - TEMPERATURE MODELLING

L'approccio temperature modelling modella le dinamiche temporali dell'evoluzione della temperatura. A differenza del metodo burn e dell'index modelling, dove il calcolo del premio è basato su dati annuali, nel metodo temperature modelling si utilizzano i dati giornalieri del campione a disposizione.

In tale approccio si suppone che la temperatura al tempo  $t$ ,  $T(t)$ , con  $t \geq 0$ , sia data da:

$$T(t) = S(t) + Y(t),$$

dove  $S(t)$  è una funzione determinista della media stagionale e

$$Y(t) = \sum_{i=1}^p b_i Y(t-i) + \varepsilon(t),$$

dove  $\varepsilon(t)$  rappresenta il rumore al tempo  $t$ . I rumori relativi a tempi diversi sono assunti indipendente e identicamente distribuiti come una normale standard. Il processo  $Y(t)$  è un processo auto regressivo di ordine  $p$  (AR( $p$ )), che modella le fluttuazioni casuali intorno la media stagionale, ovvero le dinamiche della temperatura destagionalizzata,  $T(t)-S(t)$ .

La funzione della media stagionale  $S(t)$ , è espressa come segue:

$$S(t) = a_0 + a_1 t + a_2 \text{sen}\left(\frac{2\pi(t-a_3)}{365}\right).$$

Le costanti  $a_0$  e  $a_1$  descrivono il livello medio della temperatura e la pendenza del trend lineare, mentre  $a_2$  è la costante relativa all'ampiezza della media e  $a_3$  stima l'angolo di fase. Attraverso le dinamiche della temperatura appena descritte è possibile simulare un valore dell'indice e quindi del risarcimento  $X(\tau_1, \tau_2)$ , creando un modello flessibile di tariffazione, che tenga conto, inoltre, delle informazioni relative alla temperatura corrente fino al tempo  $t$ .

Al fine di stimare i parametri del modello è necessaria una procedura graduale, dove vengono stimate prima le componenti di tendenza e stagionali in  $S(t)$ , successivamente il miglior modello AR( $p$ ) che si adatta ai valori destagionalizzati della temperatura.

Il processo di stima è condotto predisponendo una finestra mobile con quattro diverse ampiezze temporali  $D$  (5, 10, 15 e 20 anni). Ipotizzando di voler stipulare il contratto di assicurazione annualmente e 30 giorni prima del periodo di copertura,

si procede alla stima dei parametri prendendo in considerazione i dati campionari giornalieri registrati nei  $D$  anni precedenti. Dopo aver estratto le costanti e costruito il modello, attraverso il metodo Monte Carlo, è simulato un numero  $G$  (5000, 10000, 15000, 50000) di percorsi della temperatura massima nel periodo di copertura scelto  $(\tau_1, \tau_2)$ .

Questo ci permetterà di avere un  $G$  numero di valori simulati del valore di risarcimento  $X(\tau_1, \tau_2)$ , e ottenere per ogni anno, una stima del premio  $P(t, \tau_1, \tau_2)$  dopo aver opportunamente scontato il valor medio delle  $G$  realizzazioni di  $X(\tau_1, \tau_2)$ . Disponendo dei dati meteo reali, e quindi delle osservazioni storiche annuali del risarcimento  $X(\tau_1, \tau_2)$ , si potrà valutare la bontà del processo di tariffazione, attraverso il confronto con l'approccio burn analysis, sia per quanto riguarda l'aumento dell'ampiezza dei dati campionari, ovvero  $D$ , sia in relazione all'iterazione della simulazione, ovvero  $G$ .

### **3.3.1 - Fase di stima dei parametri**

Il processo di stima dei parametri è stato svolto tramite applicativi in codice Python in ambiente di lavoro Colab<sup>18</sup>, mentre le tabelle sono state prodotte con l'ausilio del software Excel. A fini illustrativi, è di seguito riportato il processo di stima dei parametri del modello con parametro  $D$ , relativo alla finestra mobile, pari a 15 e 10 anni, e tariffazione del premio, derivata dalla simulazione di  $G=10000$  percorsi di

---

<sup>18</sup> <https://colab.research.google.com>

temperatura. La stima è calcolata prendendo in considerazione come ultimo giorno “utile”, il trentesimo giorno antecedente all’inizio della copertura, quindi il 20 maggio di ogni anno, presupponendo un tempo “tecnico” di 30 giorni necessario per l’iter di stipula contrattuale e la validazione dei dati meteorologici.

Innanzitutto, vengono stimati i parametri della funzione di media stagionale  $S(t)$ , tramite il metodo dei minimi quadrati<sup>19</sup>. Dopo aver isolato la componente  $Y(t)$  detrendizzata e destagionalizzata, sottraendo il valore stimato di  $S(t)$  al valore di

---

<sup>19</sup> Benth e Taib, *Pricing of temperature index insurance*, 2012.

temperatura osservato, è stimato il parametro relativo la componente autoregressiva del modello.

Seguono i grafici dell'analisi rispettivamente con anno di riferimento 2010 e valore  $D$  relativo alla finestra mobile pari a 15 anni e, con anno di riferimento 2020 e un valore  $D$  pari a 10 anni.

### Funzione stagionale stimata 2010; finestra mobile 15 anni

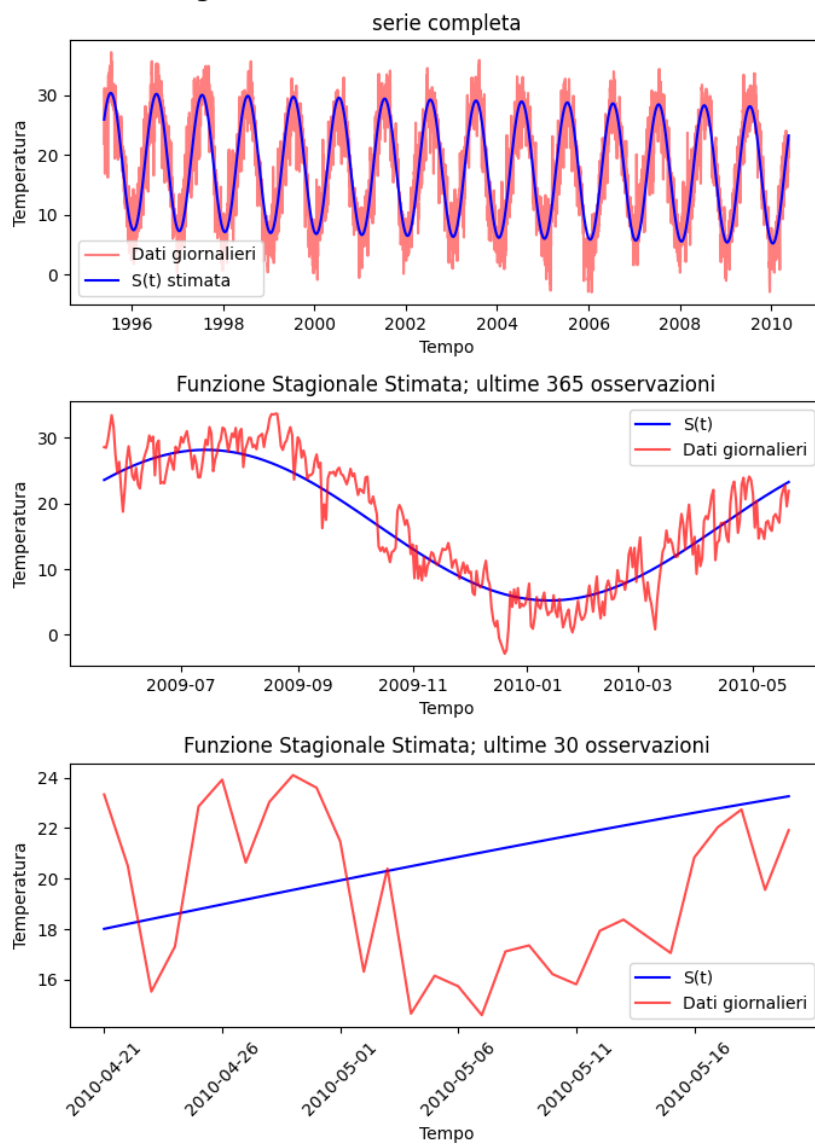
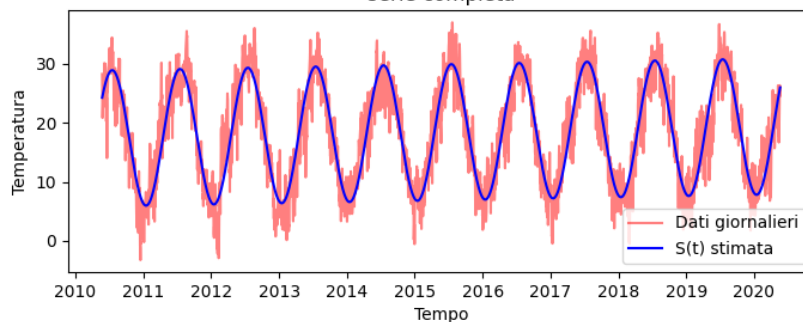


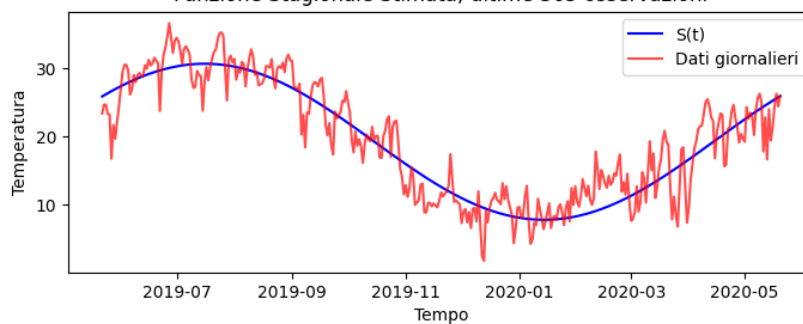
Figura 6. Funzione stagionale stimata con anno di riferimento 2010 e la finestra mobile di analisi con  $D=15$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).



Funzione stagionale stimata 2020; finestra mobile 10 anni  
serie completa



Funzione Stagionale Stimata; ultime 365 osservazioni



Funzione Stagionale Stimata; ultime 30 osservazioni

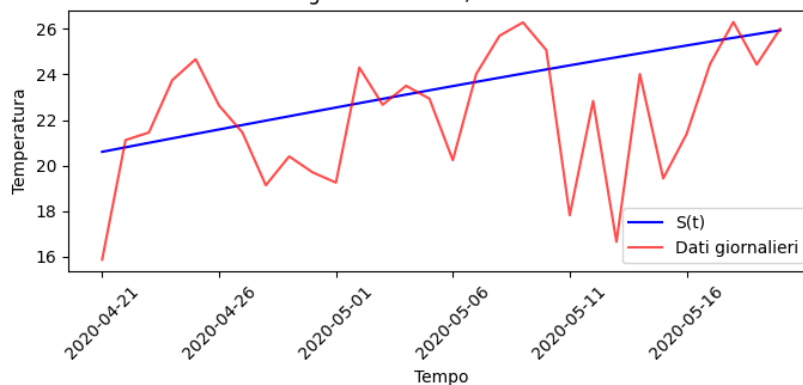


Figura 7. Funzione stagionale stimata con anno di riferimento 2020 e la finestra mobile di analisi con  $D=10$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Dall'analisi dell'autocorrelazione (ACF) della componente  $Y(t)$ , si evince una forte correlazione positiva che decade rapidamente intorno lo zero. La forte correlazione

del primo lag, suggerisce l'utilizzo di una funzione AR(1) nella valutazione di  $Y(t)$ .

Di seguito sono mostrati i grafici relativi all'analisi dell'autocorrelazione parziale dell'anno 2010 e 2020 con un valore  $D$  rispettivamente pari a 15 e 10 anni.

ACF delle temperature detrendizzate e destagionalizzate; 2010 e  $D = 15$

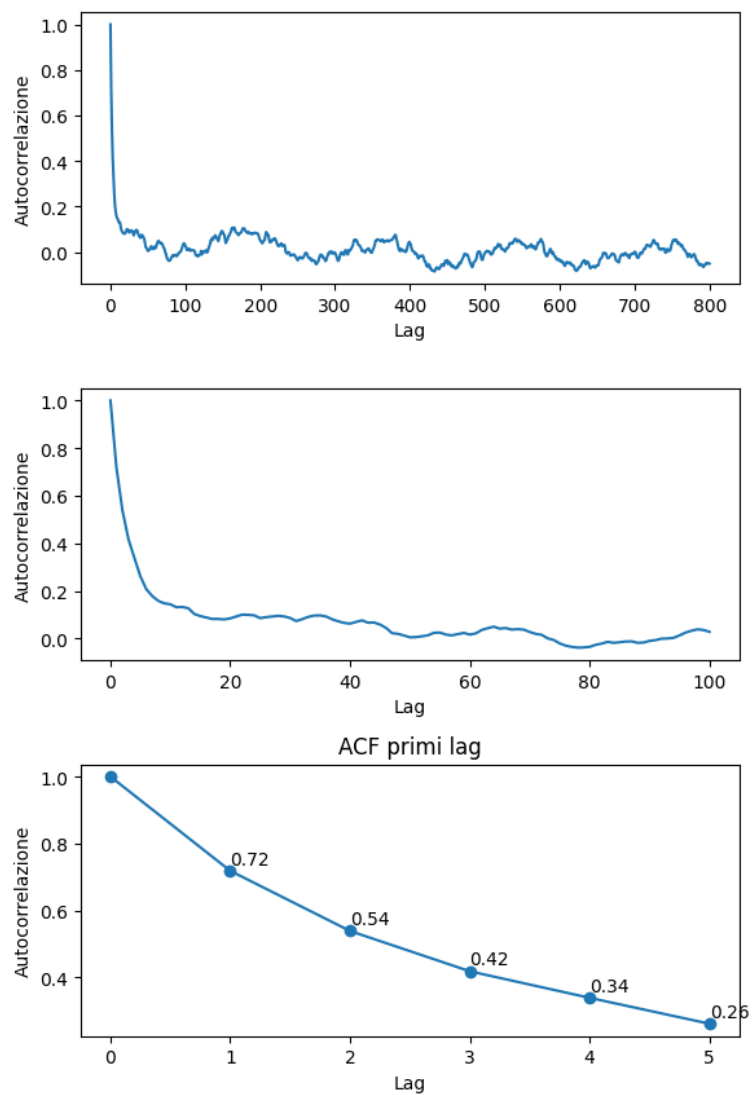


Figura 8. Analisi dell'autocorrelazione parziale della componente  $Y(t)$  con anno di riferimento 2010 e la finestra mobile di analisi con  $D=15$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

ACF delle temperature detrendizzate e destagionalizzate; 2020 e  $D = 10$

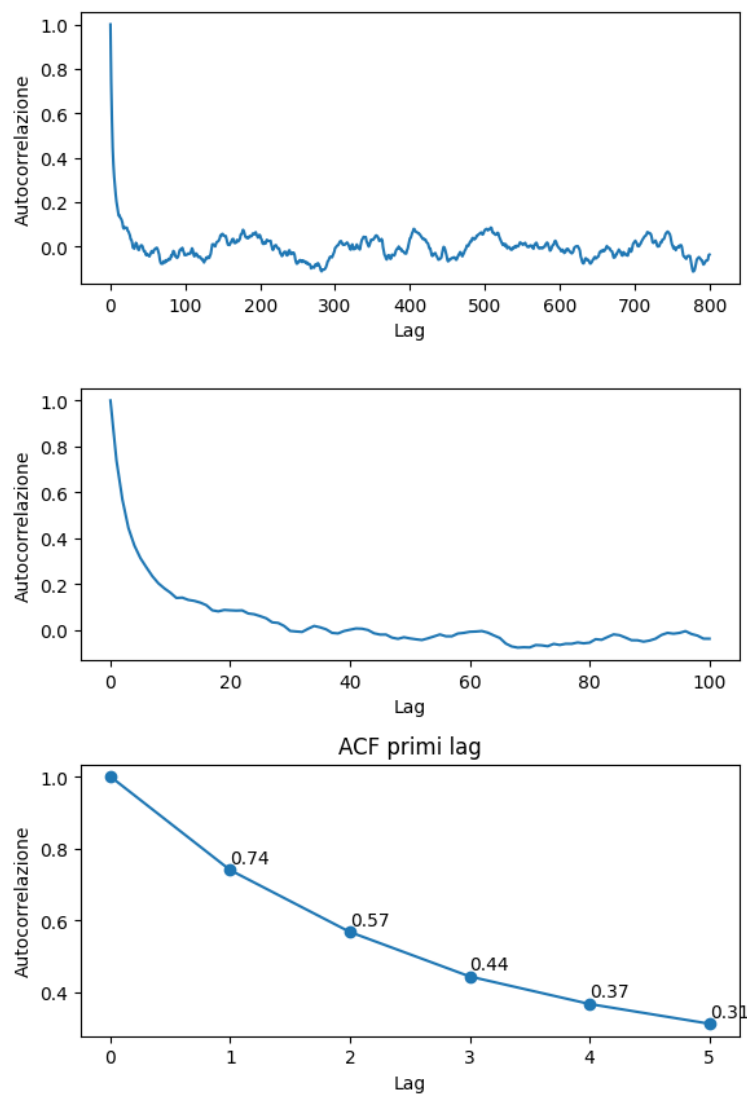


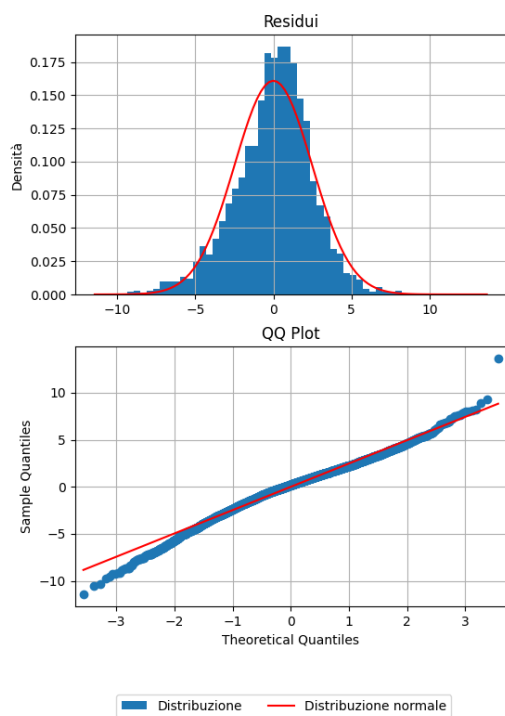
Figura 9 Analisi dell'autocorrelazione parziale della componente  $Y(t)$  con anno di riferimento 2020 e la finestra mobile di analisi con  $D=10$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Il parametro  $b_1$  di AR(1) è stato stimato usando una regressione lineare semplice sui valori di  $Y(t)$ . Il parametro  $b_1$  corrisponde al tasso di reversione in media<sup>20</sup> ovvero alla velocità a cui la temperatura ritorna al suo valore di lungo periodo. Prendendo spunto dal lavoro di *Clelow e Strickland (2000)*, l'emivita di un processo di Ornstein–Uhlenbeck con reversione in media  $\alpha$  guidata da un moto Browniano è data da  $T_\alpha = \frac{\ln(2)}{\alpha}$ . Convertendo la velocità di reversione in media in un tasso continuo, tramite la seguente formula  $\alpha = -\ln(b_1)$ , notiamo valori che oscillano nel seguente intervallo [2,10; 2,35], indicando un valore di circa 2 giorni per il ritorno ad un valore intermedio verso la reversione al suo valore di lungo periodo. Andando ad analizzare la distribuzione dei residui  $\varepsilon(t)$ , non possiamo rigettare l'ipotesi di non normalità tramite il test di Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk. È comunque difficile che passi il test di normalità dato il grande numero di dati presi in considerazione. Tuttavia, tramite analisi grafica, si è ritenuto soddisfacente assegnare una distribuzione normale ai residui, con valori di deviazione standard osservabili nel seguente intervallo [2,3; 2,6] a seconda dell'ampiezza della finestra mobile  $D$  e del periodo oggetto di analisi.

---

<sup>20</sup> Clelow e Strickland (2000)

Analisi grafica dei residui; 2010 e D=15



Analisi grafica dei residui; 2020 e D=10

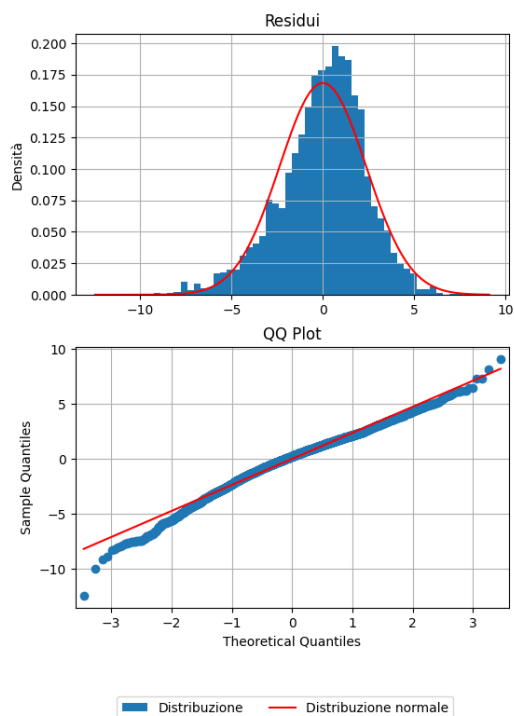


Figura 10. Istogramma dei residui  $\varepsilon(t)$  e distribuzione normale adatta, rispettivamente con anno di riferimento 2010 e finestra mobile di analisi con  $D=15$  anni, e con anno di riferimento 2020 e finestra mobile di analisi con  $D=10$ . (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

A titolo illustrativo seguono i risultati della stima dei parametri relativi alla finestra mobile  $D=15$ . È possibile notare valori del coefficiente di determinazione  $R^2$  intorno a 0,84, ricorrenti nella totalità delle analisi svolte e indipendenti dal valore  $D$  assegnato, ad indicare che la componente stagionale ha una discreta potenza esplicativa. Questo è dovuto dalla tipicità del clima in esame, dove la presenza di temperature elevate in estate e basse in inverno, mostrano un chiaro segnale di stagionalità nei valori osservati.

anno	S(t)				AR(1)		emivita
	a0	a1	a2	a3	b1	R <sup>2</sup> S(t)	
2010	18,93472	-0,00042	11,41854	-23,0059	0,719508	0,837951	2,105628
2011	18,68531	-0,00037	11,46877	-23,491	0,72709	0,83798	2,174889
2012	18,03395	-0,00017	11,53008	-23,8425	0,744886	0,836954	2,353443
2013	17,43745	-8,5E-06	11,59326	-23,3636	0,737957	0,843411	2,281062
2014	17,2855	6,26E-05	11,51726	-23,0365	0,740158	0,840745	2,303642
2015	17,32707	7,54E-05	11,47195	-22,7016	0,737833	0,841025	2,279802
2016	17,23199	0,000138	11,51669	-23,3583	0,742641	0,840147	2,329576
2017	16,946	0,000247	11,50865	-23,1071	0,739521	0,84182	2,297069
2018	16,75814	0,000332	11,63021	-22,7494	0,740852	0,845318	2,310841
2019	16,63037	0,000417	11,55453	-22,0166	0,741219	0,843817	2,314666
2020	16,5704	0,000493	11,53336	-23,3008	0,737633	0,844471	2,277773
2021	17,20462	0,000323	11,43156	-22,8054	0,740566	0,841109	2,307874
2022	17,01453	0,000402	11,52134	-22,4573	0,737428	0,846555	2,275698

Tabella 1. Parametri stimati dall'analisi con una finestra mobile con un valore  $D=15$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

### 3.3.2 - Tariffazione sulle traiettorie simulate della temperatura

Dopo aver ricavato i parametri del modello si procede al calcolo del premio  $P(t, \tau_1, \tau_2)$  al tempo  $t$ , tramite il valore atteso condizionato dalla filtrazione generata dalla serie temporale di  $Y(t)$  nelle dinamiche di  $T(t)$ . Appellandoci alla proprietà di Markov relativamente a  $Y(t)$ , è possibile simulare un percorso della temperatura  $T(s)$  con  $s \leq t$ , simulando la componente  $Y(t)$  e aggiungendole il valore stagionale  $S(t)$  usando i parametri stimati nella finestra temporale di  $D$  giorni che precede il tempo della valutazione  $t$ . Sarà quindi possibile simulare  $G$  percorsi di  $T(s)$  per  $t \leq s \leq \tau_2$ , e calcolare l'indice  $X(\tau_1, \tau_2)$  relativo a ogni percorso. Attraverso

il valor medio delle  $G$  simulazioni di  $X(\tau_1, \tau_2)$ , e dopo averlo opportunamente scontato al tasso  $r$ , otteniamo una stima del premio  $P(t, \tau_1, \tau_2)$ .

Iniziando le simulazioni il 20 maggio, ovvero 30 giorni prima dell'inizio della copertura, sono simulati un numero  $G$  pari a 5000, 10000, 15000 e 50000 percorsi, ottenendo un altrettanto numero di  $G$  valori dell'indice  $X(\tau_1, \tau_2)$ .

Di seguito vengono proposti i grafici relativi ai livelli di premio con valori di finestra  $D$  pari a 15 e 20 anni, calcolati con il metodo burn analysis, con l'approccio appena descritto di *temperature modelling* e i valori dell'indice CDD, pari al risarcimento osservato.

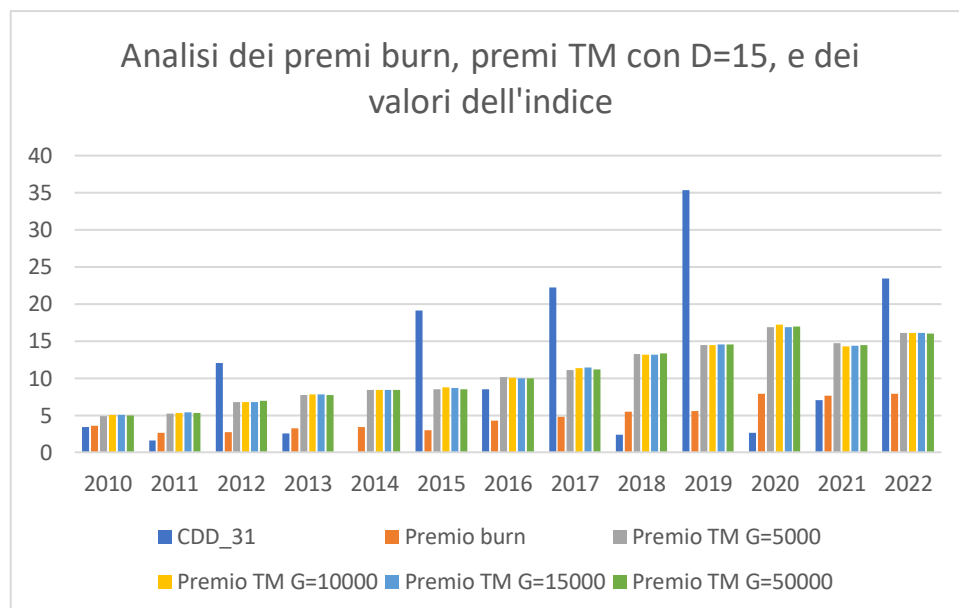
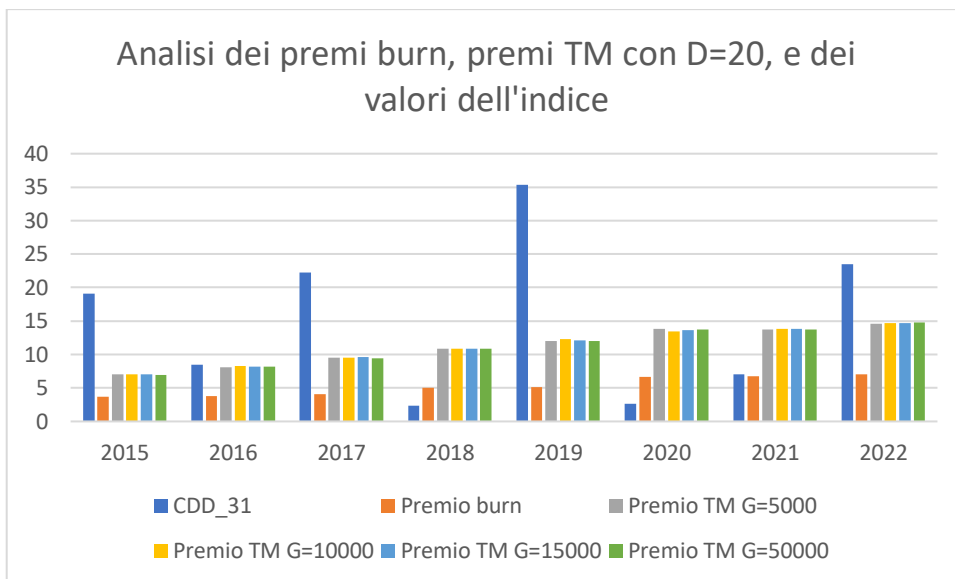


Figura 11. Confronto anno per anno tra il risarcimento osservato, i premi calcolati con metodo Burn analysis ed i premi calcolati con metodo Temperature modelling con un diverso numero di percorsi di simulazioni  $G$ . Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi  $D=15$  anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).





*Figura 12. Confronto anno per anno tra il risarcimento osservato, i premi calcolati con metodo Burn analysis ed i premi calcolati con metodo Temperature modelling con un diverso numero di percorsi di simulazioni G. Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi D=10 anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).*

Si evince che il valore del premio risulta poco influenzato dal numero di percorsi simulati G, ritenendo un valore di 50000 accettabile. Pertanto d'ora in avanti si sceglierà G=50000. Da questa prima analisi è già possibile notare la grande differenza tra i valori di premio dei due approcci, ma al tempo stesso si evince anche un livello di premio burn spesso inadeguatamente inferiore al livello del risarcimento registrato nell'anno.

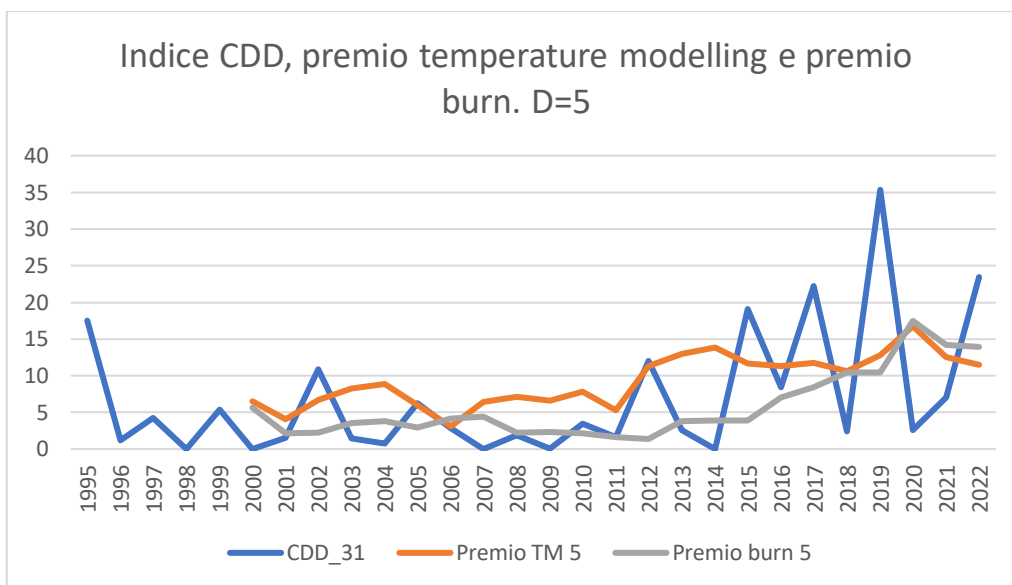


Figura 13. Andamento annuale del risarcimento osservato, del premio calcolato con metodo Temperature modelling e del premio calcolato con metodo Burn analysis. Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi D=5 anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

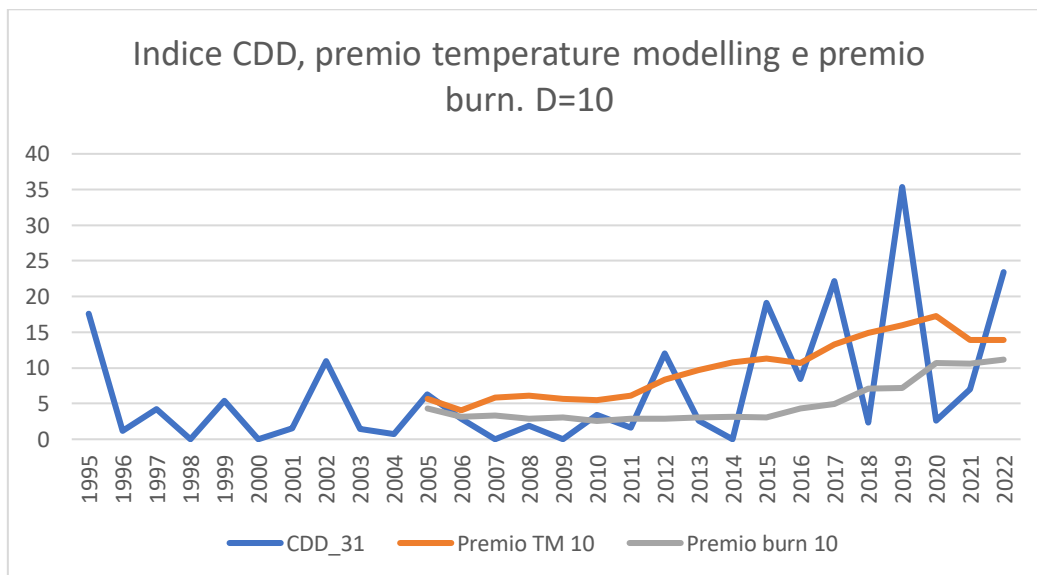


Figura 14. Andamento annuale del risarcimento osservato, del premio calcolato con metodo Temperature modelling e del premio calcolato con metodo Burn analysis. Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi D=10 anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

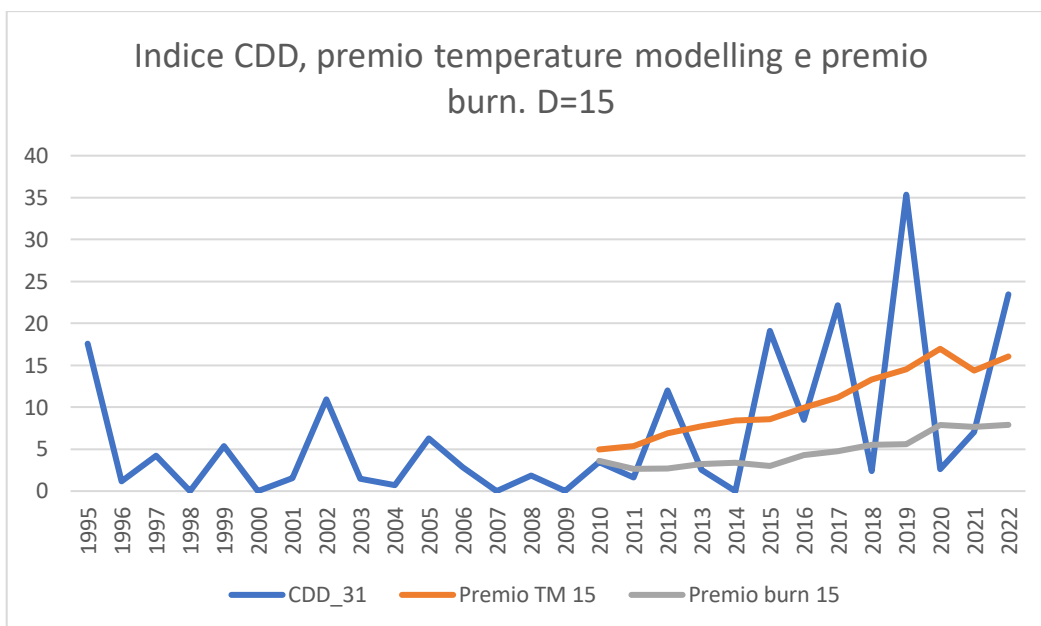


Figura 15. Andamento annuale del risarcimento osservato, del premio calcolato con metodo Temperature modelling e del premio calcolato con metodo Burn analysis. Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi D=15 anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

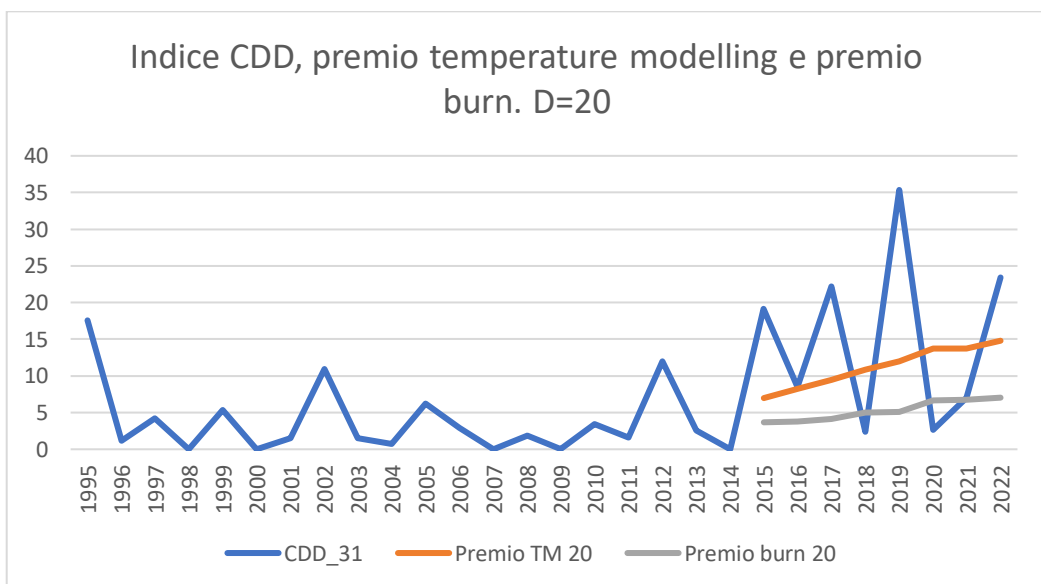


Figura 16. Andamento annuale del risarcimento osservato, del premio calcolato con metodo Temperature modelling e del premio calcolato con metodo Burn analysis. Per entrambe le metodologie di calcolo del premio viene utilizzato un valore relativo alla finestra mobile di analisi D=20 anni. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Allo scopo di verificare la bontà dei due diversi approcci, verrà creata una funzione  $L$ , definita come differenza tra l'indice  $X(\tau_1, \tau_2)$ , opportunamente scontato al tempo di stipula  $t$ , e il premio pagato alla stipula  $P(t, \tau_1, \tau_2)$ .

$$L(t) = X(\tau_1, \tau_2) \cdot \exp(-r(\tau_2 - t)) - P(t, \tau_1, \tau_2).$$

La funzione  $L(t)$  così definita, stima il guadagno (o le perdite) registrate nel nostro campione di dati. In linea teorica, il valore atteso della funzione di guadagno, seguendo il principio di equità, dovrebbe essere nullo, ovvero  $E(L(t)) = 0$ .

Tuttavia, come già esposto in precedenza, la compagnia assicuratrice, per garantire lo stato di solvibilità, sottopone il premio a caricamenti di sicurezza basati sulla rischiosità registrata dalla copertura.

Analizzando i risultati ottenuti dalla simulazione con  $G=50000$  percorsi, è possibile constatare che la stima del premio con il metodo "temperature modelling", a parità dell'ampiezza  $D$  del campione di dati storici presi in esame, possiede sia una variabilità del rischio inferiore ma soprattutto una superiore capacità di contenere le perdite di maggior entità.

G=50000	L TM 5	L BURN 5	L TM 10	L BURN 10	L TM 15	L BURN 15	L TM 20	L BURN 20
varianza	74,43	77,55	74,75	89,77	103,13	114,11	149,35	145,31
dev.st	8,63	8,81	8,65	9,47	10,16	10,68	12,22	12,05
Q0,05	-11,77	-14,99	-10,97	-18,87	-14,87	-22,32	-19,55	-25,89
Q0,15	-6,40	-10,28	-8,25	-13,93	-10,60	-16,31	-12,68	-17,94
Q0,25	-0,46	-5,99	-2,87	-7,84	-7,35	-15,50	-12,23	-16,78
Q0,5	4,41	0,64	3,23	0,37	1,53	0,16	-4,41	-10,04
media	2,11	-1,45	1,56	-3,36	-0,12	-6,00	-3,81	-9,78

Tabella 2. Parametri dell'analisi statistica dei premi risultanti dai due metodi di calcolo Temperature modelling e Burn analysis con differenti valori di finestra mobile  $D$ . (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

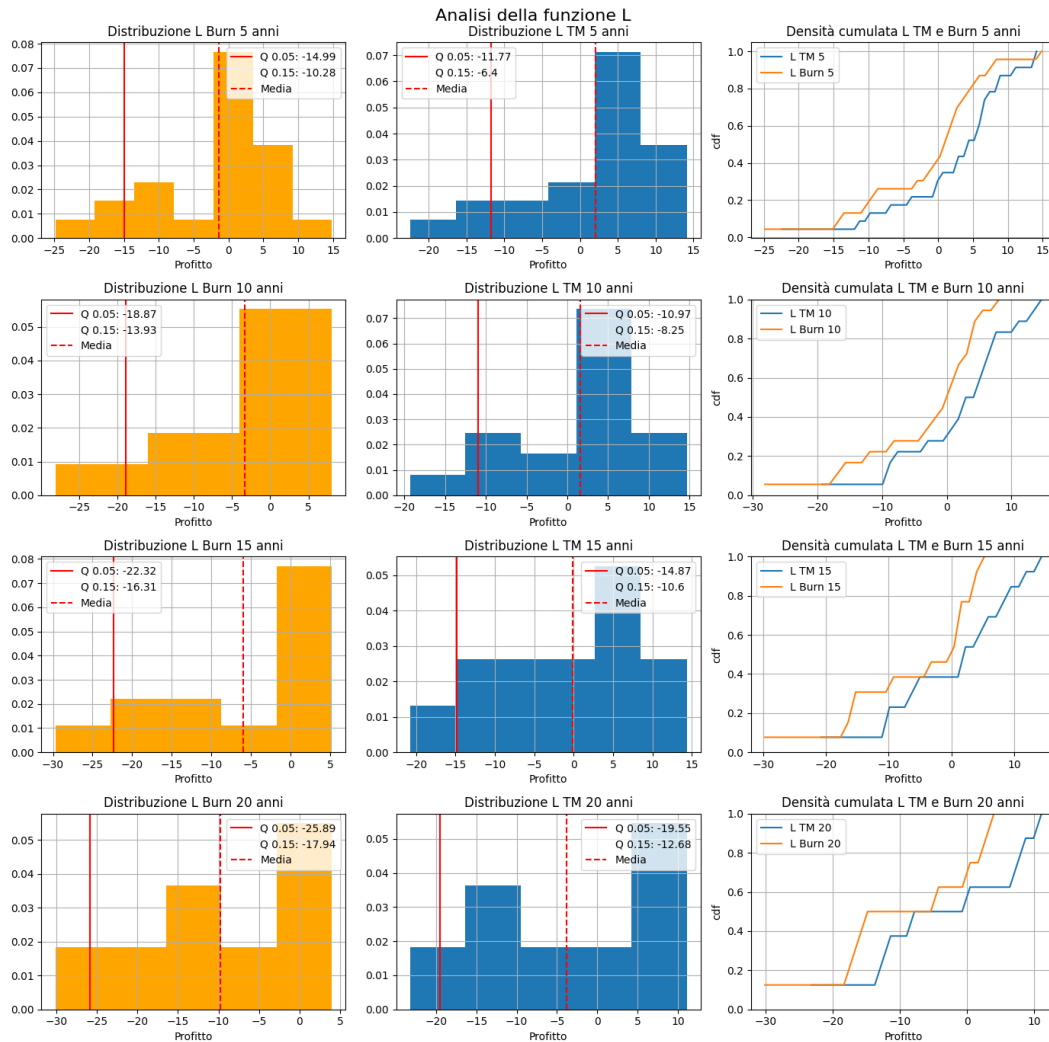


Figura 17. Analisi della distribuzione dei premi risultanti dai due metodi di calcolo Temperature modelling e Burn analysis con differenti valori di finestra mobile D. (Fonte: elaborazione dal dataset personale).

Questa capacità si deduce dall'analisi dei quantili relativi alla coda sinistra della distribuzione di  $L$ , che nel caso di copertura con premio burn registrano valori di perdita sempre superiori alla situazione di copertura con premio temperature modelling. Inoltre, dall'analisi della densità cumulata della funzione  $L$ , è possibile constatare che, per valori negativi di  $L$ , la funzione di ripartizione di  $L$

nell'approccio Burn domina sempre la funzione di ripartizione di L nell'approccio temperature modelling, ovvero  $F_{L_{burn}} \geq F_{L_{TM}}$  per valori di  $L \leq 0$ . Tale comportamento denota una predisposizione, da parte della copertura con approccio di tipo Burn, a registrare perdite maggiori e, a pari entità, con una frequenza maggiore.

In fase di tariffazione quindi, l'approccio temperature modelling potrebbe risultare non solo più conveniente dal punto di vista della compagnia assicurativa, ma dato che il caricamento di sicurezza, applicato secondo i principi basati sulla valutazione del rischio descritti nel capitolo primo, si dimostra essere minore rispetto a un approccio di tipo burn analysis, risulterebbe più conveniente anche per un eventuale sottoscrittore della polizza.

## **4 - INQUADRAMENTO NORMATIVO DELLE POLIZZE PARAMETRICHE**

I requisiti tecnici, peculiari delle polizze parametriche, non rendono banale l'individuazione dell'istituto giuridico associabile a tali forme contrattuali e, la difficoltà nel determinare la compatibilità con il nostro ordinamento, probabilmente è una delle cause che hanno frenato il loro sviluppo nel mercato assicurativo italiano. Fatta eccezione per le norme relative al settore agricolo, menzionate nel capitolo precedente, non è possibile collocare le polizze parametriche in una

fattispecie contrattuale tipica. Quindi, per valutare la conformità all'ordinamento italiano, l'assenza di un assetto giuridico preciso rende necessario riferirsi ai principi generali del diritto e delle disposizioni in materia assicurativa presenti nel Codice civile.

La caratteristica distintiva, rappresentata dalla predeterminazione dell'indennizzo, che differenzia in via principale le polizze parametriche dalle coperture assicurative classiche, potrebbe far presentare ai contratti parametrici una similarità con i contratti aleatori di "gioco e scommessa" o a particolari forme di investimento. Infatti, i cosiddetti *weather derivatives*, sono strumenti finanziari derivati che prevedono uno schema di pagamenti, tra i soggetti contraenti, legati ad eventi atmosferici (temperatura, grandine, vento, ecc.), attraverso la rilevazione della variazione di uno o più indici di riferimento.

È opportuno inoltre evidenziare che l'interesse assicurativo è un elemento fondamentale per il nostro ordinamento, al fine d'identificare un contratto assicurativo come tale. L'art. 1904 del Codice civile, infatti, afferma che "il contratto di assicurazione contro i danni è nullo se, nel momento in cui l'assicurazione deve avere inizio, non esiste un interesse dell'assicurato al risarcimento del danno". Qualora quindi, la volontà del contraente sia quella di percepire un possibile guadagno dalla stipula del contratto, decade il principio dell'interesse assicurativo, presente invece, se il fine ultimo del negozio, è quello di evitare il danno arrecato da un sinistro o di mitigarne il rischio.

Un ulteriore aspetto è legato alla sussistenza del principio indennitario. Citando il primo comma dell'art 1908 del Codice civile: "...nell'accertare il danno non si può attribuire alle cose perite o danneggiate un valore superiore a quello che avevano al tempo del sinistro". E ai sensi dell'art 1910 del Codice civile: "l'assicurato può chiedere a ciascun assicuratore l'indennità dovuta secondo il rispettivo contratto, purché le somme complessivamente rimosse non superino l'ammontare del danno". Da queste disposizioni si evince che la funzione principale del contratto assicurativo deve essere principalmente quella risarcitoria del danno subito. Una condizione strutturale del contratto che, qualora venisse a mancare, potrebbe provocare fenomeni di azzardo morale, identificabili come comportamenti scorretti o incuria da parte del contraente-assicurato nell'evitare che si verifichi il sinistro, giustificati dall'assenza di un effettivo danno legato all'evento o addirittura di un possibile guadagno. Tale ultima eventualità porterebbe il contratto ad essere aderente allo schema del gioco e della scommessa di cui all'art. 1933 del Codice civile o ad uno strumento finanziario derivato.

È inoltre da constatare che la dottrina e la giurisprudenza non offrono una soluzione univoca al dibattito sul principio indennitario, dove diversi autori<sup>21</sup> ne appoggiano

---

<sup>21</sup> G. Fanelli, *Le assicurazioni*, 1973; A. La Torre. *Riflessioni sulla "polizza stimata"*, in *Assicurazioni*, 1975.



l'inderogabilità assoluta, neanche se a favore dell'assicurato, mentre altri<sup>22</sup> pretendono alla legittimità della sua derogabilità, se espressione delle parti.

La determinazione a priori del diritto all'indennizzo e la somma del risarcimento, in funzione soltanto della variazione di un determinato indice di riferimento, implica una maggiore possibilità che l'assicurato possa godere di una liquidazione risarcitoria eccedente l'effettivo valore del danno subito, o perfino che gli venga riconosciuto il diritto al risarcimento anche in assenza di danni. Tale possibilità potrebbe alimentare la critica secondo la quale, nelle polizze parametriche, ci sia una violazione del principio indennitario, ma tuttavia, è lo stesso legislatore che esprime una sua eventuale deroga definendo la cosiddetta "polizza stimata". Infatti, ai sensi del secondo comma dell'art. 1908 del Codice civile: "il valore delle cose assicurate può essere tuttavia stabilito al tempo della conclusione del contratto, mediante stima accettata per iscritto dalle parti" si delinea la circostanza in cui, il valore dell'indennizzo non sia basato sul valore delle cose assicurate, ma su una stima stabilita dalle parti al momento della stipula (fattispecie tipica dell'assicurazione delle opere d'arte). Dove la fase di stima comprende anche l'individuazione dell'indice di riferimento, che, come elemento fondamentale del

---

<sup>22</sup> A. Donati, G. Volpe Putzolu, *Manuale di diritto delle assicurazioni*, 2012; Cass. civ. 5 aprile 1955 n. 978; Cass. civ. 24 maggio 1969 n. 1836.

contratto, rientra nelle azioni necessarie imputabili alla “perizia contrattuale preventiva”<sup>23</sup>.

Per evitare di incorrere nelle problematiche appena esposte, è quindi opportuno svolgere delle azioni correttive mirate a minimizzare il *basis risk*, e quindi un’eventuale violazione del principio indennitario:

- Una adeguata correlazione tra l’evento dannoso e il danno subito dall’assicurato, basata su elementi scientifici e statistici capaci di delineare i valori-soglia dell’indice di riferimento che quantifichino l’indennizzo. Infatti, è da constatare l’esistenza di problemi spaziali e temporali di rilevazioni: minore è l’area territoriale o la durata del periodo oggetto di osservazione (l’evento dannoso a cui è associato l’indice), maggiore sarà il livello di precisione nella misurazione del danno.
- La garanzia d’indipendenza e professionalità del soggetto terzo predisposto alla registrazione dei parametri di riferimento (ad esempio stazioni meteorologiche, istituti di geofisica e vulcanologia), oppure, l’uso di strumenti tecnologici di rilevazione che non siano soggetti a manipolazione e capaci di una registrazione continua ed affidabile dei parametri. Tale requisito, nella fase di monitoraggio e misurazione dei dati, è essenziale per garantire la trasparenza del sistema assicurativo parametrico.

---

<sup>23</sup> R. Santagata, *Polizze assicurative parametriche (o index-based) e principio indennitario*, 2022.

## CONCLUSIONI

Le caratteristiche del modello di assicurazione parametrico rendono evidenti le potenzialità e i vantaggi che tali forme contrattuali possono apportare al mercato assicurativo. Infatti, l'abbattimento dei costi di gestione, e la velocità e la trasparenza, derivanti dalla peculiare modalità di verifica e dalla conseguente liquidazione dell'eventuale indennizzo, hanno attirato una notevole attenzione da parte del mercato. Inoltre, la flessibilità applicativa delle polizze parametriche permette un probabile sviluppo in diversi settori economici, testimoniato anche dalle numerose sperimentazioni in corso coadiuvate dalla recente tecnologia *blockchain*<sup>24</sup>, le cui particolarità ben si adattano a tali metodologie assicurative.

Attraverso un attento studio statistico e l'ausilio di competenze scientifiche specifiche, è possibile delineare preliminarmente dei criteri convenzionalmente accettati dalle parti, al fine di determinare uno schema di indennizzi stabilito a priori che possa garantire una liquidazione risarcitoria quanto più aderente alle effettive perdite subite a causa del verificarsi del sinistro. Questo, ovviamente, permette un vantaggio consistente nella fase esecutiva del contratto, rendendo le polizze parametriche più convenienti e accessibili rispetto a quelle tradizionali.

Una possibile complicanza al potenziale sviluppo di questi modelli assicurativi è la carenza di un adeguato quadro legislativo nell'ordinamento italiano, che fatta

---

<sup>24</sup> “Una blockchain è un registro digitale aperto e distribuito, in grado di memorizzare record di dati in modo sicuro, verificabile e permanente.”, Wikipedia.

eccezione per i pochi riferimenti normativi esposti nei capitoli precedenti, presenta una regolamentazione inadeguata, dove la disciplina generale in vigore risulta essere per alcuni aspetti poco adattabile ed incompleta.

Ritenendo che una polizza assicurativa parametrica sia portatrice di interessi meritevoli di tutela e che sia idonea alla regolamentazione dell'ordinamento italiano, si augura l'aggiornamento della normativa inerente a queste tipologie contrattuali, definendo adeguatamente le disposizioni regolamentari in materia di trasparenza assicurativa, al fine di delineare con precisione la documentazione contrattuale e precontrattuale da accompagnare all'offerta e alla sottoscrizione di questi prodotti assicurativi. Infatti, è giudicata fondamentale per il sottoscrittore, la presenza di una corretta ed esaustiva informativa relativa al funzionamento dei parametri e degli indici di riferimento, e che d'altronde, permetterebbe anche alle imprese assicuratrici di disporre di una tutela nella realizzazione e nella gestione di questo tipo di polizze, al fine di limitare i rischi di responsabilità professionale derivati dai possibili errori nella pianificazione degli indici di riferimento e degli algoritmi utilizzati per la stima dei valori ad essi collegati.

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Luciano Daboni, *Lezioni di tecnica attuariale delle assicurazioni contro i danni*, Edizioni LINT Trieste, 1993;
- Ermanno Pitacco, *Elementi di matematica delle assicurazioni*, 2000;
- Patrizia Gigante, Liviana Picech, Luciano Sigalotti, *La tariffazione nei rami danni con modelli lineari generalizzati*, Edizioni Università di Trieste, 2010;
- Claudio Porzio, *Economia delle imprese assicurative*, McGrawHill, 2011;
- Marco Tappi, Gianluca Nardone, Fabio Gaetano Santeramo, *On the relationships among durum wheat yields and weather conditions: evidence from Apulia region, Southern Italy*, in *Bio-based and Applied Economics*, 2022;
- Rete Semi Rurali, *Scheda tecnica 17 – Il frumento – osservazioni fenologiche*;
- Rete Semi Rurali, *Frumento tenero e duro*, 2013;
- A. Leblois, Philippe Quirion, *Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges*, 2011;
- Ivass, *Guida Solvency II*, 2016;
- Molly E. Hellmuth, Daniel E. Osgood, Ulrich Hess, Anne Moorhead and Haresh Bhojwani, *Index insurance and climate risk: Prospects for development and disaster management*, 2009;
- Che Mohd Imran Che Taib, Fred Espen Benth, *Pricing of temperature index insurance*, 2012;

R. Santagata, *Polizze assicurative parametriche (o index-based) e principio indennitario*, 2022;

A. Müller e M. Grandi, *Weather Derivatives. A Risk Management tool for weather-sensitive industries?*, 2000;

Jewson e Brix, *Weather Derivative Valuation*, 2005;

Guido Belli, *Le operazioni su weather derivatives tra finalità di copertura e speculazione*, 2012;

World Bank, *Weather index insurance for agriculture: Guidance for development practitioners*, 2011;

Silvia Lolli, Davide Valloni, Federico Bastoni, *Polizze parametriche e problematiche giuridiche connesse*, 2023;

G. Fanelli, *Le assicurazioni*, 1973;

A. La Torre, *Riflessioni sulla “polizza stimata”*, in *Assicurazioni*, 1975;

A. Donati, G. Volpe Putzolu, *Manuale di diritto delle assicurazioni*, 2012;

<https://colab.research.google.com>;

<https://www.arpalombardia.it>.

## **RINGRAZIAMENTI**

Vorrei dedicare queste ultime righe per ringraziare alcune persone senza la quale non mi sarebbe stato possibile realizzare questo elaborato di tesi.

In primis, esprimo i miei ringraziamenti alla Professoressa Mariani per la pazienza e la disponibilità dimostrata, la quale ha saputo indirizzarmi con professionalità grazie alla sua conoscenza e ai sempre utili consigli elargiti in questi mesi.

Ringrazio i miei genitori, per il sostegno economico ed emotivo che hanno saputo darmi, e mia sorella Carla e il suo compagno, esempi di caparbietà ed impegno.

Ringrazio gli amici di Ancona, che con leggerezza e abilità culinarie mi hanno accompagnato nel mio percorso universitario.

Ringrazio gli amici di Guglionesi, compagni da una vita e sempre presenti nel momento del bisogno, nonostante le circostanze spesso ci allontanino.

Ringrazio gli amici di Pavia, che nell'ultimo periodo si sono dimostrati un utile confronto e una buona compagnia per ridere nei momenti di leggerezza.

Infine, vorrei ringraziare di cuore la mia compagna Ilaria, un faro sempre presente, che con la sua dolcezza mi ha supportato ed anche nei momenti più bui è stata capace di strapparmi via un sorriso.