



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea Magistrale in
Scienze Economiche e Finanziarie

FOTOVOLTAICO E RISCALDAMENTO GLOBALE:
UNA NUOVA BARRIER OPTION CONTRO
L'AUMENTO DELLA TEMPERATURA

Photovoltaics and global warming:
a new barrier option against temperature raising

Relatore: Chiar.ma
Prof.ssa Camilla Mazzoli

Tesi di Laurea di:
Chiara Pesaresi

Correlatore: Chiar.ma
Prof.ssa Maria Cristina Recchioni

Anno Accademico 2018– 2019

Sommario	
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1.....	9
CAMBIAMENTI CLIMATICI: UNA PANORAMICA GENERALE	9
1.1) IL RISCALDAMENTO GLOBALE	9
1.2) L'IMPATTO E LE CONSEGUENZE DEL GLOBAL WARMING	14
1.2.1) Livello ambientale	14
1.2.2) Livello antropico	16
1.3) L'ACCORDO DI PARIGI	18
1.4) FOCUS: SITUAZIONE ITALIANA	20
CAPITOLO 2.....	27
LA GESTIONE DEL RISCHIO CLIMATICO.....	27
2.1) QUANTO COSTA IL CAMBIAMENTO CLIMATICO.....	27
2.1) GLI STRUMENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO CLIMATICO	33
2.2.1) Prodotti assicurativi	33
2.2.2) Derivati climatici (weather derivative).....	40
2.2.3) Climate VaR	43
CAPITOLO 3.....	47
RISCALDAMENTO GLOBALE E FOTOVOLTAICO	47
3.1) IL SETTORE FOTOVOLTAICO	47
3.2) I RISCHI E GLI STRUMENTI DI GESTIONE DEL RISCHIO PER IL FOTOVOLTAICO.....	53
3.3) GLOBAL WARMING E FOTOVOLTAICO: IL NESSO	56
CAPITOLO 4.....	63
UNA NUOVA BARRIER OPTION PER IL FOTOVOLTAICO	63
4.1) LE CARATTERISTICHE DI UNA BARRIER OPTION	63
4.2) UNA UP-AND-IN BARRIER OPTION PER IL FOTOVOLTAICO	70

4.3) LA POSIZIONE SHORT DELL'OPZIONE CON BARRIERA.....	93
4.4) IL REBATE.....	97
4.5) SELEZIONE DEL MIGLIOR APPROCCIO SULLA BASE DEI DATI EMPIRICI.....	100
CONCLUSIONI	107
BIBLIOGRAFIA	109
SITOGRAFIA.....	117

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi è quello di proporre uno strumento finanziario innovativo che possa mitigare le perdite causate dal riscaldamento globale nel settore fotovoltaico.

Ad oggi, una delle più grandi preoccupazioni riguardo il pianeta è rappresentato proprio dal *global warming* che rischia, o meglio è già causa, di moltissimi effetti disastrosi a livello ambientale, atmosferico, umano ed economico. Lo strumento finanziario che verrà descritto e di cui verrà presentata un'applicazione in termini reali è un contratto di opzione con barriera di tipo *up-and-in put*. Si tratta, a tutti gli effetti, di un derivato finanziario che, essendo calcolato a partire dalla temperatura annuale media degli anni precedenti, potrebbe essere incluso nella categoria delle *weather option*. La proposta di uno strumento di questo tipo va ricercata in due ragioni. La prima è dovuta al fatto che le compagnie assicurative, nonostante si adoperino ad adattarsi alle nuove problematiche che il cambiamento climatico pone, non sono ancora in grado di offrire strumenti a copertura delle perdite dovute al riscaldamento globale, né tantomeno al cambiamento climatico in generale. In secondo luogo, le peculiarità del contratto fanno sì che i parametri su cui vengono calcolati prezzo strike e premio riflettano in maniera attendibile la realtà in cui si trova il fotovoltaico stesso.

La tesi è così strutturata: nel primo capitolo si affronta la tematica del cambiamento climatico ad ampio raggio. Vengono descritte le cause del cambiamento climatico, gli effetti che esse hanno a livello ambientale e antropico. A seguire, un approfondimento sull'Accordo di Parigi, il primo accordo universale e vincolante sul clima, nonché una panoramica della situazione in Italia.

Il capitolo 2 discuterà della gestione del rischio climatico, analizzando i costi del cambiamento climatico e gli strumenti di gestione del rischio di cui ci si può avvalere per tutelarsi da questo rischio. A seguire, nel capitolo 3 si tratteranno tematiche sempre più vicine all'obiettivo della tesi, esponendo le caratteristiche, peculiarità e altri dati relativi agli impianti fotovoltaici. Verranno analizzati i rischi ai quali gli impianti fotovoltaici sono esposti nonché gli strumenti di gestione a tutela di suddetti rischi. A conclusione del capitolo si affronterà l'importante nesso che sussiste tra aumento della temperatura e produzione dell'energia da fotovoltaico.

Infine, il capitolo 4, quello conclusivo, discuterà ampiamente del fulcro di questa tesi: la *up-and-in barrier option* per il fotovoltaico. Si descriveranno le caratteristiche di questo tipo di contratto e si proporrà una nuova opzione con barriera il fine della quale è quello di tutelare l'impianto fotovoltaico dalle perdite subite dall'aumento della temperatura. Il funzionamento è abbastanza intuitivo: verrà fissata una barriera in corrispondenza di una temperatura superata la quale, farà attivare il contratto di opzione e quindi a scadenza si otterrà il pagamento dello

strike price. Verranno avanzate delle ipotesi riguardo le parti che sottoscrivono il contratto e si discuterà la presenza di un eventuale *rebate*.

Infine, nella parte finale di questo lavoro saranno proposte alcune riflessioni conclusive.

CAPITOLO 1.

CAMBIAMENTI CLIMATICI: UNA PANORAMICA GENERALE

1.1) IL RISCALDAMENTO GLOBALE

Quando si parla di cambiamento climatico si fa riferimento a un insieme di fenomeni molto ampio che va dall'effetto serra, allo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari, alla tropicalizzazione del clima, alla desertificazione, all'innalzamento del livello del mare (Commissione Europea, 2019). Più che un insieme di fenomeni, effettivamente, si tratta di una concatenazione di eventi, una successiva all'altra, che hanno come fattore scatenante l'aumento della temperatura. Pertanto, è il così meglio conosciuto riscaldamento globale la principale preoccupazione in tema di cambiamento climatico. L'apprensione che al giorno d'oggi si manifesta per questo fenomeno è dovuta alle conseguenze catastrofiche che esso ha non solo sull'ambiente, ma anche sulla flora, sulla fauna e sulla vita umana. Altra cosa ben nota è il ruolo che l'uomo ha avuto e continua ad avere nelle dinamiche del riscaldamento globale. La responsabilità del cambiamento climatico, infatti, va attribuita quasi totalmente all'attività umana (Ipcc, 2019) I primi studi a riguardo risalgono ai primi anni dell'Ottocento, ma non ricevettero la dovuta considerazione per circa un centinaio di anni. Si riteneva, infatti, che l'impatto delle

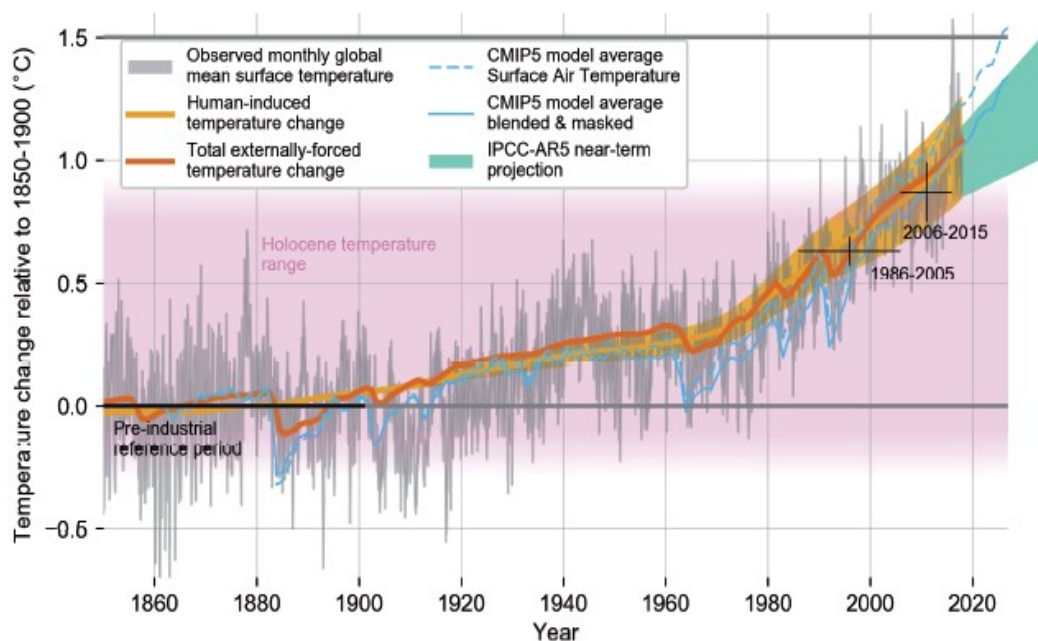
attività umane nei confronti dell'ambiente circostante fossero insignificanti e che non avessero ripercussioni né a livello climatico, né in altro modo. Verso la metà del Novecento si iniziò a capire la portata del *global warming* e soprattutto dei suoi effetti negativi grazie a nuovi e sempre più approfonditi studi. Infine, nel 1988 si affermò senza alcun dubbio che la temperatura globale era aumentata rispetto gli anni precedenti. La *World Meteorological Administration* (WTA) e lo *United Nation Environment Programme* (UNEP) fondarono nello stesso anno l'*International Panel of Climate Change* (IPCC) con lo scopo di fornire ai governi partecipanti e non solo, informazioni scientifiche da utilizzare per sviluppare politiche mirate a contrastare il cambiamento climatico (Wmo, 2019). Al momento l'IPCC conta la partecipazione di 195 stati. Migliaia di persone provenienti da tutto il mondo contribuiscono al lavoro dell'IPCC. Gli scienziati si offrono volontariamente per valutare le migliaia di articoli scientifici pubblicati ogni anno per fornire un riassunto completo di ciò che è noto sui fattori che guidano i cambiamenti climatici, i suoi impatti e i rischi futuri (Ipcc, 2017).

Come detto precedentemente, la ragione principale dell'esistenza di questo problema è l'attività dell'uomo. Secondo le stime dell'IPCC infatti, soltanto il 5% del fenomeno del riscaldamento globale è imputabile a cause naturali. Di seguito verranno fatte delle premesse per comprendere in maniera migliore le dinamiche di questo evento e in che modo questo possa avvenire.

Innanzitutto, occorre richiamare la definizione del cosiddetto “effetto serra”. L’effetto serra è la capacità dell’atmosfera terrestre di trattenere più o meno calore ed è dovuta alla presenza di diverse tipologie di gas chiamati appunto “gas serra”. I gas serra più comuni sono: il vapore acqueo, l’anidride carbonica, il metano e l’ozono. Tanto più alta è la concentrazione di questi gas, tanto più alta è la capacità di questi di trattenere calore. Ci sono due modi attraverso i quali la Terra si riscalda: il primo avviene attraverso l’assorbimento diretto dei raggi solari. Il secondo avviene in maniera indiretta. I raggi solari che raggiungono la superficie terrestre vengono assorbiti da quest’ultima che a sua volta la riemette sotto forma di raggi infrarossi. Una parte di questi raggi riesce ad oltrepassare l’atmosfera e a disperdersi nello spazio, la parte restante, grazie proprio ai gas serra, vengono trattenuti. Senza l’azione dell’effetto serra la Terra sarebbe un pianeta decisamente ostile. Le stime affermano che senza di esso la temperatura media annuale sarebbe di circa -18 °C. L’attività dell’uomo che mina il corretto funzionamento di questo meccanismo va ricercato in primis sull’emissione di gas nocivi (tra cui anche i gas serra) generati dallo sfruttamento dei combustibili fossili, che appunto, fanno aumentare la temperatura. Se da una parte la biomassa vegetale e le alghe degli oceani sono in grado di assorbire l’anidride carbonica emessa dall’utilizzo dei suddetti combustibili, dall’altra l’uomo si intromette ancora una volta nell’equilibrio ordinario della natura. L’eccessiva deforestazione messa in atto da quest’ultimo per motivi generalmente riconducibili a necessità di nuove aree coltivabili, necessità di

legname come combustibile e domanda di legno pregiato, non fa che incidere negativamente e ulteriormente sulle condizioni climatiche e meteorologiche del pianeta. Ultimo, ma non meno importante fattore riguarda l'allevamento intensivo di bovini, ovini e caprini. Il processo digestivo di questi animali e l'evaporazione dei gas contenuti nel loro letame concorrono all'aumento della temperatura globale. Non a caso, al giorno d'oggi, molte sono le campagne di sensibilizzazione sulla riduzione o addirittura azzeramento riguardo il consumo di carne nella dieta umana.

Grafico 1.1 Evoluzione della temperatura media globale



Fonte: IPCC, 2019

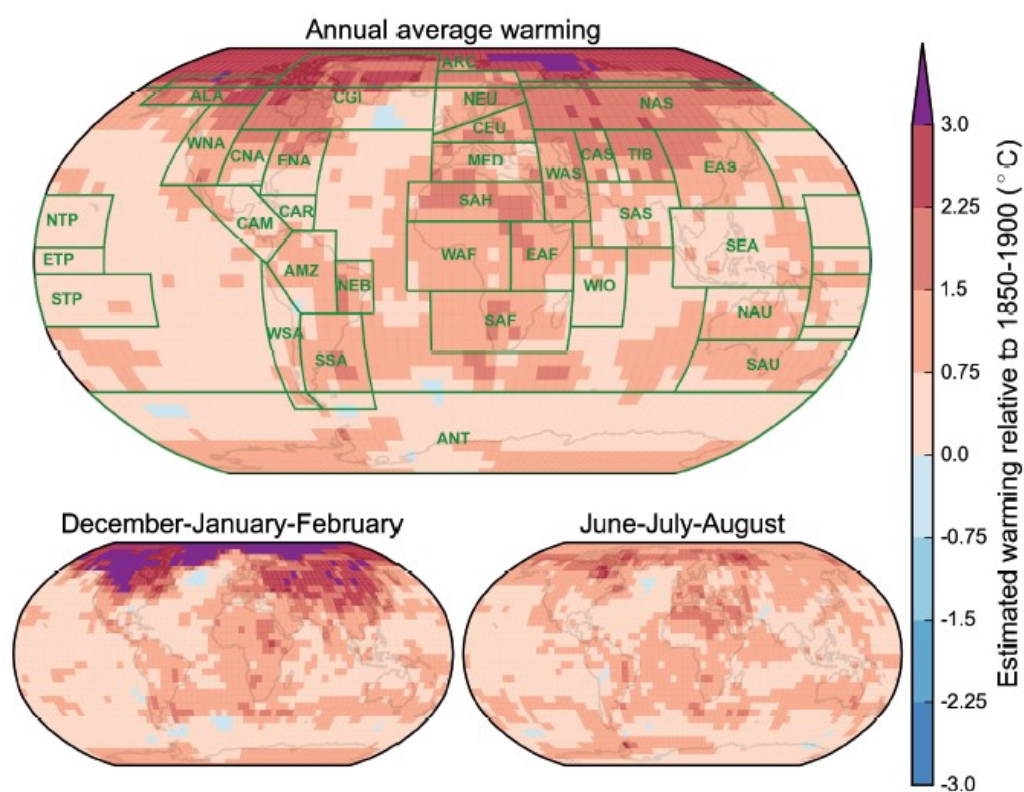
La figura 1.1 rappresenta l'aumento della temperatura media globale che si è manifestata fino al 2018 circa rispetto alla temperatura del periodo preindustriale (seconda metà del XIX secolo). La linea grigia rappresenta l'andamento della GMST (*Global Mean Surface Temperature*) con cadenza mensile. La tendenza ad aumentare è tutto sommato poco significativa fino agli anni 1920. Da quel momento si verifica un lieve aumento fino al 1980 circa. Da quegli anni in poi la situazione si aggrava in maniera piuttosto severa. L'aumento della temperatura rispetto ai livelli preindustriali sale di circa 0.5°C fino ad arrivare a 1°C al giorno d'oggi. Molto interessanti sono anche la linea gialla e la linea arancione. Esse rappresentano rispettivamente la variazione di temperatura dovuta all'attività umana e la variazione di temperatura globale, attività umana e cause naturali. È evidente come le cause naturali abbiano, come già anticipato in precedenza, una colpevolezza minima nel problema del *global warming*. Infine, la parte del grafico che più sconcerta, l'area celeste in corrispondenza degli anni 2016 e seguenti. Essa rappresenta la proiezione della variazione della temperatura media fino all'anno 2035 che raggiunge il valore di 1.5°C.

1.2) L'IMPATTO E LE CONSEGUENZE DEL GLOBAL WARMING

1.2.1) Livello ambientale

Questo tipo di conseguenze sono le più note. Con l'aumento della temperatura la prima conseguenza che emerge in maniera chiara è lo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari. Si può ben verificare dall'analisi della figura 1.2 che rappresenta la variazione della temperatura a livello regionale nella decade 2006-2015 rispetto ai livelli preindustriali. Nella mappa principale viene riprodotto l'aumento della temperatura su base annuale. Le due mappe sotto invece, raffigurano rispettivamente la media annuale nei mesi invernali (a sinistra) e nei mesi estivi (a destra). Si evince come, soprattutto nell'emisfero nord del pianeta, l'aumento della temperatura sia piuttosto significativo. Si tratta di un aumento che va dai $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+2.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, in alcune aree si raggiungono persino i $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ad attirare l'attenzione però, è il grafico che riporta l'aumento della temperatura nei mesi invernali. Le aree in cui si raggiungono i $+3^{\circ}\text{C}$ sono molto estese e si trovano in corrispondenza del Nord America e del Circolo Polare Artico. Le aree in cui si verifica una diminuzione della temperatura sono quasi del tutto inesistenti.

Figura 1.2 Schema spaziale e stagionale del riscaldamento globale attuale nella decade 2006-2015 relativo al periodo preindustriale



Fonte: IPCC, 2019

Lo scioglimento delle calotte polari e dei ghiacciai comporta l'aumento del livello del mare, dando vita a numerosi fenomeni di erosione della costa. Causa, inoltre, alluvioni e inondazioni in alcune zone, desertificazione in altre, deterioramento della qualità dell'acqua, aumento di incendi e siccità. Si verificano estremizzazioni e tropicalizzazioni del clima. E chiaramente tutto questo non può che riflettersi

anche sul mondo animale e vegetale, oltre che sull'uomo. L'aumento della temperatura sconvolge e disorienta quelli che sono i naturali equilibri tra fattori climatici e manifestazioni stagionali di alcuni fenomeni della vita vegetale (la germogliazione delle gemme, la fioritura, la maturazione dei frutti, la caduta delle foglie) e della vita animale (fenomeni migratori, letargia). Il rischio che si prospetta è quello dell'estinzione di molte specie di animali e piante poiché, si teme, essi non siano in grado di adattarsi ai nuovi climi tanto velocemente quanto il cambiamento climatico stesso.

1.2.2) Livello antropico

Il cambiamento climatico condiziona in maniera negativa anche la vita umana. Il deterioramento della qualità dell'acqua condurrà al deterioramento del suolo, che a sua volta si ripercuoterà sull'agricoltura. Questo avrà come risultato quello di una riduzione della disponibilità di cibo. L'aumento della frequenza di inondazioni, alluvioni e uragani saranno causa di decessi e danni economici ingenti. Non solo. Anche la salute umana risentirà del *climate change*. Esso influenza la vita e la salute umana in vari modi. Minaccia gli ingredienti essenziali di buona salute - aria pulita, acqua potabile sicura, approvvigionamento alimentare nutriente e riparo sicuro - e ha il potenziale per minare decenni di progressi nella salute globale. Tra il 2030 e il 2050, si prevede che i cambiamenti climatici causeranno circa 250.000 decessi

aggiuntivi all'anno, a causa della malnutrizione, della malaria, della diarrea e dello stress da calore (World Health Organization, 2020).

Purtroppo, è assodato che si verifichino anche dei risvolti di tipo economico. Alluvioni, inondazioni, erosione delle coste non possono che causare perdite economiche dirette nei settori dell'agricoltura, dell'energia, del turismo e anche a livello del singolo (esempio: allagamento delle abitazioni). È chiaro che la gravità dell'impatto del cambiamento climatico nel business differisce in base al settore economico in cui si opera. In ogni caso, davvero pochi settori economici possono escludersi da queste conseguenze.

Per quanto riguarda le imprese, alcune organizzazioni internazionali hanno classificato i rischi del cambiamento climatico nelle seguenti categorie: *physical risk*, *regulatory risk*, *reputation risk*, *litigation risk* (Nikolaou et al., 2014). I *physical risk* fanno riferimento all'azione che il cambiamento climatico esercita in maniera diretta su una attività economica. Per esempio, la siccità o le alluvioni possono avere un impatto economico negativo su un'azienda agricola o il turismo. I *regulatory risk*, o rischi regolamentari, sono associati principalmente ai costi che sorgono nel momento in cui l'azienda deve soddisfare determinati requisiti in termini di strategie di mitigazione e adattamento imposti da legislazioni e regolamentazioni ambientali. I *reputation risk* invece, si riferiscono all'immagine negativa che l'azienda o attività economica o impresa dà quando si serve di attrezzatura obsoleta che risulta avere un alto livello di inquinamento per

l'ambiente, un alto consumo energetico e un'alta emissione di gas serra. Infine, i *litigation risk*, ovvero rischi di contenzioso, sono rappresentati da sanzioni o multe in cui si potrebbe incappare nel momento in cui non si riesce o si è riluttanti a soddisfare i requisiti ambientali richiesti dalla legislazione.

1.3) L'ACCORDO DI PARIGI

Alla conferenza sul clima di Parigi nel dicembre 2015, 195 Paesi hanno adottato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale (Commissione Europea, 2019). L'accordo definisce un piano d'azione globale, inteso a rimettere il mondo sulla buona strada per evitare cambiamenti climatici pericolosi limitando il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C. I punti centrali che sono stati definiti sono essenzialmente:

- mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali come obiettivo a lungo termine
- puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, dal momento che ciò ridurrebbe in misura significativa i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici

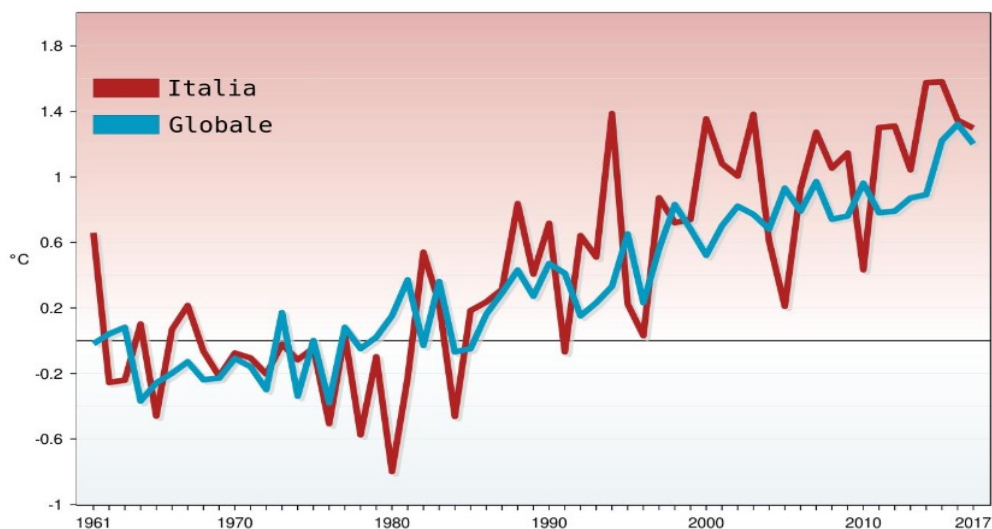
Con l'adozione dell'accordo di Parigi, l'UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change*) ha invitato l'IPCC a fornire una relazione speciale nel 2018 su "gli impatti del riscaldamento globale di 1,5 ° C sopra i livelli

preindustriali e i relativi percorsi globali di emissione di gas a effetto serra". La richiesta era che il rapporto non solo valutasse come sarebbe un mondo più caldo di 1.5 °C, ma anche i diversi percorsi attraverso i quali l'aumento della temperatura globale potrebbe essere limitato a 1,5 °C. Nel 2016 l'IPCC ha accettato l'invito, aggiungendo che la relazione speciale avrebbe esaminato anche questi problemi nel contesto del rafforzamento della risposta globale alla minaccia dei cambiamenti climatici, dello sviluppo sostenibile e gli sforzi per sradicare la povertà (V. Masson-Delmotte et al., 2019). Così, due anni più tardi, l'IPCC ha fornito questo documento dal titolo "*Global warming of 1.5°C*". Nell'articolo emerge in maniera perentoria che limitare l'aumento della temperatura a 1.5°C è fondamentale per evitare conseguenze disastrose. Al momento il riscaldamento prodotto dall'uomo è circa di 1°C rispetto i livelli del periodo preindustriale. Nel decennio 2006-2015 la temperatura è cresciuta di 0,87°C. Se questo andamento di crescita della temperatura dovesse continuare immutato nei prossimi anni, il riscaldamento globale prodotto dall'uomo raggiungerebbe 1.5°C intorno al 2040. Da un punto di vista geofisico, è ancora possibile limitare il riscaldamento a 1.5°C, ma ciò richiederebbe una riduzione immediata e progressiva delle emissioni per raggiungere emissioni zero nette di CO₂ a livello globale intorno alla metà del secolo.

1.4) FOCUS: SITUAZIONE ITALIANA

Anche in Italia si riscontrano le conseguenze del cambiamento climatico. Esse sono più o meno in linea rispetto con quello che succede a livello globale. Questo si può evincere dal grafico 1.3 che rappresenta il confronto tra la variazione di temperatura (rispetto agli anni 1961-1990, presi come riferimento) in Italia (linea rossa) e globale (linea blu). È inequivocabile la tendenza della variazione di temperatura ad aumentare sempre di più al trascorrere degli anni.

Grafico 1.3 Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990



Fonti: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione ISPRA, 2018

La tabella 1.4 invece, rappresenta i trend stimati e le relative deviazioni standard delle temperature in Italia da 1981 al 2017. Anche in questo caso ciò che emerge in maniera chiara è l'aumento della temperatura, sia che si parli di media, massima, minima o stagionale.

Tabella 1.4 Trend stimati (e relative deviazioni standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2017

INDICATORE	TREND (°C/10 anni)
Temperatura media	+0.36 ± 0.06
Temperatura minima	+0.33 ± 0.05
Temperatura massima	+0.36 ± 0.06
Temperatura media inverno	+0.34 ± 0.14
Temperatura media primavera	+0.47 ± 0.11
Temperatura media estate	+0.46 ± 0.11
Temperatura media autunno	+0.23 ± 0.10

Fonte: Fonte ISPRA, 2017

Per quanto riguarda le precipitazioni, esse sono diminuite di circa il 15% negli ultimi cinquanta anni. Nonostante le giornate di pioggia si siano ridotte in media di circa 10 giorni l'anno, d'altro canto sembra aumentare la probabilità che le precipitazioni siano di carattere intenso (Carraro et al, 2007). La tabella 1.5 che rappresenta il trend stimato e le relative deviazioni standard delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2017 conferma la diminuzione sia annuale che stagionale delle precipitazioni nel territorio italiano.

Tabella 1.5 Trend stimati (e relative deviazioni standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2017

PRECIPITAZIONE CUMULATA	TREND (%/10 anni)
ANNUALE	
Italia	(-0.5 ± 1.0)
Nord	(-0.1 ± 1.3)
Centro	(-1.7 ± 1.2)
Sud e Isole	
STAGIONALE (Italia)	
Inverno	(-1.3 ± 2.3)
Primavera	$(+0.3 \pm 1.5)$
Estate	(-3.0 ± 2.3)

Fonte: ISPRA, 2017

Gli scenari di cambiamento climatico in Italia sembrano evidenziare la necessità di prendere in considerazione il rischio di aumento e di intensità delle inondazioni e delle frane. Si parla appunto di rischio idrogeologico. Infatti, se, come detto precedentemente, le precipitazioni saranno meno frequenti, ma più intense si potrebbero innescare inondazioni e frane molto più severe e frequenti rispetto al passato.

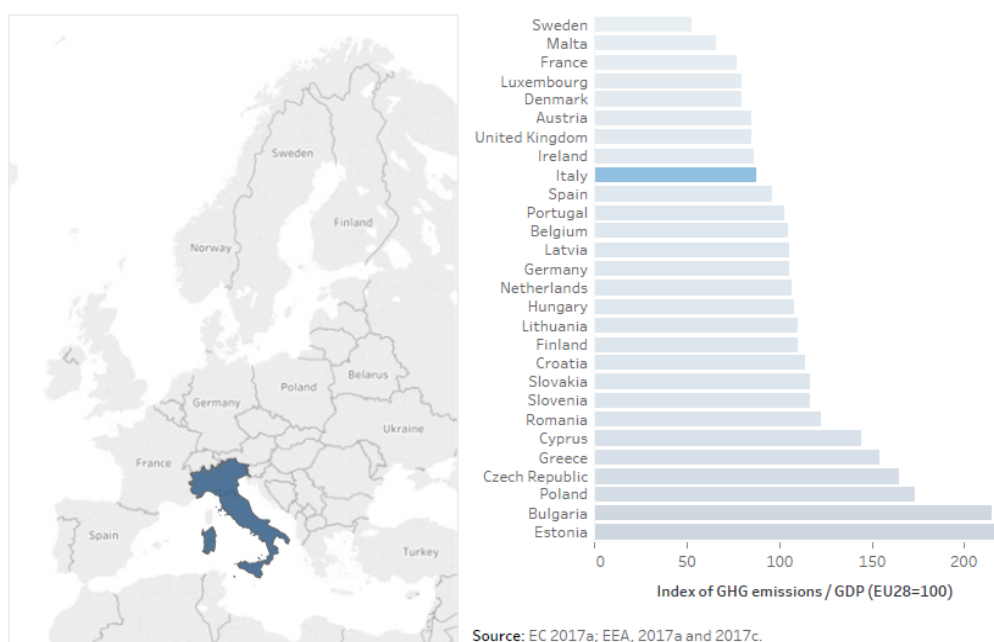
Altro rischio al quale l'Italia potrebbe essere esposta è il rischio di desertificazione, ovvero un insieme di fenomeni che determinano una diminuzione o la scomparsa della produttività biologica o economica del suolo (Carraro et al, 2007). I settori interessati dal rischio di desertificazione sono quelli collegati al settore acqua, agricoltura, foreste e biodiversità.

Rischi più specifici sono quelli che riguardano le zone montane, soprattutto le Alpi, e le zone costiere e marine. Per quanto riguarda le prime, lo scioglimento dei ghiacciai e del manto nevoso sono le principali preoccupazioni. Si stima che l'aumento di 1°C della temperatura possa ridurre la copertura nevosa fino ad alcune settimane, anche alle altitudini più elevate (Carraro et al, 2007). Oltre alle gravi conseguenze sulla flora e sulla fauna già discusse, devastanti sono le conseguenze che subisce il turismo che opera in questo settore. L'ambiente marino e costiero, invece, è minacciato dall'innalzamento del livello medio del mare e dall'aumento della temperatura di esso. Il Mediterraneo si comporta in maniera anomala rispetto alle medie globali. Infatti, il livello del mare non sembra essere aumentato quanto le aspettative. Si pensano a due possibili cause. La prima ritiene che l'aumento della temperatura provochi un aumento dell'evaporazione del mare. La seconda ipotizza che la diminuzione dell'apporto di acqua da parte dei fiumi e il conseguente aumento della salinità impedisca il normale equilibrio idrico tra il Mediterraneo e l'oceano Atlantico. Ancora una volta, le conseguenze ricadono in primis sulla popolazione vegetale e animale marina e ovviamente nel settore del turismo.

L'Italia è attiva nel porre rimedio e contrasto al cambiamento climatico. È uno dei Paesi che ha preso parte all'Accordo di Parigi e in quanto tale si impegna ad attuare politiche che limitino l'aumento della temperatura a 1.5°C. Secondo il grafico 1.6

le emissioni di *greenhouse gas* posizionano l'Italia leggermente al di sotto della media europea.

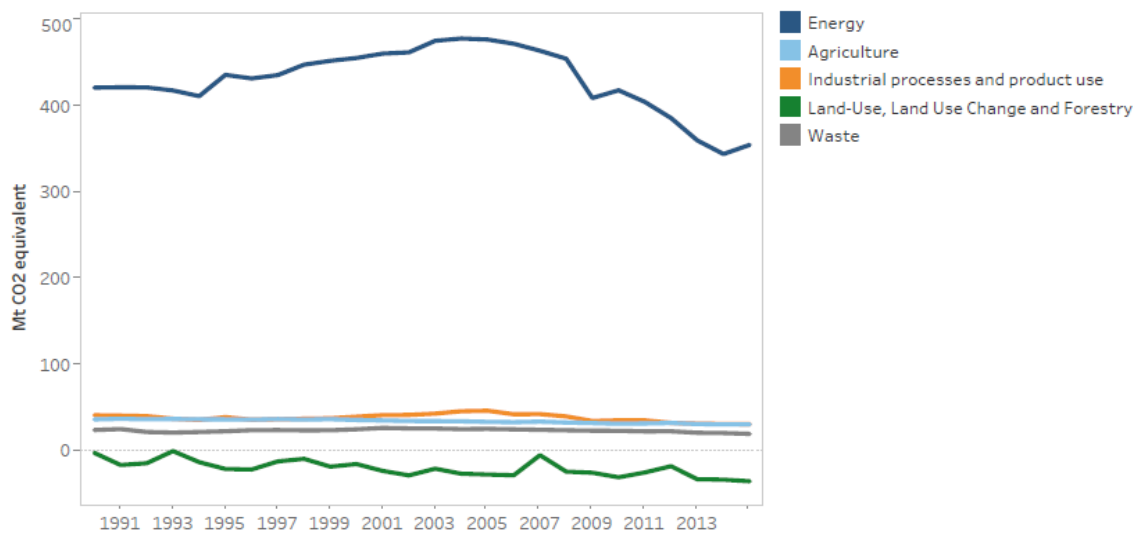
Figura 1.6 Intensità delle emissioni di gas a effetto serra dell'economia nel 2015



Fonte: EEA, 2017

Secondo il grafico 1.7 il settore responsabile della maggior quantità emessa di gas serra è il settore energetico. I settori dell'agricoltura, i processi industriali, i rifiuti e l'uso del suolo e silvicoltura hanno un impatto decisamente inferiore.

Grafico 1.7 Emissioni di gas serra per settore in Italia 1991-2014



Fonte: EEA, 2017

A maggior ragione, la classe politica dovrebbe attuare politiche di incentivazione per ovviare a questo problema. La sollecitazione e l'incoraggiamento all'uso di fonti rinnovabili a emissioni zero come i pannelli solari, il fotovoltaico e l'energia eolica sono la soluzione più comune per far fronte al problema del riscaldamento globale.

CAPITOLO 2.

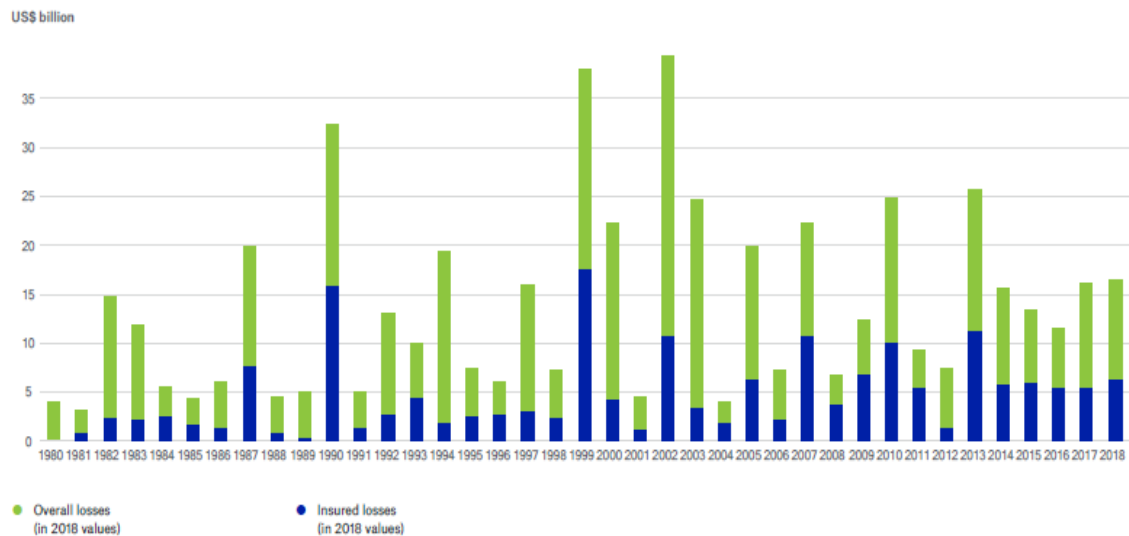
LA GESTIONE DEL RISCHIO CLIMATICO

2.1) QUANTO COSTA IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

59 miliardi e 724 milioni è la stima delle perdite e dei danni economicamente rilevabili causati dal cambiamento climatico in Italia nel periodo 1980-2013. La cifra rappresenta circa il 12% del PIL cumulato deflazionato. Invece, in termini pro capite risulta gravare circa 1 miliardo di euro su ogni cittadino. Queste sono le stime che l'*European Environment Agency* (EEA) fornisce nel rapporto "*Climate change, impacts and vulnerability in Europe in 2016*". Tra i Paesi appartenenti all'Unione Europea, l'Italia è seconda soltanto alla Germania. La stima di quest'ultima si aggira intorno ai 78 miliardi di euro. Il terzo posto invece, va alla Francia con circa 53 miliardi. La cifra totale per l'intera Europa è valutata essere intorno ai 393 miliardi (sempre in riferimento all'intervallo 1980-2013). Il grafico 2.1 rappresenta le perdite complessive, suddivise per anno, dovute a eventi naturali rilevanti espresse in US \$ in Europa durante il periodo 1980-2018. Gli anni in cui si sono verificate le perdite più ingenti sono il 1999 e il 2002, le cui cifre superano i 35 miliardi di dollari. Il 1990 supera di poco i 30 miliardi. Ci si rende conto che nel complesso c'è una forte variabilità delle perdite economiche. Da un anno all'altro

le cifre possono essere enormemente diverse, si vedano per esempio gli anni 1989 e 1990. Il primo presenta una perdita di circa 5 miliardi, il secondo invece, almeno sei volte tanto. Questa alta variabilità è dovuta alla caratteristica intrinseca degli eventi naturali. Sfortunatamente, questi hanno la peculiarità di verificarsi raramente, ma nel momento in cui si verificano, le conseguenze sono nella maggior parte dei casi devastanti. Chiaramente le perdite economiche saranno tanto più alte tanto più la dimensione del fenomeno è grave. Non necessariamente una perdita economica ingente implica un alto numero di eventi negativi.

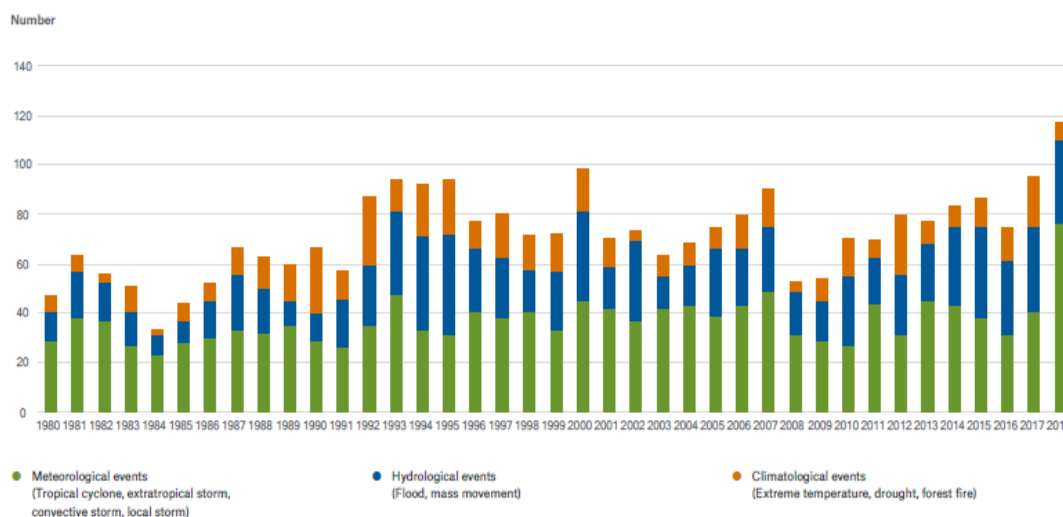
Grafico 2.1 Perdite complessive e assicurate in US\$ dovute a eventi climatici rilevanti in Europa nel periodo 1980-2018



Fonte: NATCAT SERVICE

Il grafico 2.2 invece, rappresenta il numero di eventi naturali che hanno causato le perdite economiche precedentemente descritte nello stesso arco di tempo. Essi sono suddivisi nelle seguenti categorie: eventi meteorologici, eventi idrogeologici ed eventi climatologici. Tutte e tre le categorie possono essere direttamente influenzate dall'azione del cambiamento climatico. Gli eventi meteorologici sono il numero di eventi con la maggiore frequenza. Sono definiti come eventi caratterizzati da qualsiasi tipo di tempesta: tempesta tropicale, tempesta invernale, tempesta convettiva e tempesta di vento. A seguire, in ordine di grandezza, ci sono gli eventi idrogeologici e climatologici. I primi sono identificati con qualsiasi tipo di alluvione e i movimenti di massa innescati dalle piogge intense. I secondi invece, denotano eventi di incendi, siccità e tutti i tipi di temperatura estrema. Anche in questo caso si può notare che non esiste un trend ben chiaro nel tempo, ulteriore indicazione della alta variabilità dei fenomeni. Se si pone a confronto questo grafico con quello precedente si evince che, come si accennava in precedenza, non è tanto il numero degli eventi a determinare l'entità della perdita in termini economici, ma piuttosto la severità di questi. Il 2018 è caratterizzato dal maggior numero di eventi nel lasso di tempo considerato, quasi 120 episodi. La perdita stimata però, è di poco più di 15 miliardi. Situazione antitetica per gli anni 1999 e 2002: perdita stimata enorme, di oltre 35 miliardi, dovuta a un numero di eventi intorno ai 70.

Grafico 2.2 Numero di eventi climatici rilevanti che hanno causato perdite in Europa nel periodo 1980-2018



Fonte: NATCAT SERVICE

Esistono, però, costi che si subiscono indipendentemente dal fatto che si verifichi una calamità o un evento estremo, i cosiddetti *physical risk* citati nel primo capitolo, e costi che sono molto difficili da quantificare. Degli esempi banali: l'aumento della temperatura, che chiaramente interessa tutto l'anno solare, nei periodi estivi potrebbe far aumentare l'utilizzo degli impianti di climatizzazione per raffrescare gli uffici o lo stabile di un'azienda. Di conseguenza è evidente che si sostiene un costo maggiore rispetto all'ipotesi in cui l'aumento della temperatura non ci fosse o fosse di minore portata. Riguardo ai costi difficilmente quantificabili invece, si fa riferimento all'impossibilità di tradurre in valore monetario realtà come la biodiversità, il patrimonio storico/ artistico di una città, o persino il paesaggio. A

questo problema dovrebbero ovviare gli economisti, mettendo a punto delle tecniche di valutazione che permettano di assegnare un valore monetario anche a questo tipo di grandezze (Caracciolo et al., 2007).

Il resoconto della situazione non è sicuramente uno dei più rassicuranti: da un punto di vista economico le conseguenze negative del cambiamento climatico, siano esse dirette o indirette, quantificabili o meno, saranno e sono destinate a essere percepite in maniera più o meno intensa da tutti, privati cittadini e imprese. L'uomo, da parte sua, può servirsi di due diversi tipi di soluzione contro gli effetti del cambiamento climatico: la mitigazione e l'adattamento. Le strategie di mitigazione prevedono l'attuazione di tutte le misure contro la deriva climatica, a partire dalla riduzione dell'emissioni di gas serra (Cavatorta et al., 2017). L'adattamento invece, vuol dire investire in strutture, tecnologie e sistemi di prevenzione per proteggere esseri umani e animali dagli eventi estremi e prepararsi quindi, all'impatto dei cambiamenti climatici ormai inevitabili. Questi sono i due cardini su cui si poggia la lotta al cambiamento climatico ed è fondamentale che il progresso in questo senso venga fatto in entrambe le direzioni. Infatti, anche se oggi si fermassero tutte le emissioni di gas serra gli impatti dei cambiamenti climatici fino ad oggi verificatisi si ripercuoterebbero comunque nei decenni a venire (Kress et al., 2007). Il sistema climatico terrestre ha dei tempi di risposta lunghi a tal punto che, secondo il parere degli esperti, oggi ci si trova in una situazione in cui è impossibile tornare indietro.

Si parla molto spesso di costo del cambiamento climatico al giorno d'oggi perché la quantificazione dell'impatto del cambiamento climatico è estremamente importante: ridurre gli impatti ad una dimensione unica – quella monetaria – può essere utile per semplificare l'identificazione della risposta ottimale al *climate change* rendendo possibile un'analisi costi-benefici delle diverse strategie di adattamento e mitigazione (Caracciolo et al., 2007). Il danno totale subito a causa dei cambiamenti climatici viene chiamato “costo di inazione”, ovvero il costo del “non fare”, inteso come non prendere alcun provvedimento contro gli effetti potenzialmente negativi del cambiamento climatico. Chiaramente, se si adottano dei provvedimenti è necessario sapere il costo di questi provvedimenti e soprattutto la parte di danno che grazie ad essi si è evitato (ovvero il beneficio) al fine di valutare se la strategia di adattamento impiegata sia efficace o meno.

In Italia, il 16 giugno 2015 è stato approvato il decreto direttoriale numero 86 “*Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*” (SNACC). A maggio 2016 è stata avviata la stesura del documento “*Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*” (PNACC), il quale propone di:

- individuare le azioni prioritarie in materia di adattamento per i settori chiave identificati nella SNACC, specificando le tempistiche e i responsabili per l'implementazione delle azioni;
- fornire indicazioni per migliorare lo sfruttamento delle eventuali opportunità;

- favorire il coordinamento delle azioni a diversi livelli (Mattm, 2016).

In maniera più precisa, pianifica strategie di adattamento per ben tredici settori d'azione: risorse idriche; desertificazione; degrado del territorio e siccità; dissesto idrogeologico; biodiversità ed ecosistemi; salute; foreste; agricoltura, acquacoltura e pesca; produzione e consumo di energia; zone costiere; turismo; insediamenti urbani; patrimonio culturale e trasporti; Alpi, Appennini e distretto idrogeografico padano. Un piano ben strutturato e ad ampio raggio d'azione che però, sfortunatamente, dopo la prima consultazione pubblica al quale fu sottoposto nel 2017, se ne sono perse le tracce.

2.1) GLI STRUMENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO CLIMATICO

2.2.1) Prodotti assicurativi

Sebbene si riscontrino numerose difficoltà nella quantificazione di tutte le conseguenze del *climate change* e lo Stato italiano non affronti la situazione con la dovuta diligenza, ci sono diversi modi con cui sia le imprese sia i privati cittadini possono fronteggiare il rischio climatico.

Fra gli strumenti di gestione del rischio climatico (e rischio in generale) il più comune e conosciuto è senza alcun dubbio la polizza assicurativa. «I meccanismi assicurativi – ha spiegato la climatologa Serena Giacomini all'evento “*Fast forward*

live” organizzato da Axa XL a Milano il 16 ottobre 2019 – possono fornire una compensazione finanziaria in caso di gravi perdite dovute ai disastri naturali, in modo che le vittime possano recuperare più velocemente, minimizzando l’impatto. Le compagnie assicurative possono svolgere un ruolo importante nella valutazione del rischio, segnalando le criticità, tramite premi, franchigie e pagamenti; anche in questo modo, infatti, coloro che sono esposti al rischio possono accrescere la loro consapevolezza» (Iconaclima, 2019).

Tornando ai quasi 60 miliardi di euro, stima della perdita economica dovuta al cambiamento climatico in Italia dal 1980 al 2013, l’EEA afferma che soltanto il 3% di quella cifra fosse coperta da una polizza assicurativa. La Germania, che si ricorda essere lo stato europeo più colpito economicamente dal cambiamento climatico, presenta una situazione ben diversa da quella italiana; consapevole del rischio climatico ha provveduto a coprire il 44% delle perdite economiche attraverso lo strumento dell’assicurazione. Ci si può avvalere nuovamente del grafico 2.1 per analizzare la situazione a livello europeo negli anni 1980-2018. La parte blu del grafico evidenzia la parte delle perdite dovute a eventi naturali rilevanti coperte da un’assicurazione. Raramente si può notare che esse superino la metà del valore verificatosi nell’anno. Nell’intero periodo la cifra totale delle perdite si aggira intorno ai 537 miliardi, di cui la parte assicurata è di circa 183 miliardi.

Ci sono diversi tipi di polizza che si possono sottoscrivere per tutelarsi dalle conseguenze degli eventi naturali. Occorre sottolineare che la sottoscrizione di una

polizza piuttosto che un'altra dipenda anzitutto dai rischi al quale si è esposti e in secondo luogo, da quali di questi si decide di volersi tutelare. Entra così, in gioco il ruolo del *broker assicurativo*. Il *broker* è un professionista il cui compito è quello di mediare tra le compagnie di assicurazioni e i propri clienti o *stakeholders*, e ha generalmente lo scopo di reperire sul mercato le soluzioni assicurative rispondenti alle esigenze di coloro che si affidano al suo servizio. Per prima cosa occorre individuare il bene che si vuole tutelare tramite la polizza: generalmente si tratta di abitazioni, fabbricati adibiti ad attività lavorative e i mezzi di trasporto quali automobili, moto, furgoni. Queste sono le categorie più esposte e più comuni ai danni da eventi naturali, ma potenzialmente si potrebbe stipulare un contratto di assicurazione su qualsiasi bene esposto al rischio. In Italia, per quanto riguarda i veicoli a motore vige l'obbligatorietà dell'assicurazione RC autoveicoli la cui *ratio* sta nel fornire tutela alle vittime di incidenti causati da quest'attività che presenta un più o meno elevato grado di rischio (Donati & Putzolu, 2016). Il fulcro della polizza RC auto si sintetizza nel rimborsare i danni provocati dall'assicurato a terzi in caso di incidente stradale. Oltre a ciò, ci sono una serie di estensioni della polizza che possono essere attivate in base alle proprie esigenze e avversione al rischio, tra cui furto, incendio, tutela legale, assistenza stradale. Tra la moltitudine di estensioni ci si può avvalere anche di quella contro gli eventi atmosferici. Gli eventi atmosferici possono variare in base al contratto di polizza, ma in linea di massima possono includere tempeste, bufere, uragani, grandinate, tifoni, frane, valanghe,

alluvioni, inondazioni, trombe d'aria, slavine e danni generici causati da ghiaccio o neve.

Per quanto concerne gli immobili invece, si possono fare delle distinzioni in base al fatto che essi siano adibiti ad abitazione o ad attività commerciali o lavorative. In entrambi i casi la legge ha previsto l'obbligatorietà della polizza contro il rischio di scoppio o incendio qualora l'acquisto dell'immobile sia stato finanziato tramite un prestito. Per quanto riguarda le abitazioni le polizze sono estremamente flessibili e personalizzabili. La polizza base sulla casa garantisce protezione e coperture da emergenze domestiche come danni all'abitazione e al contenuto o danni a terzi. Ma è possibile anche coprire soltanto il rischio incendio nel caso prima citato in cui ci sia un contratto di finanziamento. In ambedue i casi si può ricorrere nuovamente alle garanzie accessorie contro eventi naturali catastrofici. In alternativa, si sono sviluppate delle nuove polizze che proteggono soltanto dalle conseguenze dovute a eventi climatici estremi. Le imprese e le aziende possono servirsi delle stesse polizze per assicurare i fabbricati, gli stabilimenti o le varie sedi dell'attività che svolgono con una differenza: il contratto potrebbe prevedere anche il risarcimento per il mancato guadagno causato dal sinistro verificatosi, purché chiaramente sia dovuto a una delle cause previste da contratto.

Le nuove necessità in campo di *hedging* oggi hanno condotto alla creazione di nuovi prodotti assicurativi. Uno di questi è l'assicurazione parametrica. La differenza principale con le polizze ordinarie riguarda l'indennizzo. Se normalmente questo

viene liquidato in base alla stima del danno subito, e quindi ex post, nel caso delle assicurazioni parametriche il rimborso viene definito ex ante. Viene, infatti, calcolato facendo riferimento a un indice predeterminato. La perdita viene risarcita quando un dato indice si discosta da un indice prefissato (*benchmark*), non richiedendo dunque alcuna quantificazione a posteriori della perdita effettivamente subita. Ciò dovrebbe ridurre sensibilmente le tempistiche di ottenimento dell'indennizzo, che nelle polizze ordinarie è piuttosto lungo dal momento che per i danni da evento naturale sono necessari accertamenti e stime dei danni subiti che solitamente richiedono molto tempo. Il *benchmark* di riferimento viene misurato da soggetti terzi rispetto alla compagnia e all'assicurato per garantire indipendenza. Poi, condizione, secondo gli esperti, imprescindibile per classificare tale prodotto tra le polizze assicurative e non tra i derivati è l'esistenza di una correlazione statisticamente significativa tra indice e danno economico subito dall'assicurato. Si tratta di un prodotto nuovo e ancora in fase di studio e, come spesso accade per le novità, non pochi sono i pareri scettici e dubbiosi sull'efficacia di esso.

Sebbene il mercato offra numerose soluzioni contro il rischio climatico ad alto tasso di personalizzazione, in Italia la tutela di questo rischio, come accennato in precedenza, è piuttosto scarsa. L'Assicurazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici (ANIA), offre un report annuale sulla situazione del mercato assicurativo italiano. Dal report del 2018-2019 emerge che l'82.4% delle polizze incendio riguarda le abitazioni, il 14.3% i fabbricati e il 3.3% le unità commerciali

ancillari (unità destinate ad attività commerciali e situate a pian terreno negli edifici adibiti prevalentemente a residenza). Chiaramente in termini di valori assicurati le distribuzioni cambiano sensibilmente in quanto i fabbricati generalmente hanno un valore maggiore rispetto alle singole unità abitative. Il dato più interessante è la cifra 91.5% che rappresenta la percentuale di polizze incendio che non ha alcuna estensione a eventi catastrofici. Il report in questo caso considera le estensioni a rischio sismico e alluvionale. Il 4.7% delle polizze ha l'estensione al rischio sismico, il 2% a quello alluvionale, l'1.8% a entrambi gli eventi catastrofici. Da questo quadro emerge in maniera chiara che in Italia il rischio climatico e catastrofale è decisamente sottovalutato, nonostante siano note le peculiarità della penisola in tema di rischio sismico e idrogeologico. Secondo il Rapporto sul Dissesto idrogeologico in Italia dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), nel 2015 era considerato a rischio l'88% dei comuni, ma un ampliamento delle indagini ha portato nel 2017 a definirne come esposti al rischio il 91% (Anra, 2018). Oltre alla scarsa consapevolezza del rischio, la tendenza degli italiani a non assicurarsi contro questo tipo di eventi si può rintracciare in un altro motivo. L'Italia si distingue per una gestione dei danni relativi a calamità naturali che tradizionalmente si basa sull'intervento ex-post da parte dello Stato. Questa modalità di gestione dei danni, attuata ripetutamente nel tempo, ha accresciuto la convinzione che esista un garante di ultima istanza disposto a farsi carico della ricostruzione (Ania, 2018). In realtà, così facendo coloro che ne

saranno svantaggiati ulteriormente saranno i cittadini stessi i quali probabilmente vedranno un aumento del prelievo fiscale per finanziare la ricostruzione. Oltre a ciò, chi ha deciso di non stipulare alcun tipo di polizza spesso è dovuto al fatto che può attingere a patrimoni accantonati proprio per far fronte a questo tipo di evenienze, come una sorta di “autoassicurazione”. Le soluzioni a questa problematica possono svolgersi su più fronti: da un punto di vista normativo si potrebbe rendere l’assicurazione contro gli eventi naturali e catastrofici obbligatoria o semi-obbligatoria. Da un punto di vista fiscale si potrebbe ridurre l’aliquota dei premi destinata al fisco per incentivare la sottoscrizione di polizze. È già stato fatto un passo in questa direzione con la Legge di Bilancio del 2018 che ha introdotto benefici fiscali per coloro che ricorrono a coperture assicurative contro il rischio di eventi calamitosi per gli edifici adibiti ad uso abitativo. L’ideale sarebbe costruire un modello di governance che preveda l’adozione di meccanismi assicurativi di natura pubblico-privata. L’assicurazione funziona grazie a un meccanismo mutualistico di redistribuzione del rischio tra soggetti più deboli (famiglie e PMI) o più esposti, a soggetti tecnicamente più attrezzati (compagnie assicurative nazionali e mercato riassicurativo internazionale) o meno vulnerabili (Unipol, 2016). In uno scenario come quello italiano, caratterizzato da una bassissima propensione ad assicurarsi, il modello assicurativo da solo non può funzionare. Infatti, il rischio di *adverse selection* (ossia il fenomeno per cui si assicurano solo i soggetti maggiormente esposti al rischio) e contemporaneamente l’elevato rischio

di *moral hazard* (ossia il fenomeno per il quale i soggetti non assumono comportamenti virtuosi poiché non hanno i giusti incentivi per farlo), non rendono il modello economicamente sostenibile (Unipol, 2016). Si potrebbe prendere a esempio ciò che ha fatto il Governo inglese in materia. Nel 2013 è stato firmato un protocollo tra quest'ultimo e l'ABI (l'Associazione degli Assicuratori Britannici) per la creazione di un fondo di riassicurazione, denominato Flood Re, di matrice pubblico-privato, attraverso il quale si garantisce l'accesso all'assicurazione contro le alluvioni a tutti i cittadini a un costo controllato e accessibile.

2.2.2) Derivati climatici (*weather derivative*)

Altro strumento per la tutela contro il rischio climatico sono i *weather derivative*. In questo caso si tratta di uno strumento per le imprese e aziende e non per i privati cittadini. Un contratto derivato viene definito dalla borsa italiana come uno strumento finanziario il cui valore deriva dal valore di un'altra attività finanziaria o reale (più nota come attività sottostante). Il fine originario degli strumenti derivati era quello di coprirsi dal rischio sull'attività sottostante, ma anche c'è chi sottoscrive contratti di questo tipo con finalità di speculazioni e arbitraggio. Nel caso dei *weather derivative*, l'attività sottostante può essere rappresentata dall'andamento di un fattore climatologico che sia la temperatura, i centimetri di neve, la quantità di pioggia, il gelo o il vento. Il primo derivato meteorologico è

stato sviluppato nel 1996 quando due compagnie energetiche hanno concordato un accordo di fornitura di energia che conteneva una clausola che consentiva di adeguare il prezzo dell'elettricità in base all'indice CDD (*Cooling Degrees Days*) in un determinato mese estivo. Se il clima fosse particolarmente caldo, la domanda di elettricità per alimentare i condizionatori d'aria aumenterebbe e il prezzo dell'elettricità fornita diminuirebbe.

I derivati meteorologici possono essere strutturati sotto forma di *swap*, *future*, *cap*, *collar* e *floor* o prodotti combinati insieme più complessi. A seguire delle brevi definizioni:

- *Swap*: contratto con il quale due parti si impegnano a scambiarsi futuri pagamenti. Tale contratto definisce le date in cui verranno effettuati i pagamenti reciproci e le modalità secondo le quali dovranno essere calcolate le rispettive somme
- *Future*: contratto a termine standardizzato con il quale le parti si impegnano a scambiare una certa attività (finanziaria o reale) a un prezzo prefissato e con liquidazione differita a una data futura
- *Cap*: contratto di opzione call su tasso di interesse
- *Floor*: contratto di opzione put su tasso di interesse
- *Collar*: contratto derivato su tasso di interesse che combina una posizione lunga in un *interest rate cap* e una posizione corta in un *interest rate floor* (Borsa Italiana, 2018)

Un *floor* garantisce protezione al ribasso quando la variabile meteorologica sottostante scende al di sotto della soglia stabilita, mentre il rialzo rimane non vincolato. Per esempio, una stazione sciistica potrebbe acquistare un piano nevoso che lo compensi se le nevicate non raggiungono un livello minimo. A volte gli emittenti non sono disposti ad accettare il rischio completo associato a un derivato del tempo e pertanto fissano un limite di pagamento. Al contrario, un derivato *cap* fornisce una compensazione se la variabile meteorologica sottostante supera un certo livello: sempre in caso di nevicate, un'amministrazione di una grande città potrebbe voler acquistare un *cap* che viene attivato se le nevicate superano un certo livello, al fine di compensare le eccessive spese di rimozione della neve (Landini & Maracchi, 2012). Un *collar* è una transazione in due parti: il portatore acquista un *cap* (o un *floor*) per proteggersi dalle avverse condizioni meteorologiche e vende contemporaneamente un *floor* (o un *cap*) a un prezzo di esercizio diverso che limita il suo rialzo finanziario se il tempo è favorevole (Bodily et al., 2000). Però, il tipo più comune di derivato meteorologico quotato in borsa è strutturato come un contratto *future*. Generalmente questo tipo di strumenti comprende un accordo legale per la consegna o l'accettazione di un prodotto in un determinato momento, a un prezzo concordato: nel nostro caso sono progettati in base alla temperatura o ad altre variazioni meteorologiche. Tali variazioni sopra o sotto il valore determinerà una liquidazione giornaliera in contanti tra l'acquirente e il venditore.

Le opzioni e le strutture di *swap* sono spesso utilizzate anche in "derivati di catastrofe", dove non esiste un indice sottostante variabile, ma lo strumento è collegato al verificarsi di un evento catastrofico specifico durante un certo periodo di tempo (la funzione "assicurativa" di questi strumenti sta chiaramente prevalendo sullo scopo finanziario) (Landini & Maracchi, 2012).

Al momento il mercato dei derivati sul clima è in fase di crescita. Ciò che rende le aziende restie a sottoscrivere questi tipi di contratto è innanzitutto l'alto costo che essi hanno. Il volume di denaro che circola in questo ambito non attrae gli speculatori e ciò impedisce al prezzo di abbassarsi. Oltretutto, essendo contratti legati a un'attività sottostante relativa al clima, ci si trova ad avere necessità di dati estremamente precisi e oggettivi per una corretta valutazione degli stessi.

2.2.3) Climate VaR

Proprio a causa delle conseguenze e degli effetti ormai noti del cambiamento climatico alcune aziende si sono specializzate nel calcolare come e quanto il cambiamento climatico incida su una azienda. Si tratta di un nuovo servizio che viene offerto alle imprese grazie al quale si possono prendere le migliori decisioni in materia di mitigazione e adattamento, oltre che di investimento e tutela dei rischi. Una delle aziende pioniere in questo campo è la start-up Carbon Delta, da poco acquisita dalla MSCI Company, con sede in Svizzera. Questa azienda ha studiato un modello chiamato *Climate VaR (Value at Risk)*, che consente una analisi

dell'esposizione al rischio ai cambiamenti climatici delle aziende al fine di orientare al meglio le decisioni imprenditoriali tenendo in considerazione primaria il rischio climatico. La Carbon Delta usufruisce di un dataset molto ampio e variegato: dati finanziari come dati di vendita e prezzi delle azioni, statistiche macroeconomiche, stime future del costo dei gas a effetto serra (GHG), un database completo delle sedi di produzione dell'azienda, dati scientifici sul clima (Carbon Delta, 2019). Grazie ad essi possono identificare i *physical risks* ai quali l'azienda è sottoposta, caldo, freddo, vento, precipitazioni, nevicate, incendi e uragani. Ma non si ferma qui. Dopo aver stimato questi costi, è in grado di calcolare come essi influiscono sulle attività reali e anche sulle attività finanziarie come titoli e obbligazioni dell'azienda. Stima i costi della piena attuazione dei piani di sviluppo a basse emissioni di carbonio dichiarati volontariamente nell'ambito dell'accordo di Parigi. Identifica opportunità di investimento *green* specifiche per l'azienda, legate ai cambiamenti climatici. Si tratta di uno studio minuzioso e a 360 gradi che può essere fondamentale nell'evitare le insidie che la gestione del rischio climatico pone.

Il modello potrebbe essere utilizzato non soltanto dalle aziende, ma anche da banche e imprese di assicurazioni. Potrebbe essere utile a entrambi gli istituti finanziari per individuare progetti di investimento a basse emissioni. Non a caso al giorno di oggi si suggerisce di dismettere gli investimenti in attività ad alte emissioni di GHG e finanziare imprese più *green* per mitigare le conseguenze del *climate change*. Le

assicurazioni, in aggiunta a ciò, possono servirsi del *Climate VaR* per verificare quanto i cambiamenti del clima possano influire sui premi assicurativi e di conseguenza adattarli secondo necessità e diminuire il rischio di insolvenza.

La situazione ideale sarebbe quella di adottare il *Climate VaR*, o un modello analogo, come unica misura del rischio climatico per tutte le aziende, o quanto meno le più grandi e le più importanti. Ciò aumenterebbe la consapevolezza di questo rischio, contribuirebbe al rallentamento del cambiamento climatico e renderebbe il mercato assicurativo più efficiente.

CAPITOLO 3

RISCALDAMENTO GLOBALE E FOTOVOLTAICO

3.1) IL SETTORE FOTOVOLTAICO

La gravità della situazione riguardo la tematica del cambiamento climatico fa sì che numerose siano le campagne e gli incentivi all'installazione e utilizzo delle fonti di energia rinnovabili quali i pannelli solari, le pale eoliche, l'energia idroelettrica, geotermica e marina. Tra queste si annovera anche l'energia prodotta attraverso i pannelli fotovoltaici, tema centrale di questa tesi. Le soluzioni sono numerosissime e, a seconda delle necessità, ci si può avvalere di una scelta piuttosto che un'altra sia che si tratti di privati cittadini, imprese o istituzioni pubbliche. È evidente che alcune di queste fonti rinnovabili siano destinate a essere messe in atto soltanto a livello imprenditoriale, si prenda a esempio lo sfruttamento dell'energia geologica, idroelettrica o eolica. Ma ci sono soluzioni, più precisamente pannelli solari e fotovoltaici, che possono essere installati sopra i tetti delle abitazioni e quindi potenzialmente accessibili a tutti. In realtà, la collocazione dei pannelli solari o fotovoltaici sopra i tetti delle abitazioni, o scuole, o stabili aziendali sarebbe la miglior cosa da fare piuttosto che l'installazione dei suddetti pannelli a terra. In

questo modo non si sottrarrebbero terreni e aree ad attività essenziali e importanti come agricoltura e coltivazione.

I vantaggi delle fonti di energia rinnovabile sono moltissimi. L'aspetto decisamente più rilevante fra tutti risiede nel fatto che riescono a produrre energia a zero emissioni di anidride carbonica e gas nocivi. Si tratta quindi, di una delle principali strategie di mitigazione prima citate, che arginano il problema del *global warming*. Oltre a questa importantissima caratteristica, le fonti di energia rinnovabile sono inesauribili. Chiaramente ci sono anche degli svantaggi che si differenziano in base al tipo di energia rinnovabile presa in considerazione, ma sostanzialmente i limiti più rilevanti riguardano la produzione su larga scala dell'energia, difficoltà di raccolta e trasformazione di essa, nonché la variabilità e l'intermittenza di produzione.

Anzitutto, si farà la distinzione tra pannelli solari termici e pannelli solari fotovoltaici, le cui finalità divergono completamente. Entrambi si servono dello stesso principio, ovvero i raggi solari, ma adottano tecnologie diverse. I primi servono a integrare il riscaldamento dell'edificio e dell'acqua sanitaria domestica. I secondi invece, servono per la produzione di energia elettrica. Di conseguenza, anche la morfologia e il funzionamento dell'impianto è differente. In maniera molto semplificata, il pannello solare termico è costituito da un assorbitore di luce solare, generalmente rame o alluminio e da una lastra di vetro posta sopra esso. Tramite un fluido termovettore, il glicole propilenico, l'energia termica che l'assorbitore

accumula scaldandosi con i raggi solari viene trasferita al bollitore che permetterà il riscaldamento dell'abitazione o dell'acqua sanitaria domestica. I pannelli solari fotovoltaici invece, sono composti da piccole lastre di silicio, chiamate appunto celle fotovoltaiche, che sono in grado di generare una differenza di potenziale tra la superficie superiore e quella inferiore tale per cui si genera corrente continua. Per rendere usufruibile questa corrente continua a livello domestico o produttivo è necessario un meccanismo elettronico chiamato *inverter* che trasforma la corrente continua in corrente alternata. I requisiti per installare un impianto fotovoltaico prevedono senza dubbio la presenza di superfici che possano essere adibite a posizionare i pannelli. Oltre a tetti e suolo si possono prendere in considerazione anche le facciate degli edifici, e generalmente si scelgono i lati più esposti verso Sud e a un'inclinazione compresa tra i 10° e i 35° per una massimizzazione della resa. L'inclinazione ideale è quantificata a 30°. La grandezza e la numerosità dei pannelli dipendono dal consumo di energia dello stabile preso in considerazione. In un edificio destinato all'abitazione ci sarà meno spazio rispetto a un fabbricato aziendale, come allo stesso modo il fabbisogno di energia del primo sarà decisamente inferiore al secondo.

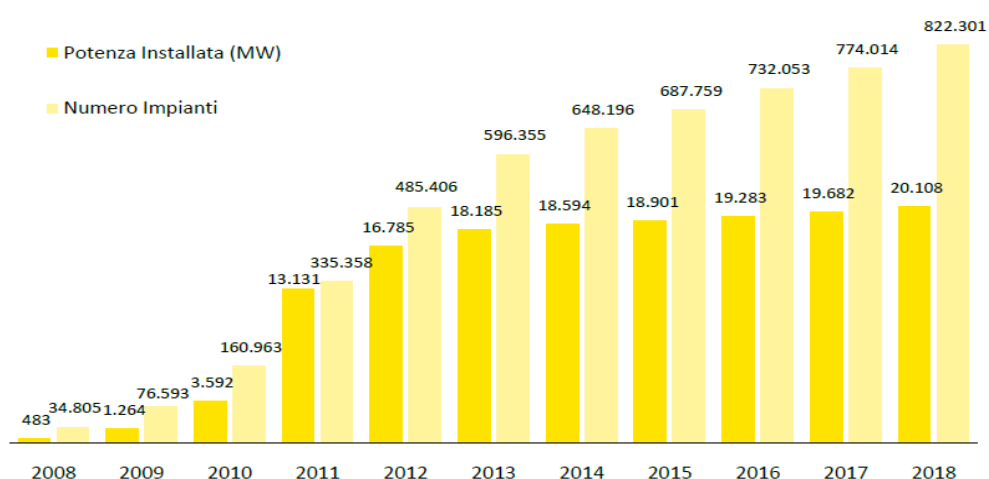
In Italia la società individuata dallo Stato italiano per perseguire e conseguire gli obiettivi della sostenibilità ambientale, attraverso le fonti rinnovabili e l'aumento dell'efficienza energetica è il Gestore dei Servizi Energetici, in sigla GSE. La società gestisce gli strumenti di incentivazione utili al raggiungimento degli

obiettivi comunitari e nazionali in materia. I suoi servizi sono rivolti tutti: privati cittadini, imprese e Pubblica Amministrazione. Oltre a ciò svolge attività di ricerca e miglioramento delle soluzioni a contrasto del cambiamento climatico e monitora i progressi compiuti a livello nazionale. L'obiettivo di un'economia decarbonizzata è la grande sfida di tutti i Paesi. L'Italia già nel 2016 raggiunse il target assegnatole dalla Comunità Europea attraverso la Direttiva 28 del 2009. È infatti riuscita a coprire il 18.1% del consumo finale lordo di energia attraverso l'energia prodotta da fonti rinnovabili, contro il 17% che le era stato richiesto dalla Direttiva entro il 2020. L'8 gennaio 2019 è stato proposto il Piano Nazionale per l'Energia e il Clima (PNEC) inviato a Bruxelles dal Ministero dello Sviluppo Economico in concerto con il Ministero dell'Ambiente e con quello dei Trasporti. Il Piano è strutturato in 5 dimensioni: decarbonizzazione, efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno dell'energia, ricerca, innovazione e competitività. Il traguardo più ambizioso al quale si tende è il *fossil fuel free* la cui scadenza è stata fissata all'anno 2040.

Per quanto riguarda il settore fotovoltaico il GSE offre diverse soluzioni: la più semplice prevede l'installazione dei pannelli finalizzati all'autoconsumo dell'energia prodotta. Poi ci sono altre possibilità che prevedono che l'energia prodotta venga messa in rete e quindi "venduta" al GSE che provvede alla corresponsione di un determinato prezzo per ogni kilowattora fornito (il kilowattora è l'energia fornita in un'ora di tempo dalla potenza di un kilowatt, misura di misura

della potenza del fotovoltaico). Ovviamente, negli impianti fotovoltaici a livello imprenditoriale la produzione di energia avviene in maniera sistemica al fine dell'ottenimento di ricavi. Sul fronte economico i vantaggi sono più che lampanti: l'investimento iniziale viene recuperato in un periodo di tempo che va dai 5 ai 7 anni, considerando che i pannelli sono garantiti per circa 20 o 25 anni. Se si tengono in considerazione gli sgravi fiscali sulla spesa iniziale, sui possibili guadagni che si possono ottenere dalla vendita dell'energia non consumata o accumulata in rete e il fatto che il valore dell'immobile aumenta se provvisto di un impianto di pannelli fotovoltaici emerge in modo chiaro il motivo per cui il numero di impianti fotovoltaici sia passato da 34805 nel 2008 a 822301 nel 2018 (Figura 3.1).

Grafico 3.1 Evoluzione della potenza e della numerosità degli impianti fotovoltaici



Fonte: GSE, 2019

Dal grafico 3.1 il trend del numero degli impianti è in costante aumento, a differenza della potenza installata che sembra rimanere piuttosto costante, soprattutto dal 2013 in poi. La causa di questo fatto potrebbe essere dovuta al fatto che chi decide di installare un nuovo impianto fotovoltaico siano privati cittadini piuttosto che imprese o aziende. Come si era detto in precedenza il fabbisogno di energia e lo spazio da destinare ai pannelli fotovoltaici dei privati cittadini sono inferiori rispetto a chi vuole usufruire di essi per uno stabile aziendale o per la produzione sistemica di energia. Di conseguenza, il numero di impianti aumenta grazie ai numerosi incentivi offerti dal GSE, ma la potenza rimane piuttosto costante perché gli impianti sono di ridotte dimensioni.

Approfondendo le specificità del settore fotovoltaico occorre precisare che esistono due tipi di pannelli: i pannelli di silicio cristallino (monocristallino o policristallino) e i pannelli a film sottile con silicio amorfo o altri materiali. I primi rappresentano la tipologia più diffusa. Il monocristallino presenta le celle fotovoltaiche tutte orientati nella stessa direzione. Questo fa sì che la produzione di energia sia maggiore in presenza di luce perpendicolare. Sono generalmente più efficienti: hanno bisogno di una superficie inferiore rispetto ai moduli policristallini per generare lo stesso quantitativo di energia. Il policristallino, o multicristallino, è meno costosa del monocristallino e questo si riflette anche sul prezzo finale. Le celle sono costituite da cristalli di silicio orientati in modo casuale. Questo fa sì che

abbiano un'efficienza inferiore se colpite perpendicolarmente dai raggi del sole. Tuttavia, questa “difetto” rappresenta anche la loro peculiarità: riescono a sfruttare meglio la luce del sole durante l'arco della giornata. Invece, i pannelli a film sottile con silicio amorfo o altri materiali sono realizzati facendo evaporare alcuni suoi composti con l'idrogeno (il Silano o il Disilano) su supporti rigidi o flessibili come il vetro, la plastica o la lamiera. Sono più economici, ma sono caratterizzati da rendimenti più bassi.

3.2) I RISCHI E GLI STRUMENTI DI GESTIONE DEL RISCHIO PER IL FOTOVOLTAICO

I pannelli fotovoltaici essendo situati all'esterno, possono subire le avversità delle calamità naturali come le abitazioni, le autovetture e qualsiasi altra cosa suscettibile di danni dovuti a qualsiasi agente esterno. Per quanto concerne i pannelli installati sulle abitazioni si potrebbe estendere la polizza sulla casa anche ai pannelli fotovoltaici. Ad oggi le nuove tecnologie garantiscono una buona robustezza dei pannelli a eventi dannosi, per esempio il più preoccupante, la grandine. Ovviamente dipende sempre dalla gravità del fenomeno, ma prevenire il potenziale danno economico tramite la copertura assicurativa è sempre consigliabile. Occorre sottolineare che gli impianti posizionati sugli edifici, tetti o pareti che siano, sono meno esposti ai rischi rispetto a un impianto a terra. Infatti, chi possiede un impianto

a terra di pannelli fotovoltaici con finalità imprenditoriali dovrà anzitutto provvedere l'impianto di un sistema di sicurezza quali impianti di telesorveglianza, recinzioni e bulloni antisvitaggio per far fronte al fenomeno molto frequente del furto. Oltre a rischi comuni come appunto furto e incendio, l'impianto a terra è maggiormente esposto a rischi ambientali e climatici dal momento che può subire le intemperie di inondazioni, tempeste di vento, sovraccarico da neve e smottamenti del suolo sul quale sono situati. Di conseguenza non saranno esclusi neppure dalle conseguenze del cambiamento climatico, già ampiamente discusse nei capitoli precedenti. Nell'immagine 3.2 si può vedere un esempio di impianto fotovoltaico danneggiato da uno smottamento.

Immagine 3.2 Immagine di un impianto fotovoltaico danneggiato da uno smottamento della collina



A maggior ragione chi svolge questa attività professionalmente si tutela sempre attraverso l'assicurazione. La polizza assicurativa solitamente comprende la copertura dei rischi furto e incendio, guasti alle macchine, danni da interruzione esercizio, responsabilità civile verso terzi e prestatori di lavoro (RCTO). La parte più interessante concerne la sezione DIE, Danni da Interruzione Esercizio, con la quale la compagnia assicurativa si obbliga a indennizzare le perdite che possono derivare da un'interruzione totale o parziale dell'attività causate da un sinistro indennizzabile appartenente alla sezione Incendio e/o Guasto macchine. Oltre a coprire gli eventuali danni diretti causati dal sinistro, viene stimata la perdita in termini economici dell'interruzione forzata dell'attività dell'impianto. Più precisamente, viene fatta una stima dell'energia che si sarebbe potuta produrre al quale viene sottratta l'energia effettivamente prodotta. Il risultato viene moltiplicato per la somma del ricavo unitario di energia e del valore dell'incentivo statale che si ha per quell'impianto. C'è però l'altro lato della medaglia. In primis occorre fare attenzione ai massimali e alle franchigie poste in atto dalle compagnie assicurative onde evitare pagamenti di indennizzi che potrebbero inficiare la loro stabilità e solvenza. Poi, a seguire, occorre notare quali fenomeni sono inclusi o meno nelle sezioni Incendio e Guasti Macchine. I fenomeni atmosferici sono ordinariamente compresi, ma accade spesso che a seguito di un evento atmosferico particolarmente grave che preveda un indennizzo molto esoso, la compagnia di assicurazione aumenti il premio annuale da pagare o addirittura si riservi di risolvere il contratto.

Nel primo caso l'imprenditore al fine di non appesantire l'azienda con il pagamento di premi esorbitanti può decidere di assicurare l'impianto per un valore minore rispetto a quello effettivo. In questo modo riesce a tutelarsi almeno in parte da conseguenze patrimonialmente negative. Nel secondo caso, non può fare altro che rivolgersi a un'altra compagnia assicurativa. Questo è un chiaro esempio delle difficoltà che un'impresa di assicurazione deve affrontare, soprattutto in materia di rischio climatico e ambientale.

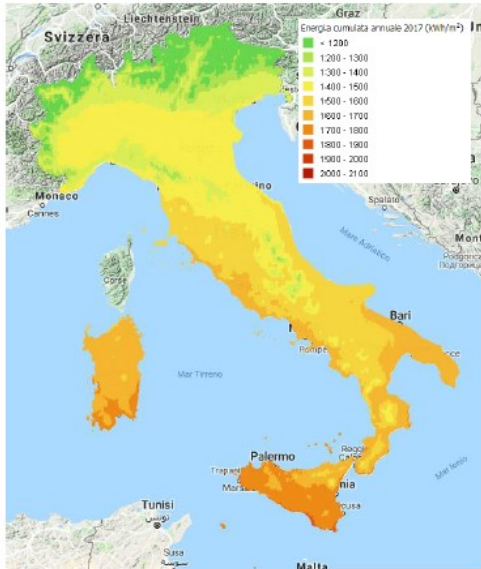
Al momento l'assicurazione è l'unico strumento di tutela nei confronti dei rischi ai quali l'impianto fotovoltaico è esposto. I *weather derivative*, come detto in precedenza stanno prendendo sempre più campo, e forse in futuro ci saranno dei contratti appetibili anche in questo settore.

3.3) GLOBAL WARMING E FOTOVOLTAICO: IL NESSO

Gli impianti fotovoltaici sono esposti alle intemperie e le avversità climatiche e ambientali che possono causare danni diretti quantificabili in maniera piuttosto precisa quando questi si verificano. Ma essi subiscono in maniera indiretta il *climate change* tutti i giorni a causa dell'ormai ben noto riscaldamento globale. Uno studio di due ricercatori del Massachusetts Institute of Technology, dal titolo "*Impact of Global Warming on Silicon PV Energy Yield in 2100*", rivela che l'aumento del riscaldamento globale influisce sull'efficienza delle celle fotovoltaiche. Lo scenario

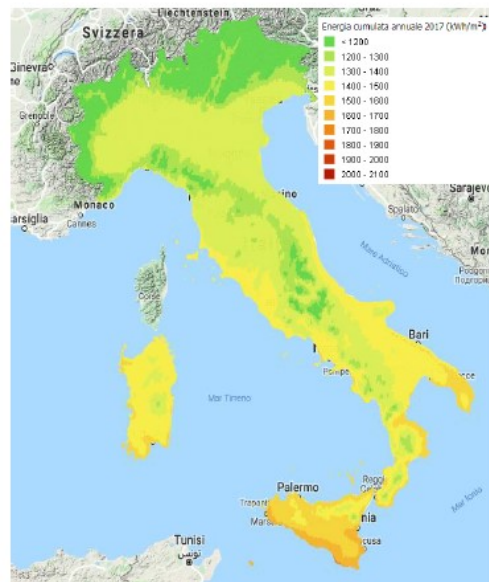
di riferimento preso in analisi dai due ricercatori è quello offerto dall'IPCC, il quale prevede un aumento di 1.8° C entro il 2100. Contrariamente a quello che si potrebbe pensare, l'aumento della temperatura influisce negativamente sull'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Gli autori dello studio utilizzano una percentuale rappresentativa, -0.45%, che indica la perdita di energia per ogni grado di aumento della temperatura. Il problema che si presenta non è banale: da una parte si cerca di incentivare il più possibile l'uso di fonti rinnovabili, tra cui il fotovoltaico, il più accessibile a tutti, ma dall'altra i rimedi stessi che si possono utilizzare per arginare il problema sono compromessi (almeno in parte) dal cambiamento climatico stesso. Ovviamente ci sono in gioco molti più fattori che il semplice aumento della temperatura quali l'irraggiamento solare, la copertura nuvolosa, il contenuto di acqua atmosferica. Le immagini 3.3 e 3.4 riportano la radiazione solare in Italia rispettivamente nel 2017 e nel 2018. Emerge chiaramente che la radiazione solare nel 2018 sia molto più bassa rispetto l'anno precedente, questo si riflette anche sulla produzione di energia (Figura 3.5). Come emerge nel grafico la produzione nel 2018 è stata di 22654 gigawatt contro i 24378 dell'anno precedente. La diminuzione della resa dei pannelli nel 2018 potrebbe essere imputata in parte anche all'aumento della temperatura se non si conoscesse il quadro generale, ma la causa principale sembra essere stata una minore radiazione solare in tutta Italia.

Figura 3.3 Radiazione solare cumulata annua del 2017



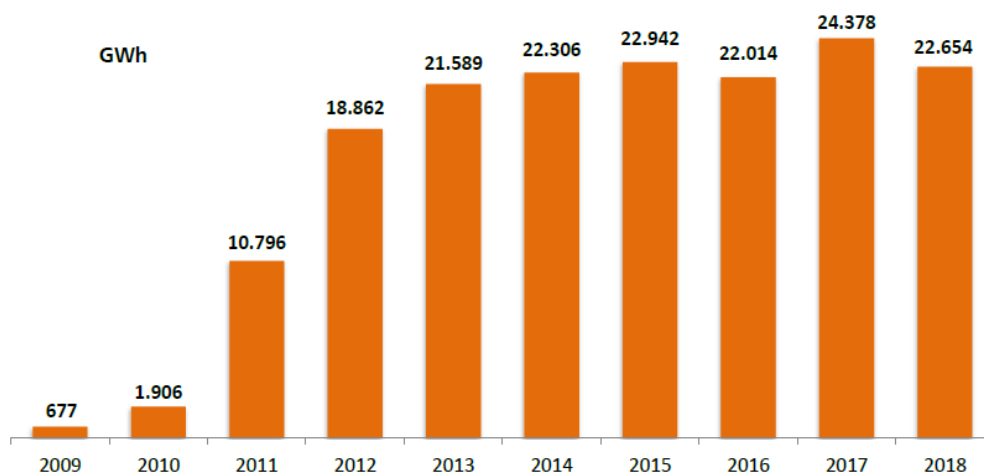
Fonte: GSE, 2018

Figura 3.4 Radiazione solare cumulata annua del 2018



Fonte: GSE, 2018

Grafico 3.5 Produzione annuale degli impianti fotovoltaici in Italia



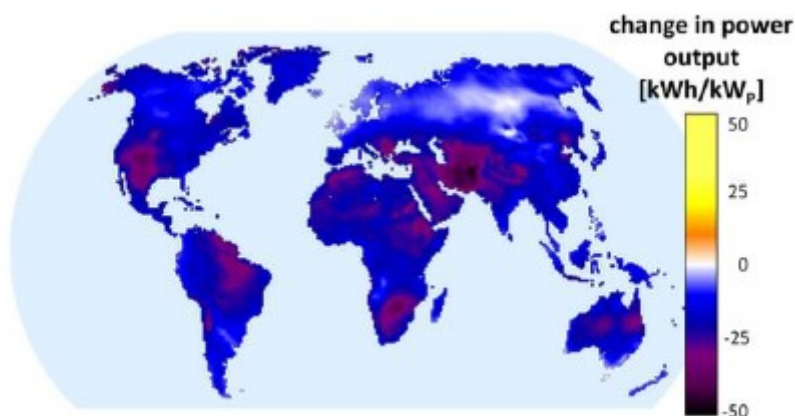
Fonte: GSE, 2018

Tanto più è alta la temperatura tanto più la resa delle celle fotovoltaiche in silicio è scadente. Infatti, la corrente continua si crea quando i raggi solari colpiscono le lastre di silicio e grazie ad essa si trasferisce energia agli elettroni del materiale. Questo processo crea dei "buchi" carichi positivamente nella struttura che scorrono nella direzione opposta agli elettroni. Un fattore importante nell'efficienza delle celle fotovoltaiche è la velocità con cui gli elettroni si ricombinano con i suddetti "buchi", detto tasso di ricombinazione. Tanto più è alta la temperatura, tanto più è alto il tasso di ricombinazione, tanto meno efficiente è il pannello fotovoltaico. Non a caso ogni volta che si disperde calore c'è anche dispersione di energia. Esattamente per questo motivo la giornata ideale per massimizzare la produzione di energia di un impianto fotovoltaico è data da una giornata soleggiata, ma con

basse temperature. Una soluzione immediata che si potrebbe porre in atto per migliorare l'efficienza dei pannelli soprattutto nei mesi estivi sarebbe un impianto di raffreddamento. È un impianto che vaporizza acqua sulla superficie dei pannelli al fine di raffreddarli, ma non si tratta di una soluzione molto ecosostenibile.

Lo studio afferma che nel 2100 la generazione di energia elettrica degli impianti fotovoltaici si ridurrà in media di 15 kilowattora per ogni kilowatt di picco installato. Per kilowatt di picco si intende la potenza teorica massima producibile da un generatore elettrico. In determinate aree del pianeta la riduzione potrà toccare anche 50 kilowattora per kilowatt di picco. L'Italia, come si evince dal grafico 3.6, sembra essere nella fascia di riduzione di energia di circa il 0.25% in meno.

Figura 3.6 Variazione globale della produzione di energia per un impianto fotovoltaico al silicio tra il 2000 e il 2100



Fonte: PETERS & BUONASSISI, 2018

CAPITOLO 4.

UNA NUOVA BARRIER OPTION PER IL FOTOVOLTAICO

4.1) LE CARATTERISTICHE DI UNA BARRIER OPTION

Ciò che si propone in questo lavoro per ovviare l'effetto negativo che l'aumento della temperatura potrebbe causare alla produzione di energia di un impianto fotovoltaico, con le inevitabili conseguenze economiche del caso, è un contratto di opzione con barriera. Di seguito, si analizzeranno le peculiarità di questo contratto, l'applicazione e i risultati ottenuti.

Il contratto di opzione con barriera fa parte delle cosiddette opzioni esotiche. La caratteristica che la rende tale vede appunto la presenza di una barriera, generalmente indicata con H . Una prima *call* del tipo *down-and-out* appare sul mercato OTC americano già nel 1967, ma bisogna attendere la fine degli anni Ottanta per veder emergere anche altre tipologie di opzioni barriera. (Sguera, 1999). Si deduce quindi, l'esistenza di diversi tipi di opzione con barriera che possono essere riassunte nello schema 4.1.

Grafico 4.1

	IN	OUT
UP	Up-and-In	Up-and-Out
DOWN	Down-and-In	Down-Out

Up o *down* indicano dove sia posta la barriera, e quindi, al di sopra del sottostante se *up*, al di sotto del sottostante se *down*. Invece, *in* e *out* esprimono l'attivazione o meno dell'opzione al raggiungimento della barriera stabilita. Più precisamente, l'opzione si attiva se la barriera è di tipo *in* e si disattiva se la barriera è di tipo *out*. L'opzione *up-and-in* si attiva solo se il sottostante raggiunge la barriera dal basso prima della scadenza. Soltanto in questo caso chi sottoscrive il contratto in una posizione *long* può esercitare l'opzione. La *down-and-in* è un contratto di opzione secondo il quale il contraente ha diritto ad esercitare l'opzione che si attiva se la barriera viene raggiunta dall'alto prima della scadenza. In entrambi i casi se la barriera non viene raggiunta il contratto di opzione non si attiva affatto. Invece, la *up-and-out* prevede che l'opzione scada nel momento in cui il sottostante raggiunge la barriera dal basso. E per finire, l'opzione *down-and-out* il cui esercizio è precluso quando la barriera è raggiunta dall'alto. In questi ultimi due casi, il diritto di opzione continua ad esistere finché il sottostante non tocca la barriera.

Quando la barriera è posta nella regione *out-of-the-money* si otterranno barriere più comunemente note come *regular* o *standard barrier*. Nel caso di una *call* la barriera sarà posta al di sotto del prezzo strike (indicato con K). Viceversa, nel caso di una *put* la barriera viene posta al di sopra del prezzo strike. Appartengono a questa categoria i seguenti contratti:

- *down-and-out call*: la barriera H ha un valore inferiore al prezzo strike K. Affinché l'opzione non scompaia l'attività sottostante non deve scendere al di sotto del valore barriera. Per questo motivo le oscillazioni di prezzo del sottostante hanno come limite minimo la barriera stessa. Chi sottoscrive questo tipo di opzione si aspetta una volatilità bassa e una tendenza al rialzo del sottostante. Il premio diminuisce al diminuire dell'ampiezza dell'intervallo tra la barriera H e il prezzo strike K. (Sguera, 1999)
- *down-and-in call*: anche in questo caso la barriera H è al di sotto del prezzo strike K essendo un'opzione di tipo *down*. Affinché l'opzione si attivi è necessario che il sottostante raggiunga la barriera dall'alto. La sottoscrizione di questo tipo di contratto è interessante per chi ha un sottostante caratterizzato da alta volatilità e voglia limitare le eventuali perdite. Per questo motivo, tanto più piccola è la distanza tra lo *strike price* e la barriera, tanto più alto sarà il premio.
- *up-and-out put*: la barriera si trova sempre nella regione *out-of-the-money* ed essendo una *put* si trova al di sopra del prezzo strike. Questa tipo di

contratto è sottoscritto da coloro che ipotizzano una bassa volatilità e una tendenza al ribasso del sottostante. Infatti, al diminuire dell'ampiezza tra lo *strike price* e la barriera diminuirà anche il premio dal momento che aumenta la probabilità che il sottostante raggiunga la barriera e che quindi l'opzione si disattivi.

- *Up-and-in put*: anche questa essendo una *put* vede la barriera posizionata al di sopra dello *strike price*. Per l'attivazione dell'opzione il sottostante deve raggiungere la barriera. Generalmente viene sottoscritta da chi si aspetta una alta volatilità. Di conseguenza, il premio aumenta al diminuire della distanza barriera-*strike price* perché a parità di altri fattori aumenta la probabilità che l'opzione si attivi.

Esistono anche le *reverse barrier* che, a differenza delle *regular*, presentano la barriera nella regione *in-the-money*. Di seguito, le caratteristiche per ogni tipo:

- *Up-and-out call*: come anticipato pocanzi, la barriera H è maggiore dello *strike price*. Questo implica che ci sarà un limite massimo al profitto che si può conseguire, perché una volta superata la barriera il contratto di opzione si disattiva. Il detentore di questa opzione ha prospettive lievemente rialziste e bassa volatilità. Il premio diminuisce al diminuire dell'ampiezza dell'intervallo *strike price*-barriera perché aumenta la probabilità che la barriera venga raggiunta.

- *Up-and-in call*: stessa dinamica del precedente contratto con la differenza che l'opzione si attiva al raggiungimento della barriera. Il contraente ipotizza una tendenza rialzista che gli consenta di raggiungere la barriera ed eventualmente esercitare l'opzione. Il premio aumenta al diminuire dell'ampiezza dell'intervallo *strike price*-barriera perché aumenta la probabilità che la barriera venga raggiunta.
- *Down-and-out put*: essendo una put la barriera sarà inferiore al prezzo di esercizio. Il contraente ha tendenze leggermente ribassiste e si aspetta una volatilità contenuta poiché se il sottostante scende al di sotto della barriera l'opzione cessa di esistere. Il premio diminuisce al diminuire dell'ampiezza dell'intervallo tra *strike price* e barriera.
- *Down-and-in put*: anche in questo caso la barriera sarà posizionata al di sotto del prezzo strike. L'opzione si attiva solo nel caso in cui il sottostante scende al di sotto della barriera. Il premio aumenta tanto più l'intervallo tra *strike price* e barriera diminuisce.

Oltre alle *regular* e *reverse barrier* ci sono ulteriori tipologie di contratto di opzione con barriera. Tra queste ci sono le *parisian options* che prevedono che la barriera debba essere superata per un certo periodo di tempo minimo prima che il *knock-in* o il *knock-out* possano avere luogo. (Sebastiani, 2016). Le *double barrier* che invece si contraddistinguono per la presenza di due barriere, una *up* e una *down* rispetto al sottostante corrente, che una volta raggiunte fanno disattivare l'opzione.

A seguire, le *mid-atlantic* o *bermuda barrier* prevedono un monitoraggio della barriera limitato ad alcuni intervalli di tempo. Se l'intervallo del monitoraggio della barriera riguarda soltanto una parte di tutta la vita dell'opzione si parla di *partial barrier*. Se il monitoraggio inizia dopo la sottoscrizione del contratto e perdura fino a scadenza l'opzione prende il nome di *forward-start barrier*.

I *payoff* per le *regular barrier* sono i seguenti:

$$\text{down-and-out call} \begin{cases} \text{Max} [0, S_T - K] & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) > H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \leq H \end{cases}$$

$$\text{down-and-in call} \begin{cases} \text{Max} [0, S_T - K] & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \leq H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) > H \end{cases}$$

$$\text{up-and-out put} \begin{cases} \text{Max} [0, K - S_T] & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) < H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \geq H \end{cases}$$

$$\text{up-and-in put} \begin{cases} \text{Max} [0, K - S_T] & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \geq H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) < H \end{cases}$$

S_T rappresenta il prezzo *spot* del sottostante a scadenza, τ indica un momento determinato prima della scadenza, T è la scadenza, H è il livello di prezzo in corrispondenza del quale è fissata la barriera, mentre $S(\tau)$ rappresenta il prezzo del sottostante rilevabile nell'istante τ . (Sguera, 1999)

Di seguito invece, i *payoff* delle *reverse barrier*:

$$\text{up-and-out call} \begin{cases} \text{Max} [0, S_T - K] & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) < H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \geq H \end{cases}$$

$$\text{up-and-in call} \begin{cases} \text{Max} [0, S_T - K] & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \geq H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) < H \end{cases}$$

$$\text{down-and-out put} \begin{cases} \text{Max} [0, K - S_T] & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) > H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \leq H \end{cases}$$

$$\text{down-and-in put} \begin{cases} \text{Max} [0, K - S_T] & \text{se per qualche } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) \leq H \\ 0 \text{ (o } R) & \text{se per ogni } \tau \leq T \text{ risulta } S(\tau) > H \end{cases}$$

Altra peculiarità delle opzioni con barriera è che esse possono prevedere per contratto il cosiddetto *rebate*, indicato con R , ovvero un rimborso che spetta al

contraente in posizione *long* qualora il sottostante abbia un andamento sfavorevole a tal punto che non permetta l'attivazione, se *knock in*, o la disattivazione, se *knock out*, del contratto di opzione. Quindi, in mancato perforamento della barriera il *payoff* sarà rappresentato dal *rebate* definito nel contratto e non più da 0.

4.2) UNA UP-AND-IN BARRIER OPTION PER IL FOTOVOLTAICO

Ciò che si propone con questa tesi è la costruzione di un'opzione con barriera finalizzata a coprire le eventuali perdite dovute all'aumento della temperatura per un impianto fotovoltaico. Più precisamente, si avanza l'ipotesi di un contratto di opzione di tipo *up-and-in put*, in cui i gestori dell'impianto fotovoltaico assumeranno la posizione *long*.

Innanzitutto, un'opzione con barriera di tipo *up-and-in put* prevede che nel momento in cui la barriera venga raggiunta dal basso, il contratto di opzione si attivi. Questo, una volta attivato, avrà le caratteristiche di un'opzione *plain vanilla* di tipo europeo la cui facoltà di esercizio è ammessa solo alla scadenza del contratto. Diversamente avviene per le opzioni di tipo americano che possono essere esercitate in ogni momento prima della scadenza (Degregori & Partners, 2018). La differenza tra una *plain vanilla* e una *barrier option* sta fondamentalmente nella presenza della barriera, ed è proprio in conseguenza di questa che le seconde sono

più economiche delle prime. Il fatto che l'opzione nel caso delle *knock in* potrebbe non attivarsi e nel caso delle *knock out* potrebbe disattivarsi limita le opportunità di esercizio dell'opzione stessa. Nel caso della put, per il detentore ci sarà la possibilità di vendere l'attività sottostante al prezzo strike stabilito dal contratto. Il contratto verrà utilizzato con finalità di *hedging* delle perdite causate dagli effetti economicamente rilevanti del *global warming*. Il *pricing* dell'opzione verrà calcolato tramite il modello di Black e Scholes che permette di calcolare il valore dell'opzione sulla base della conoscenza dei seguenti fattori: S, il prezzo del sottostante al momento della sottoscrizione del contratto, H, il valore della barriera, raggiunto il quale fa attivare l'opzione, K, lo *strike price* ovvero il prezzo che si otterrà a scadenza dalla vendita dell'attività sottostante nel caso in cui la barriera venga perforata, r il tasso di interesse *risk-free* con la medesima scadenza dell'opzione, t la vita residua dell'opzione e infine σ , la volatilità dell'attività sottostante.

La formula per il calcolo della *up-and-in put* è la seguente:

$$P_{UI} = \left(\frac{H}{S}\right)^{\frac{2a}{\sigma^2}} \left[e^{-rt} K \cdot N\left(\frac{\ln(SK/H^2) - rt + \sigma^2 t/2}{\sigma\sqrt{t}}\right) - \left(\frac{H^2}{S}\right) N\left(\frac{\ln(SK/H^2) - rt - \sigma^2 t/2}{\sigma\sqrt{t}}\right) \right]$$

con $a = r - \sigma^2/2$.

Si può confrontare questa formula con quella della *plain vanilla* per coglierne le differenze:

$$P = e^{-rt}K \cdot N\left(\frac{\ln(S/K) - rt + \sigma^2 t/2}{\sigma\sqrt{t}}\right) - S \cdot N\left(\frac{\ln(S/K) - rt - \sigma^2 t/2}{\sigma\sqrt{t}}\right)$$

Se nell'equazione della *up-and-in put* si sostituisce S/H^2 a S si può facilmente identificare la relazione che lega la formula Black e Scholes per le *put vanilla* a quella della *up-and-in put* dell'opzione con barriera. Infatti:

$$P_{UI} = \left(\frac{H}{S}\right)^{\frac{2a}{\sigma^2}} \cdot P_{BS}\left(\frac{S}{H^2}, K\right)$$

P_{BS} indica la formula classica di Black e Scholes per le put espressa come funzione di S/H^2 anziché di S e del prezzo strike K . Nella prima formula si possono comunque riconoscere i connotati fondamentali della formula di Black e Scholes. In primis, il fattore di sconto e^{-rt} , il $\ln(S/K)$, che in questo caso è $\ln(SK/H^2)$ per via della barriera e infine le probabilità normali standardizzate.

Per quanto riguarda il valore di un eventuale *rebate* si fa riferimento alla seguente formula:

$$V_R = e^{-rt}R \left[N \left(-\frac{\ln(S/H) + at}{\sigma\sqrt{t}} \right) - \left(\frac{H}{S} \right)^{\frac{2a}{\sigma^2}} N \left(\frac{\ln(H/S) + at}{\sigma\sqrt{t}} \right) \right]$$

R è la cifra stabilita dal contratto da rimborsare in caso di mancato raggiungimento della barriera. Il valore del *rebate*, V_R , va sommato al prezzo dell'opzione per ottenere il prezzo dell'opzione finale come segue:

$$P_{UI}^* = P_{UI} + V_R$$

Entrando nel merito della questione si analizzeranno tutte le variabili che compongono la *barrier option* destinata al fotovoltaico. Sono necessarie due premesse: nella prima si fa presente che il pilastro fondamentale dell'opzione proposta va ricercato nella relazione negativa che sussiste tra aumento della temperatura e produzione dell'energia dell'impianto. Ovvero sul dato secondo cui per ogni grado di aumento della temperatura si perde lo 0.45% di efficienza nella produzione di energia. La seconda premessa che va fatta riguarda le principali ipotesi del modello di Black e Scholes dal momento che, come anticipato, verrà utilizzato per il calcolare il prezzo dell'opzione. Le ipotesi del modello sono:

- l'andamento del sottostante segue un moto geometrico browniano
- il tasso di interesse privo di rischio r e la volatilità σ sono costanti nel tempo

- non esistono opportunità di arbitraggio
- non esistono costi di transazione o tasse
- la negoziazione dell'attività sottostante avviene in maniera continua
- può essere acquistata o venduta qualsiasi quantità dell'attività sottostante

L'opzione put con barriera di tipo *up-and-in* per il fotovoltaico prevede che il sottostante sia rappresentato da un valore legato alle temperature annuali prese in considerazione. Questo valore rappresenta la perdita in termini monetari che il gestore dell'impianto fotovoltaico subisce a causa del *global warming*. Verrà fissata una barriera sulla base delle temperature passate o sulle aspettative future. La scadenza del contratto è fissata a 5 anni e qualora la temperatura annuale, entro il suddetto arco di tempo, tocchi o superi la barriera, il gestore dell'impianto vedrà corrispondersi il prezzo strike, anch'esso stabilito dal contratto. Il prezzo strike potrà variare in base alla considerazione o meno del fattore obsolescenza dell'impianto. Si effettueranno entrambi gli scenari per fare un confronto. Così facendo, si otterrà un prodotto finanziario il cui funzionamento è molto simile alla polizza assicurativa la cui tutela però, è volta a coprire le perdite (almeno in parte) subite dall'impianto fotovoltaico a causa dell'aumento della temperatura. Si potrebbe affermare che esercitando l'opzione, l'azienda riesca a “vendere” la parte di energia non prodotta a causa del *global warming*. È intuitivo il fatto che nel momento in cui la barriera venisse raggiunta, l'esercizio dell'opzione è dato per certo dal momento che il sottostante rappresenta un mancato guadagno.

Per l'applicazione di questo contratto è stato considerato un impianto fotovoltaico situato nella regione Marche in attività da novembre 2010. Una volta analizzate tutte le variabili necessarie a prezzare l'opzione saranno presentati e discussi 3 diversi scenari, due dei quali collocati nel passato, negli anni 2011 e 2015 e uno attuale, 2020. Il motivo per cui sono stati presi in considerazione questi anni va ricercato nel fatto che essendo il contratto di opzione di 5 anni si è tentato di calcolare il contratto nei due quinquenni precedenti. Essendo, però, l'impianto sul quale calcolare l'opzione in funzione da novembre 2010, si dispongono di dati completi riguardo la produzione di energia annuale dell'impianto soltanto per 9 anni. Di conseguenza, ciò ha condotto a una sovrapposizione della durata dei contratti degli anni 2011 e 2015. Ci si servirà degli scenari collocati nel passato per verificare l'effettiva coerenza dell'opzione come strumento di tutela contro le perdite dovute all'aumento della temperatura nonché per comprenderne le dinamiche nel tempo ed eventuali criticità.

Per quanto riguarda il sottostante S di questo contratto si fa riferimento alle temperature medie annuali rilevate nella stazione di Bologna nel periodo 1814-2020.¹ Ogni temperatura è stata associata a una perdita in termini monetari che tiene in considerazione la perdita di efficienza di 0.45% per ogni grado di aumento di

¹ Dataset ECA&D, European Climate Assessment & Dataset, Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. Int. J. of Climatol., 22, 1441-1453. Sito <https://www.ecad.eu/>

temperatura e la grandezza dell'impianto fotovoltaico oggetto di studio, o meglio, la quantità di energia prodotta in un anno. Per far sì che ciò sia possibile è necessario stabilire una temperatura minima che non sia mai stata raggiunta nel periodo preso in considerazione per poter assegnare un valore in termini monetari a ogni temperatura annuale rilevata. La temperatura minima assoluta nel periodo 1814-2020 è di 11.58°C. Si decide quindi, di fissare a 11.50°C la temperatura minima dal quale calcolare la perdita di efficienza. Dopodiché, occorre conoscere l'ammontare dell'energia prodotta dall'impianto nell'ultimo anno (espressa in kWh) e infine quanti euro vengono corrisposti all'azienda per ogni kWh di energia prodotta. Sono state utilizzate le temperature annuali medie della stazione di Bologna perché forniscono valori aggiornati al 2019 e coprono un arco di tempo decisamente ampio. Chiaramente, l'ideale sarebbe quello di servirsi di temperature medie annuali rilevate il più possibile vicino all'ubicazione dell'impianto, ma non essendo disponibili o con valori mancanti è stato preso in considerazione il dataset già citato. Nella tabella 4.1 viene riportato sinteticamente il modo in cui viene definito l'asset price del contratto di opzione relativamente al decennio 2009-2018. Nella prime due colonne sono riportate rispettivamente l'anno e la relativa temperatura registrata. A seguire, nella terza colonna si calcola la differenza con il minimo stabilito in precedenza di 11.50°C. Nella quarta colonna viene riportata la produzione dell'impianto, in questo caso, relativa all'anno 2019, sul quale si calcola accanto, la perdita per un grado di aumento di temperatura espressa in kWh annui,

ovvero 0.45%. Il valore che emerge dal calcolo verrà poi moltiplicato per la differenza di temperatura annuale registrata con il minimo 11.50°C e moltiplicato a sua volta per € 0.34, ovvero il guadagno che l'azienda ottiene dalla produzione di un kWh. Il valore € 0.34 è stato ottenuto dalla sezione Danni da Interruzione Esercizio (DIE) del contratto di polizza dell'impianto stesso. Come già detto nel capitolo 3, la sezione DIE prevede la corresponsione di un indennizzo in base ai mancati guadagni dovuti a un'interruzione forzata dell'attività che viene appunto calcolata in base agli incentivi GSE che possiede l'impianto. Il sottostante della *barrier option* sarà quindi rappresentato dall'ultima colonna, la quale, si ricorda, rappresenta soltanto una parte dell'intero dataset di dati.

Grafico 4.2

Anno	Temperatura (°C)	Differenza temperatura annuale e 11,5°C	Produzione impianto anno 2019 (in kWh)	Perdita +1°C (0,45%)	Perdita annuale stimata	Perdita stimata in € (SOTTOSTANTE)
2009	14,25	2,75	1.316.666	5.925	16.293,74	5.539,87
2010	12,94	1,44	1.316.666	5.925	8.532,00	2.900,88
2011	14,30	2,80	1.316.666	5.925	16.589,99	5.640,60
2012	13,99	2,49	1.316.666	5.925	14.753,24	5.016,10
2013	13,70	2,20	1.316.666	5.925	13.034,99	4.431,90
2014	14,14	2,64	1.316.666	5.925	15.641,99	5.318,28
2015	13,79	2,29	1.316.666	5.925	13.568,24	4.613,20
2016	14,69	3,19	1.316.666	5.925	18.871,12	6.416,18
2017	15,02	3,52	1.316.666	5.925	20.855,99	7.091,04
2018	15,00	3,50	1.316.666	5.925	20.737,49	7.050,75

Per quanto riguarda la barriera sono state avanzate diverse possibilità. Pensare di fissarla a un valore di perdita che corrisponde alla media o alla mediana della temperatura degli ultimi 5 anni sembra la cosa più intuitiva da porre in atto. La tabella 4.2 è un prospetto in cui si possono osservare i valori medi e mediani riferiti ai quinquenni 2006-2010 per il calcolo della *barrier option* al 1 gennaio 2011, 2010-2014 per la *barrier option* al 1 gennaio 2015 e infine 2015-2019 per la *barrier option* al 1 gennaio 2020.

Grafico 4.3

2011		2015		2020	
Anno	Temperatura	Anno	Temperatura	Anno	Temperatura
2006	14,93	2010	12,94	2015	13,79
2007	14,12	2011	14,30	2016	14,69
2008	14,29	2012	13,99	2017	15,02
2009	14,25	2013	13,70	2018	15,00
2010	12,94	2014	14,14	2019	15,00
MEDIA	14,11	MEDIA	13,81	MEDIA	14,70
MEDIANA	14,25	MEDIANA	13,99	MEDIANA	15,00
ASSET PRICE	12.94	ASSET PRICE	14,14	ASSET PRICE	15,00

La media e la mediana sono entrambi degli indicatori sintetici che esprimono le caratteristiche di un insieme di dati. La differenza tra le due è che la seconda si afferma essere più robusta rispetto la prima in quanto risente meno dei valori estremi o anomali. Per esempio, nel 2010 la temperatura risulta essere 12.94 °C e

sembra essere un valore anomalo rispetto la temperatura dell'anno precedente, 14.25°C, e l'anno successivo, 14.30°C.

Si presenta però un problema: la barriera H non può essere inferiore all'asset price S, ovvero il valore dell'attività sottostante al momento della sottoscrizione del contratto. Analizzando il prospetto emerge che nel 2011 sia media che mediana sono maggiori dell'asset price, ma occorre anche considerare che l'asset price in questo caso è il valore anomalo prima citato di 12.94°C. Nel 2015 invece, situazione opposta: sia media che mediana sono inferiori all'asset price e quindi non possono essere utilizzate come barriere. E infine, nel 2020 la mediana è coincidente con l'asset price, mentre invece la media è inferiore ad esso. Come soluzione, nell'eventualità che la mediana sia inferiore all'asset price, si costruirà la barriera come segue:

$$H = \text{Temperatura relativa al Sottostante} + 0.12^{\circ}\text{C}$$

Quell'aumento di 0.12°C sull'asset price deriva da una stima dell'aumento della temperatura futura fornita dallo scenario RCP5.5 del rapporto dell'IPCC "*Climate Change 2013 the physical science basis*". L'IPCC calcola che l'aumento della temperatura sia di 0.4°C ogni 10 anni. Di conseguenza, su base quinquennale, si tratta di +0.2°C e annualmente di 0.04°C. Si ipotizza quindi che la temperatura subisca un incremento di 0.04°C ogni anno. Calcolando la media su 5 anni si ottiene

appunto $+0.12^{\circ}\text{C}$ utilizzato per spostare di pochissimo la barriera dall'asset price. Qualora infatti, si lasciasse la barriera uguale al valore dell'asset price, il prezzo del premio sarebbe più alto perché la probabilità che l'opzione si attivi aumenta al diminuire della distanza tra asset price e barriera. Essendo in questo caso coincidenti, il premio non può che essere maggiore.

Per quanto riguarda lo *strike price* K , si sa che nel momento in cui viene raggiunta la barriera si ha una perdita del valore del sottostante corrispondente a quella temperatura considerata come barriera. La questione che si pone in questo caso è un'altra. Il contratto di opzione si è detto essere di 5 anni e si conosce con certezza la perdita subita nel momento in cui la barriera viene raggiunta una sola volta. Ma non si può sapere con altrettanta certezza quanti altri anni dei 5 coperti dal contratto raggiungeranno la barriera e di conseguenza a quanto ammonterà la perdita subita finale. Attraverso lo *strike price* si decide la quota di copertura delle perdite che si possono subire. Si tratta quindi, di moltiplicare lo *strike price* per un numero da 1 a 5 che rifletta in maniera realistica il numero delle volte che la temperatura possa superare la barriera. Nel 2011 la situazione è riassunta nel seguente schema:

Tabella 4.4

2011				
Anno	Temperatura	Superamento barriera 2006-2010		
		Media	Mediana	Asset price+0,12°C
2006	14,93	1	1	1
2007	14,12	1	0	1
2008	14,29	1	1	1
2009	14,25	1	1	1
2010	12,94	0	0	0
	Totale	4	3	4

	°C	€
MEDIA	14,11	4.836,67
MEDIANA	14,25	5.103,93
ASSET PRICE+0,12°C	13,06	2.895,32
ASSET PRICE	12,94	2.672,60

Una ipotetica barriera media nel quinquennio precedente è stata superata 4 volte, la mediana 3 e l'asset price aumentato 4. E', però, più interessante capire se adottando le diverse barriere e il numero relativo di superamenti di esse nel passato si trova effettivamente riscontro con le temperature effettivamente registrate nei 5 anni successivi. I risultati, riassunti di seguito.

Tabella 4.5

2011				
Anno	Temperatura	Superamento effettivo		
		Media	Mediana	Asset price+0,12°C
2011	14,30	1	1	1
2012	13,99	0	0	1
2013	13,70	0	0	1
2014	14,14	1	0	1
2015	13,79	0	0	1
	Totale	2	1	5

Come si può constatare, la barriera media è stata effettivamente superata 2 volte, la mediana 1 e l'asset price aumentato 5. Occorre fare le dovute considerazioni: per quanto riguarda l'asset price aumentato è chiaro che il numero di volte in cui è stato superato è il massimo perché l'asset price del 2011 era un valore, come già sottolineato, anomalo rispetto agli altri. Per quanto riguarda media e mediana, entrambe sono state superate due volte in meno rispetto al passato, anche se si può notare che ci sono dei valori della temperatura registrate inferiori di pochissimo ad esse, ma che non sono stati contati perché comunque inferiori. A ogni modo, il contratto di opzione si sarebbe attivato per tutte e tre le barriere fissate e lo *strike price*, nel caso della barriera media e mediana, se calcolato moltiplicando il valore monetario corrispondente alla barriera per il numero di volte in cui la barriera è

stata superata nei 5 anni precedenti, sarebbe stato troppo alto rispetto le perdite effettivamente verificatesi generando un profitto per il gestore dell'impianto.

Proseguendo con l'analisi, di seguito il prospetto del 2015:

Tabella 4.6

2015				
Anno	Temperatura	Superamento nel passato		
		Media	Mediana	Asset price+0,12°C
2010	12,94	0	0	0
2011	14,30	1	1	1
2012	13,99	1	1	0
2013	13,70	0	0	0
2014	14,14	1	1	0
	Totale	3	3	1

	°C	€
MEDIA	13,81	4.203,00
MEDIANA	13,99	4.522,68
ASSET PRICE+0,12°C	14,26	5.013,08
ASSET PRICE	14,14	4.795,12

Media e mediana sono state superate nel passato entrambe 3 volte. L'asset price aumentato invece, soltanto una. Ma si può affermare fin da subito che in questo caso né media né mediana potranno essere assunte come barriere dal momento che l'asset price è superiore a entrambe.

Tabella 4.7

2015				
Anno	Temperatura	Superamento effettivo		
		Media	Mediana	Asset price+0,12°C
2015	13,79	0	0	0
2016	14,69	1	1	1
2017	15,02	1	1	1
2018	15,00	1	1	1
2019	15,00	1	1	1
	Totale	4	4	4

Diversamente dallo scenario del 2011, nel 2015 si verifica la situazione opposta: se si fosse posta la barriera sull'asset price aumentato e per definire lo *strike price* moltiplicato il valore monetario corrispondente per il numero di volte in cui è il valore è stato superato nei 5 anni precedenti, in questa occasione la copertura delle perdite sarebbe risultata soltanto parziale. Infatti, la barriera dell'asset price aumentato è stata raggiunta 4 volte su 5 anni.

Infine, per concludere si presenta la situazione del 2020:

Tabella 4.8

2020				
Anno	Temperatura	Superamento nel passato		
		Media	Mediana	Asset price+0,12°C
2015	13,79	0	0	0
2016	14,69	0	0	0
2017	15,02	1	1	0
2018	15,00	1	1	0
2019	15,00	1	1	0
	Totale	3	3	0

	°C	€
MEDIA	14,70	6.444,38
MEDIANA	15,00	7.050,75
ASSET PRICE+0,12°C	15,12	7.292,50
ASSETPRICE	15,00	7.050,75

In questo caso, la media è inferiore al sottostante, la mediana invece è coincidente con esso. Volgendo lo sguardo alle temperature nel passato, si evince che la mediana è stata superata 3 volte, e l'asset price aumentato 0.

In definitiva, per quanto riguarda la barriera si considerano come opzione migliori la mediana, per via della robustezza che invece manca alla media aritmetica e qualora questa dovesse essere inferiore all'asset price, si farà riferimento all'asset price +0.12°C. Dopo aver definito la barriera occorre definire per quanti anni sul totale di vita del contratto il prezzo strike coprirà le perdite in caso di attivazione dell'opzione. Si può constatare che basarsi sul superamento della barriera nei 5 anni precedenti può condurre a sovrastime o sottostime. Per questa ragione, in questa sede si propone di coprire le perdite di 3 anni su 5 totali del contratto, non potendo fare affidamento sul fatto che le temperature passate siano indicative di quelle future. La copertura di 3 anni su 5 totali sembra essere un buon compromesso dal momento che copre leggermente più della metà delle perdite potenziali di 5 anni ed essendo un valore scelto in maniera forfettaria non dipende dal numero di superamenti della barriera nel passato.

Per una miglior stima dello *strike price* invece, anziché basare le perdite sulla produzione di energia dell'impianto dell'anno precedente, si può fare una stima più accurata introducendo nel calcolo le ipotesi di produzione futura di energia. È chiaro come anche gli impianti fotovoltaici non siano immuni dagli effetti dell'obsolescenza da un anno all'altro. Le ipotesi di produzione vengono calcolate sottraendo il 6% ogni anno sulla produzione dell'anno precedente. Un esempio:

Tabella 4.9

Anno	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ipotesi produzione [kWh]	1.316.666	1.308.766	1.300.913	1.293.108	1.285.349	1.277.637	1.269.971

Questi valori verranno utilizzati per calcolare lo *strike price*. Anziché moltiplicare per 3 il valore di perdita assegnato alla barriera, si utilizzerà la stima della perdita di energia in euro (0.45% e € 0.34) calcolate sulla media delle ipotesi di produzione di energia nei 5 anni successivi.

Per concludere, sono rimaste 2 variabili da analizzare: la volatilità, indicata con σ , che viene calcolata sul logaritmo della variazione del sottostante, più precisamente $\ln(S_t/S_{t-1})$ anno per anno. Così facendo, si assume che l'andamento delle variazioni del sottostante abbia un andamento log-normale, come il modello di Black e Scholes prevede. A seguire sono necessari i tassi di interesse *risk-free* per gli anni in cui si intende calcolare l'opzione. Sono stati presi come riferimento i

tassi dei BTP a 5 anni degli anni 2011, 2015 e 2020, i cui valori sono rispettivamente 3%, 1.05% e 0.64% (Dipartimento del Tesoro, 2020)

Pertanto, di seguito sono riportati gli output relativi agli anni 2011, 2016 e 2020 i quali mostrano il valore dell'opzione secondo le due barriere, mediana e asset price +0.12°C e calcolando lo *strike price* senza considerare le ipotesi di produzione future.

Tabella 4.10

	BARRIERA			
2011	MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE+0,12°C	13,06
TASSO DI INTERESSE		0,03		0,03
ASSET PRICE		2672,60		2.672,60
VOLATILITY		0,4788		0,47880
STRIKE PRICE		15.311,79		8.685,97
BARRIERA		5.103,93		2.895,32
UP AND IN PUT		4.064,90		4.619,79

Tabella 4.11

	BARRIERA			
2015	MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE+0,12°c	14,26
TASSO DI INTERESSE		0.0105		0,0105
ASSET PRICE		4.795,12		4.795,12
VOLATILITY		0.4766		0,4766
STRIKE PRICE		15.039,08		15.039,25
BARRIERA		4522,68		5.013,08
UP AND IN PUT		MEDIANA < S		9428,68

Tabella 4.12

	BARRIERA			
2020	MEDIANA=	15,00	ASSET PRICE+0,12°C	15,12
TASSO DI INTERESSE		0,0064		0,0064
ASSET PRICE		7.050,75		7.050,75
VOLATILITY		0,4715		0,4715
STRIKE PRICE		21.152,26		21.877,49
BARRIERA		7.050,75		7.292,50
UP AND IN PUT		14.380,57		14.243,73

Per quanto riguarda il 2011, il premio calcolato con barriera mediana è tutto sommato contenuto rispetto al prezzo strike. Infatti, si pagherebbero € 4064,90 per ottenere eventualmente a scadenza un indennizzo di € 15311,79. Le cause vanno ricercate nel fatto che la mediana è in questo caso molto lontana dall'asset price e quindi ci sono poche probabilità che venga raggiunta. Il premio, con barriera aumentata, è di poco superiore al premio precedente, ma lo *strike price* in questo caso è decisamente inferiore. A fronte di un pagamento di € 4619,79 si ottiene nell'eventualità che la barriera venga raggiunta un prezzo strike di €8685,97. L'anno 2015 invece, ricorrendo alla barriera come asset price +0.12°C per via dell'inferiorità della mediana all'asset price, si pagherebbe un premio di circa € 9400 con a fronte uno strike di € 15000 circa. Più interessante lo scenario offerto dall'anno 2020. Il fatto che la barriera mediana sia coincidente con l'asset price rende già il premio massimo, fermo restando gli altri parametri. Nel momento in cui ci si discosta poco dalla barriera mediana, riferendoci quindi alla barriera

aumentata, si può osservare come l'aumento del prezzo strike e quindi delle perdite che dovrebbe far aumentare il premio è "neutralizzato" dal fatto di aver spostato la barriera leggermente più in alto rispetto l'asset price. Si avrà quindi un premio leggermente inferiore, per uno strike leggermente maggiore.

A seguire, gli stessi prospetti in cui però si considera anche l'obsolescenza dell'impianto per i 5 anni successivi.

Tabella 4.13

	BARRIERA			
2011	MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE + 0,12°C=	13,06
TASSO DI INTERESSE		0,03		0,03
ASSET PRICE		2.672,60		2.672,60
VOLATILITY		0,4788		0,4788
STRIKE PRICE		5.501,51		5.501,51
BARRIERA		5.103,93		2.895,32
UP-AND-IN		621,74		2.364,18

Tabella 4.14

	BARRIERA			
2015	MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE + 0,12°C=	14,26
TASSO DI INTERESSE		0,0105		0,0105
ASSET PRICE		4.795,12		4795,12
VOLATILITY		0,4766		0,4766
STRIKE PRICE		5.384,01		5384,01
BARRIERA		4.522,68		5013,08
UP-AND-IN		Mediana < S		1954,33

Tabella 4.15

	BARRIERA			
2020	MEDIANA=	15,00	ASSET PRICE + 0,12°C=	15,12
TASSO DI INTERESSE		0,0064		0,0064
ASSET PRICE		7.050,75		7050,75
VOLATILITY		0,4715		0,4715
STRIKE PRICE		5.935,58		5935,58
BARRIERA		7.050,75		7292,50
UP-AND-IN		1.964,50		1795,53

La *barrier option* del 2011 ha un costo di € 621.74 se si considera come barriera la mediana, e un costo di € 2364.18 con la barriera uguale all'asset price maggiorata di 0.12°C. Ancora una volta, si osservano gli effetti della temperatura di 12.94°C. Essendo la mediana molto lontana dal sottostante, implica che ci saranno meno probabilità che la barriera venga raggiunta e che quindi si attivi la possibilità di esercitare l'opzione. Questa è la ragione che va ricercata alla domanda relativa al perché il prezzo di tale opzione sia così basso. Cambia molto la situazione spostando la barriera di poco dall'asset price, come nella colonna a fianco. Si nota che il premio in questo caso è decisamente più alto data la distanza molto ridotta tra la barriera e il sottostante. Dalle tabelle precedenti si può affermare che l'opzione si sarebbe attivata e che avrebbe coperto i 3 volte tanto i costi totali dovuti al cambiamento climatico con la barriera mediana, e 3/5 delle perdite in caso di barriera +0.12°C.

Nel 2015, come già analizzato in precedenza, la mediana non può essere posta come barriera in quanto inferiore al sottostante. Il costo di circa € 2000 relativo alla barriera aumentata di 0.12°C è anch'esso alto per via della vicinanza della barriera. Anche in questo caso il diritto di opzione si sarebbe attivato e avrebbe coperto i $\frac{3}{4}$ delle perdite subite.

Infine, per l'anno 2020, due scenari: barriera uguale al sottostante, nonché alla mediana e asset price +0.12°C. I costi sono leggermente uno maggiore dell'altro, sempre in base alla vicinanza della barriera.

Ponendo a confronto i risultati con l'aiuto della seguente tabella, si può affermare che il fatto di calcolare lo *strike price* sulle ipotesi di produzione fa ottenere risultati molto differenti.

Tabella 4.16

K SENZA OBSOLESCENZA				
BARRIERA				
2011	MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE+0,12°C	13,06
VALORE PUT		4.064,90		4.619,79
2015	MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE+0,12°C	14,26
VALORE PUT		Mediana < S		9.428,68
2020	MEDIANA=	15,00	ASSET PRICE+0,12°C	15,12
VALORE PUT		14.380,57		14.243,73

Tabella 4.17

K CON OBSOLESCENZA				
BARRIERA				
2011	MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE+0,12°C	13,06
VALORE PUT		621,74		2.364,18
2015	MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE+0,12°C	14,26
VALORE PUT		Mediana < S		1.954,33
2020	MEDIANA=	15,00	ASSET PRICE+0,12°C	15,12
VALORE PUT		1.964,50		1.795,53

La soluzione migliore sarebbe quella di inserire nel calcolo dello *strike price*, se lo si conosce, il tasso di obsolescenza degli impianti per una serie di ragioni. In primis, perché in questo modo, ammesso che la barriera venga raggiunta, si coprirebbe una stima vicina il più possibile a quella realmente subita dall'impianto a causa dell'aumento della temperatura. In secondo luogo, perché dal punto di vista dei gestori del fotovoltaico il prezzo dell'opzione senza considerazione dell'obsolescenza sarebbe decisamente troppo esoso. È anche vero che il contratto è di una durata di 5 anni e che dopo il pagamento del premio per i successivi 5 anni non si deve sborsare nulla. Ma vi è il rischio che un contratto del genere possa appesantire ulteriormente i costi dell'azienda.

4.3) LA POSIZIONE SHORT DELL'OPZIONE CON BARRIERA

In generale, in un contratto di opzione ci sono due contraenti, uno che assume la posizione long, definito *holder*, che indica il detentore dell'opzione e uno che assume la posizione short, definito *writer*, che denota il concedente l'opzione. Il primo, dietro corresponsione del premio al secondo, acquista il diritto ma non l'obbligo di acquistare o vendere a scadenza, o entro la scadenza se si tratta di un'opzione americana, il sottostante al prezzo strike. Se l'opzione viene esercitata il secondo subisce la scelta del primo ed è tenuto a vendere l'attività oggetto del contratto se si tratta di un'opzione call e di comprarla se si tratta di un'opzione put. Nel caso del contratto *up-and-in* put in questione, la posizione *long* viene ovviamente assunta dall'azienda proprietaria dell'impianto fotovoltaico e se la barriera viene raggiunta i gestori dell'impianto decideranno di esercitare l'opzione e "vendere" la parte di energia non prodotta allo writer del contratto sul quale grava la corresponsione del pagamento. Finora non sono state avanzate ipotesi su chi potrebbe sottoscrivere un contratto *up-and-in* put in posizione short. Nell'immediatezza si potrebbero proporre istituti come le compagnie assicurative, che svolgono l'attività di gestione del rischio in maniera professionale. Potrebbero offrire questa copertura contestualmente alla polizza assicurativa contro i danni dell'impianto. Potrebbero anche avere la possibilità di adeguare lo *strike price* e la

barriera a seconda delle esigenze dell'azienda e fare customizzazioni del prodotto finanziario a livello di singolo impianto.

Oltre alla controparte più comune identificata con le compagnie assicurative, si potrebbe pensare di coinvolgere il GSE, il Gestore dei Servizi Energetici che in Italia si occupa di incentivazione e della gestione delle energie rinnovabili. Essendo il GSE che paga € 0.34 per ogni kWh di energia prodotta, esso potrebbe sottoscrivere il contratto *up-and-in* put in posizione short e pagare oltre che l'energia effettivamente prodotta anche quella parte di energia che l'impianto non ha prodotto a causa dell'aumento della temperatura. In tal caso il GSE potrebbe aver bisogno di rivolgersi a dei professionisti esperti in valutazioni di incertezze, come la figura professionale dell'attuario che si trova alla base di ogni compagnia assicurativa, che forniscano le giuste competenze per una corretta valutazione dell'opzione onde evitare risvolti economico-patrimoniali negativi.

Analogamente alla dinamica delle assicurazioni danni, ovvero che quando accade un sinistro il premio degli anni successivi tende ad aumentare, allo stesso modo la compagnia assicurativa che offre questo tipo di copertura o il GSE, dovrebbero servirsi di un meccanismo simile per evitare di incorrere in pagamenti che potrebbero minare la loro stabilità. Quindi, cambiando prospettiva, si dovrebbe trovare un modo per far sì che aumenti il prezzo del premio e rimangano costanti la barriera e lo *strike price*. L'unico parametro in grado di muovere queste grandezze nelle giuste direzioni è la volatilità. Infatti, spostare il parametro della barriera ha

poco senso. Se si aumenta la barriera, a parità degli altri fattori, il premio diminuisce perché aumenta la distanza dal sottostante. Se la barriera viene diminuita, si ha comunque un limite inferiore rappresentato dal sottostante, per cui se si ha una barriera molto vicina all'asset price non si avranno grandi spazi di manovra. All'aumentare del prezzo strike aumenta il premio, ma non è la soluzione adatta al problema in quanto si paga un premio più alto per un eventuale rimborso più alto. In sintesi, come detto pocanzi, si deve lavorare sulla volatilità. Per capire in che modo si può aumentare la volatilità si farà riferimento ai premi assicurativi pagati nel corso degli anni per l'impianto fotovoltaico in esame.

Tabella 4.18

Anno	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Premio annuo	3951	3951	3951	3951	4790	4790	4790	6050	6050

Come si può osservare, il premio annuo ha subito degli aumenti in corrispondenza degli anni 2015 e 2018, a causa dei sinistri che ha subito l'impianto stesso.

Per capire quanto aumentare la volatilità si farà un confronto tra l'aumento dei premi che si è verificato tra il 2014 e 2015 e la *up-and-in* put del 2011 con barriera mediana che presenta un valore simile al valore del premio assicurativo negli anni 2013-2014. Il valore dell'opzione è di circa € 4000, molto vicino al prezzo del

premio assicurativo del 2013-2014. Per capire, di quanto andrebbe aumentata la volatilità sono state fatte delle prove per ottenere un premio simile a quello del 2015 e replicare in qualche modo, il meccanismo con cui le assicurazioni aumentano il premio a seguito di un sinistro. In questo caso, moltiplicando per 1.5 il valore della volatilità, e tenendo fissi tutti gli altri parametri si farà aumentare il premio più o meno della stessa intensità del premio assicurativo. Infatti, con la nuova volatilità il prezzo del premio sale a € 4761, molto vicino al valore del contratto di assicurazione del 2015 fissato a € 4790.

Un caso di applicazione dell'aumento della volatilità potrebbe essere per esempio, a seguito del contratto del 2011, in cui la barriera è stata superata e il contratto di opzione si è attivato. Il fatto di aver pagato il rimborso, dal punto di vista della compagnia assicurativa o GSE che sia, alla fine del contratto precedente è assimilabile al pagamento di un indennizzo a seguito di un sinistro. Poi, chiaramente, se nel contratto successivo la barriera non viene attivata e non si effettua alcun rimborso si può pensare di riportare la volatilità al livello originale. In questo caso il valore del contratto nel 2015 a seguito del "sinistro" verificatosi negli anni precedenti, aumentando la volatilità di 1.5 volte si avranno premi più alti. Più precisamente le cifre aumenteranno da € 9428,68 a € 10455,45 senza considerazione dell'obsolescenza e da € 1954,33 a € 2725,68

4.4) IL REBATE

Per quanto riguarda un eventuale corresponsione di un *rebate*, occorre porsi nei panni di chi assume la posizione long e chi assume la posizione short. Per chi assume la prima posizione, in questo caso l'azienda che possiede l'impianto fotovoltaico, la presenza di un *rebate* potrebbe essere un incentivo a sottoscrivere il contratto. Infatti, ottenere una sorta di premio di consolazione nel caso in cui la barriera non venga mai raggiunta potrebbe far sembrare di non aver sostenuto un costo inutilmente. Questo ragionamento non è nuovo agli economisti. È molto comune ritenere, sia per privati che per imprenditori, che le polizze assicurative o qualsiasi altro strumento finanziario finalizzato alla copertura delle perdite siano soltanto delle ulteriori spese e che il costo di esse sia sempre troppo alto. Purtroppo, questo è dovuto a un medio basso livello di educazione finanziaria in materia che conduce appunto a questo tipo di ragionamenti, come anche, riprendendo il capitolo 2, la bassa tendenza ad assicurarsi contro i rischi catastrofali quando ci si trova in territori ad alto tasso di rischi catastrofali. Probabilmente l'idea di ricevere a scadenza una prestazione potrebbe fungere da incentivo alla sottoscrizione di questo contratto. Chiaramente, dalla formula di calcolo del *rebate* si evince che il costo finale della put aumenterà in base al valore del *rebate* fissato. Tanto più questo valore è alto, tanto più il costo dell'opzione sarà alto. C'è anche l'altro lato della medaglia: dal punto di vista della compagnia assicurativa o a maggior ragione del

GSE, la corresponsione del pagamento del prezzo strike se viene raggiunta la barriera o del *rebate* se non la si raggiunge, non è una situazione appetibile e sostenibile nel tempo. Si riporta di seguito un prospetto in cui si è ipotizzato un *rebate* pari al 20% del valore dell'opzione senza *rebate*.

Tabella 4.19

		K SENZA OBSOLESCENZA			
		BARRIERA			
2011		MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE+0,12°C	13,06
	VALORE PUT		4.064,90		4.619,79
	VALORE REBATE		223,54		31,07
	TOTALE		4.288,44		4.650,86
	REBATE		812,98		923,96
2015		MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE+0,12°C	14,26
	VALORE PUT		Mediana < S		9.428,68
	VALORE REBATE		-		49,55
	TOTALE		-		9.478,23
	REBATE		-		1.885,73
2020		MEDIANA=	15,00	ASSET PRICE+0,12°C	15,12
	VALORE PUT		14.380,57		14.243,73
	VALORE REBATE		0,0014		60,53
	TOTALE		14.380,57		14.304,26
	REBATE		2.876,57		2.848,75

Tabella 4.20

		K CON OBSOLESCENZA			
		BARRIERA			
2011		MEDIANA=	14,25	ASSET PRICE+0,12°C	13,06
	VALORE PUT		621,74		2.364,18
	VALORE REBATE		34,19		15,90
	TOTALE		655,93		2.380,07
	REBATE		124,35		472,84
2015		MEDIANA=	13,99	ASSET PRICE+0,12°C	14,26
	VALORE PUT	Mediana < S			1.954,33
	VALORE REBATE		-		10,27
	TOTALE		-		1.964,60
	REBATE		-		390,87
2020		MEDIANA=	15	ASSET PRICE+0,12°C	15,12
	VALORE PUT		1.964,50		1.795,53
	VALORE REBATE		0,00019		7,63
	TOTALE		1.964,50		1.803,16
	REBATE		392,90		359,11

Si può osservare come fissando il *rebate* al 20% del prezzo dell'opzione base, e quindi del premio, l'incentivo a sottoscrivere il contratto di opzione potrebbe aumentare. Infatti, con un moderato sovrapprezzo si avrà il pagamento del *rebate* a scadenza qualora la barriera non venisse raggiunta. I valori del *rebate* nell'ipotesi che non considera l'obsolescenza sono molto più alti che nello scenario dove si considera l'obsolescenza, poiché i prezzi strike del primo sono molto più alti del secondo. Si nota inoltre che quando la barriera è molto vicina al sottostante, come nel caso nel 2020 con l'ipotesi della barriera mediana, il costo dell'opzione relativo al *rebate* tende a 0. Per spiegarlo riportiamo nuovamente la formula con cui viene

calcolata il valore dell'opzione relativo al *rebate* da aggiungere al prezzo base dell'opzione:

$$V_R = e^{-rt}R \left[N \left(-\frac{\ln(S/H) + at}{\sigma\sqrt{t}} \right) - \left(\frac{H}{S} \right)^{\frac{2a}{\sigma^2}} N \left(\frac{\ln(H/S) + at}{\sigma\sqrt{t}} \right) \right]$$

Quando S ed H convergono la frazione S/H tende ad assumere valori molto vicino all'unità. Di conseguenza il logaritmo tenderà a 0.

Come anticipato, il *rebate* potrebbe essere un buon incentivo a servirsi del contratto di opzione. Però dal punto di vista di una compagnia assicurativa vista la finalità di copertura di danni che si fa assumere al contratto di opzione il *rebate* non coincide con lo scopo di hedging del contratto ovvero l'indennizzo del danno subito. In secondo luogo, dal punto di vista del GSE non sarebbe sicuramente una scelta sostenibile nel tempo, dal momento non si tratta di una società che gestisce rischi in maniera professionale e accollarsi esborsi certi non è cosa appetibile.

4.5) SELEZIONE DEL MIGLIOR APPROCCIO SULLA BASE DEI DATI EMPIRICI

È necessario fare una cernita tra i risultati ottenuti e individuare quello che più si adatta all'obiettivo posto inizialmente. L'opzione di tipo *up-and-in* put sembra

sposarsi bene con l'obiettivo di coprire le perdite dovute all'aumento della temperatura. Anzitutto è stato possibile collegare l'andamento del sottostante a quello della temperatura, condizione essenziale perché si riuscisse a calcolare le perdite dovute al riscaldamento globale. Infatti, l'andamento del sottostante S in questo caso può essere interpretato come la perdita annua che si subisce in base alla temperatura media annuale registrata esattamente in quell'anno. Non solo. Anche la presenza della barriera H si rivela utilissima per porre un limite superato il quale si può ottenere un indennizzo. Si è escluso a priori l'utilizzo della barriera media a causa della poca robustezza che fornisce. Osservando gli output ottenuti dai vari scenari si può escludere anche la barriera mediana per due ordini di ragioni: la prima rimanda alla condizione sine qua non del calcolo dell'opzione secondo cui la barriera deve essere maggiore dell'asset price. E può accadere che la mediana sia inferiore all'asset price, vedasi l'anno 2015. In secondo luogo, la mediana, essendo calcolata sulle temperature dei 5 anni precedenti, non inserisce nel contesto le aspettative di aumento della temperatura future. Perciò stabilire la barriera in corrispondenza del valore della temperatura dell'ultimo anno aumentato di 0.12°C (asset price $+0.12^{\circ}\text{C}$) sembra la soluzione migliore che allo stesso tempo soddisfa totalmente la condizione imposta dal calcolo dell'opzione e almeno in parte l'aspettativa di aumento della temperatura. Dunque, la temperatura stabilita come barriera viene a sua volta trasformata nel valore che indica la perdita per quella stessa temperatura allo stesso modo in cui avviene per il sottostante.

Inoltre, è lampante che il fatto di non considerare nel calcolo del prezzo strike l'obsolescenza dell'impianto rende l'opzione troppo costosa perché l'azienda in possesso di fotovoltaico sia incentivata a sottoscriverla. Pertanto, è bene che il calcolo dell'indennizzo tenga conto dell'obsolescenza dell'impianto.

Ultimo, ma non meno importante il *rebate*. Si prenderà in considerazione l'opzione comprensiva di *rebate* perché dal punto di vista dell'azienda pagare un sovrapprezzo esiguo e vedersi corrispondere il valore del *rebate*, in questo caso il 20% del premio dell'opzione base, può rappresentare un incoraggiamento alla sottoscrizione dell'opzione. Il sovrapprezzo del *rebate* al valore base dell'opzione è irrisorio perché la probabilità che il sottostante superi la barriera è alta, dal momento che si è stabilito di porre quest'ultima molto vicino all'asset price, come illustrato nelle righe sopra.

Si propongono i seguenti prospetti: la tabella 4.21 riporta i prezzi dell'opzione comprendente il *rebate*. Si può notare che nell'arco degli anni il prezzo del premio diminuisce e ciò dipende principalmente dal valore della barriera e anche dal fatto che viene considerata l'obsolescenza dell'impianto. Il costo dell'opzione sembra essere congruo con l'eventuale prezzo strike che si ottiene in caso di perforamento della barriera.

Tabella 4.21

Anno	2011	2015	2020
Rebate a scadenza	472,84	390,87	359,11
Strike price	5.501,51	5.384,01	5.935,58
Prezzo opzione totale	2.380,08	1.964,60	1.803,16

Se ad oggi l'azienda volesse sottoscrivere l'opzione in questione si troverebbe a pagare € 1803.16 per ottenere a scadenza € 359.11 qualora la barriera non fosse raggiunta e € 5935.58 in caso opposto. Ci si potrebbe chiedere il motivo per cui il prezzo strike nell'ultimo anno sia aumentato anziché diminuito. A rigor di logica, dal momento che è stato calcolato tenendo conto dell'obsolescenza il valore del prezzo strike nel tempo dovrebbe diminuire. Si ricorda che l'obsolescenza viene calcolata sulla produzione di energia dell'ultimo anno e l'anno precedente al 2020 l'impianto ha prodotto 1316666 kWh di energia contro i 1187147 kWh del 2014. La tabella 4.22 invece, pone a confronto i premi assicurativi pagati dall'azienda per il fotovoltaico e i premi delle opzioni.

Tabella 4.22

Anno	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Premio assicurativo	3.951	3.951	3.951	3.951	4.790	4.790	4.790	6.050	6.050	-
Premio Opzione	2.380,08				1.964,60					1.803,16

Si può notare che il costo del premio per il contratto di opzione non sovraccarica in modo eccessivo l'azienda. Chiaramente, questo sarebbe l'andamento dei premi qualora l'azienda avesse sottoscritto il contratto nel 2011 e in ogni quinquennio la barriera non fosse mai stata raggiunta. Essendo a conoscenza del fatto che in realtà la barriera si sarebbe attivata entrambe le volte, il premio avrebbe subire degli aumenti calcolati aumentando la volatilità come indicato nel paragrafo 4.3. Nella tabella 4.23 si presentano i premi aumentati degli anni 2015 e 2020 utilizzando per il calcolo dell'opzione rispettivamente 1.5 volte la volatilità e 2 volte la volatilità.

Tabella 4.23

Anno	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Premio assicurativo	3.951	3.951	3.951	3.951	4.790	4.790	4.790	6.050	6.050	-
Premio Opzione	2.380,08				2.804,88					3.720,32

Si può notare come l'aumento dei premi possa essere assimilato all'aumento dei premi assicurativi a seguito di sinistri subiti dall'impianto fotovoltaico. È evidente che i costi dell'azienda in questo modo aumentano, ma la controparte del contratto di opzione deve tutelarsi in qualche modo contro esborsi troppo frequenti. Ciononostante, anche se in questa maniera il prezzo strike rimane costante e l'azienda vede aumentare soltanto il premio, quest'ultimo non sembra essere un costo insostenibile per l'azienda. In aggiunta a ciò, si rammenta che il premio si deve corrispondere ogni 5 anni.

CONCLUSIONI

Osservando i valori della *up-and-in* put il contratto sembra svolgere il compito per cui è stato ideato: tutelare, almeno in parte, le perdite subite a causa del riscaldamento globale dall'azienda che possiede l'impianto fotovoltaico. Come già dimostrato pocanzi, il modello migliore sembra essere quello che prende in considerazione l'asset price aumentato di 0.12°C . Allo stesso modo, per quanto riguarda lo *strike price*, inserire nel calcolo le ipotesi di produzione futura permette di calcolare un indennizzo che rispecchi maggiormente l'effettiva perdita dovuta al riscaldamento globale. Oltretutto, consente anche di ottenere un premio più basso ed evitare di far sostenere all'azienda proprietaria dell'impianto fotovoltaico un costo molto alto. L'impianto in questione inizialmente era stato assicurato per 3,4 milioni di euro per danni diretti e 680 mila euro per danni indiretti. L'azienda ha poi deciso di ridurre le somme assicurate rispettivamente a 1 milione di euro per i danni diretti e 250 mila euro per i danni indiretti. Oppure in altri casi, la compagnia assicurativa, a seguito di sinistri, ha aumentato le franchigie o ridotto i massimali. Questo dovrebbe far comprendere come premi molto alti abbiano un peso importante sull'azienda. Se l'azienda stessa è portata a ridurre le somme assicurate per ridurre il premio assicurativo, offrire loro un contratto di opzione il cui premio consta di diverse migliaia di euro non sembra essere la scelta ottimale. È anche vero

che essendo il contratto di una durata di 5 anni, tale costo andrebbe sostenuto una volta ogni 5 anni, ma non sarebbe in ogni caso attraente. Il contratto di opzione che considera invece, le ipotesi di produzione futura offre tutto sommato la copertura parziale, per lo meno poco più della metà della durata del contratto, delle perdite dovute all'aumento della temperatura a un prezzo ragionevole. Le perdite effettive possono essere superiori o minori rispetto quelle coperte dal contratto. Spetterà poi alla compagnia assicurativa adeguare il prezzo del contratto sulla base degli eventi passati, se nel tempo si nota un chiaro andamento delle temperature. Dal canto suo, l'azienda potrebbe decidere di volersi tutelare più o meno rispetto al contratto standard, e potendo spostare i parametri è possibile personalizzare il contratto di opzione in base alle esigenze dell'azienda.

Il modello proposto quindi, sembra avere una coerenza con i propositi per la quale è stato ideato. Ovviamente, tanto più i dati utilizzati sono accurati e precisi tanto più si riuscirà a fornire una stima corretta del premio da pagare. Si ricorda che 0.45% di riduzione dell'efficienza di produzione di energia è un valore rappresentativo. L'ideale sarebbe di riuscire a stimare un valore della perdita di efficienza ancora più preciso o differenziato in base all'ubicazione dell'impianto nel mondo e tentare di fare previsioni ancora più puntuali riguardo il riscaldamento globale e le temperature future. E dal momento che le aspettative di aumento della temperatura globale non sono rosee uno strumento di copertura delle perdite economiche dovuto ad esso potrebbe essere la soluzione.

BIBLIOGRAFIA

Ania (2019), *L'assicurazione italiana 2018-2019*, Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici, Roma, 2019, pp 219-255

Baethgen W. E., *Climate Risk Management for Adaptation to Climate Variability and Change*, Crop Science, volume 50, pp 70-76

Belli G. (2012), *Le operazioni su weather derivatives tra finalità di copertura e speculazione*, Contratto e Impresa, 4-5, pp 1-16

Caracciolo R., Desiato F., Toreti A., Luise A., Motroni A., Sciortino M., Bonati G., Sinisi L., Corsini, Valpreda E., Marino S., Ferla M., Fierro G., Randazzo G., Mercalli L., Morra Di Cella U., Cremonese E., Agnesod G., Tornato S., Piccini C., Margottini C., Spizzichino D., Onorati G., Bussetini M., Pecora S., De Lauretis R., Romano D., Assennato G., Cesarini S., Gaudiosio D., Sgobbi A., Capriolo A., Giordano F. (2007), *Gli eventi preparatori della Conferenza Nazionale sugli eventi climatici*, Agenzia per la Protezione Ambiente e servizi Tecnici, pp 3-183

Carraro C., Crimi J., Sgobbi A. (2007), *La valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici in Italia e delle relative misure di adattamento*, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici in collaborazione con Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, pp 1-44

Cavatorta L., Rosso G., Di Nallo E., Lanzoni M., Tubiana G., Bufali F., Zanon A. (2017), *Climate change. Macrotrend emergenti per il settore assicurativo*, Gruppo Unipol, pp 1-13

Considine G. (2017), *Introduction to weather derivatives*, Aquilaenergy, pagine 10
De Gregori & Parteners (2018), *Le opzioni*, Quanderni di Finanza, volume 13, pp 1-20

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Pavan V. (2008), *Gli indicatori del clima in Italia nel 2017*, Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambiente, pp 1- 75

Dlugolecki A., Keykhan M. (2002), *Climate change and the insurance sector. Its role in Adaptation and Mitigation*, Greener Management International, volume 39, pp 83-96

Donati A., Volpe Putzolu G. (2016), *Manuale di diritto delle assicurazioni*, Giuffrè Editore, Roma pp 223-236

Ecoscienza (2010), *Il riscaldamento globale e il prezzo del non fare*, Ecoscienza numero 2, pp 1-3

Eea (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016, an indicator-based report*, European Environment Agency, Report numero 1, pp 31-266

Eea (2017), *Trends and projections in Italy 2017. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*, European Environment Agency, pp 1- 8

Gruppo Unipol (2017), *Unipol per il clima. Il cambiamento climatico e il ruolo delle assicurazioni in Italia*, pp 1-52

Gse, *Rapporto statistico Solare fotovoltaico 2018*, Gestore Servizi Energetici, 2018, pp 1-65

Ispira, (2015), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori del rischio*, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambiente, pp 1-60

Kress A., Schibe K.L. (2007), *Adattamento e mitigazione. Un approccio integrato di politica del clima*, Alleanza Per Il Clima Italia Onlus, pp 1-20

Landini S., Maracchi G. (2012), *Cambiamenti climatici, catastrofi naturali e assicurazione*, CESIFIN, pp 13-107

Lo C. F., Lee H. C., Hui C. H. (2003), *A simple approach for pricing Black-Scholes barrier options with timedependent parameters*, Quantitative Finance, volume 3, Researchgate, pp 98-108

Marazzina D. (2016), *Formula approssimata per la valutazione di opzioni a Barriera singola per modelli a Volatilità Locale*, Politenico di Milano, 2016, pp 15-29

Masson-Delmotte V., Portner H.O., Skea J., Pirani A., Pidcock R., Chen Y., Lonnoy E., Moufouma-Okia W., Connors S., Xhou X., Maycock T., Tignor M., Zhai P., Roberts D., Shukla P.R., Pean C., Robin Matthews J.B., Gomis M.I., Waterfield T. (2019), *Global warming of 1.5°C*, International Panel of Climate Change, pp 49-300

Ministero Dello Sviluppo Economico, Ministero Dell'ambiente E Della Tutela Del Territorio E Del Mare, Ministero Delle Infrastrutture E Dei Trasporti, (2018), *Proposta di piano nazionale integrato per l'energia e il clima*, 2018, pp 4-233

Nikolaou I., Evangelinos K., Leal Filho W. (2014), *A system dynamic approach for exploring the effects of climate change risks on firms' economic performance*, Journal of Cleaner Production, volume 103, pp 499-506

Panzarini E. (2007), *Il contratto di opzione*, Giuffrè editore, Milano, pp 336-370

Pareglio S. (2017), *Rischi climatici: mitigazione e disclosure nelle imprese italiane*, Fondazione Enrico Mattei, Percorsi, volume 1, pp 13-98

Perella C. (2017), *Climate change: una grande sfida per il mondo assicurativo*, LS Lexjus Sinacta, pp 1-4

Peters I. M., Buonassisi T. (2019), *The impact of global warming on silicon PV energy yield in 2100*, Massachussettes, pp 1-8

Russo G. (2018), *Indagine sul risparmio e sulle scelte finanziarie degli italiani*, Intesa san Paolo e Centro di ricerca e Documentazione Luigi Einaudi, pp 81-131

Sperling F., Szekely F. (2005). *Disaster Risk Management in a Changing Climate. Discussion Paper*, prepared for the World Conference on Disaster Reduction on behalf of the Vulnerability and Adaptation Resource Group (VARG), pp 1-45

Wilmott P., Howison S., Dewynne J. (1995), *The mathematics of financial derivatives: a student introduction* Cambridge, pp 197-210

SITOGRAFIA

<http://www.ania.it/>

<https://ec.europa.eu/>

<https://natcatservice.munichre.com/>

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

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

<https://www.borsaitaliana.it/homepage/homepage.htm>

<https://www.carbon-delta.com/>

<https://www.ecad.eu/>

<https://www.eea.europa.eu/>

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

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

<https://www.ilsole24ore.com/>

<https://www.ipcc.ch/>

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

<https://www.who.int/>

<https://public.wmo.int/en>