

# Analisi e progettazione di un sistema di misure quantitative per il monitoraggio dei rischi finanziari delle garanzie di origine

Anna Bottasso<sup>1</sup> – Pier Giuseppe Giribone<sup>2</sup> – Matilde Martorana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università di Genova

<sup>2</sup>Banca CARIGE – Financial Engineering e Università di Genova

<sup>3</sup>Banca CARIGE – Financial Risk Control

## Abstract

Lo scopo che si prefigge questo lavoro è quello di analizzare il mercato emergente delle Garanzie d'Origine (GO), con particolare riferimento alla gestione dei rischi ad esse associati. Malgrado negli ultimi anni i volumi scambiati di queste certificazioni elettroniche abbiano segnato un incremento significativo, i mercati ad esse associati continuano ad essere poco trasparenti ed incompleti, per cui le informazioni e i dati a disposizione risultano essere molto limitati. A questo proposito, in letteratura non esiste quasi nessuno studio di riferimento, né tantomeno una specifica normativa per la valutazione del rischio associato a tali strumenti. Questo lavoro suggerisce un possibile approccio alla gestione dei rischi associati alle GO che può costituire un utile riferimento per gli operatori che negoziano tali strumenti. A tal fine saranno presentate diverse tecniche di stima dei rischi di mercato, di liquidità e di controparte che non devono essere considerate tra loro alternative, ma parti integranti di un approccio più generale. Poiché le serie storiche a disposizione sono brevi e caratterizzate da prezzi costanti per lunghi intervalli temporali, si intende proporre metodologie quantitative volte a valutare e gestire, in modo prudenziale, i principali rischi non sempre trattabili con approcci convenzionali.

The aim of this work focuses on the risks arising from the emerging market of Guarantees of Origin (GO). In recent years, in fact, traded volumes of these electronic certifications have increased, although the markets are yet incomplete and not very transparent. Information is limited and there is no evidence of specific studies nor well-established regulation for risk assessment. For this reason, the dissertation suggests a risk management framework, useful for companies in the new GO trading business. To achieve this objective, different methodologies for estimating market, liquidity and counterparty risks are proposed. These must be considered as a part of an overall evaluation system and not as stand-alone approaches. Since time series available are rather short and characterized by constant prices over a long period of time, specific quantitative methodologies are presented to measure and prudently manage risks.

## Key Words:

Garanzie d'Origine (GO), risk management platform, Value-at-Risk (VaR), Expected Shortfall (ES), Monte Carlo method, GARCH, SABR, KMV model

## 1 Introduzione

Le Garanzie d'Origine (GO) sono certificazioni elettroniche che consentono ai produttori di energia elettrica derivante da fonti energetiche rinnovabili di dimostrare l'origine dell'energia da essi venduta. Alla base di questo studio vi è l'obiettivo di approfondire la conoscenza del mercato emergente delle GO, mettendo in evidenza i rischi ad esse associati [26]. Tale analisi non è mai stata condotta precedentemente ed acquisisce particolare rilevanza anche alla luce del fatto che non esiste una stringente normativa di riferimento per tale mercato.

In particolare, lo scopo di questo lavoro è quello di proporre diverse metodologie di stima dei rischi di mercato, di liquidità e di controparte, offrendo agli operatori la possibilità di scegliere il metodo che si delinea più prudenziale o coerente con i propri obiettivi di investimento e con le caratteristiche delle GO presenti in portafoglio.

L'analisi del rischio è stata condotta su alcune serie storiche di GO con caratteristiche molto peculiari: sono molto brevi (poco più di un anno) e presentano un trend di continua crescita, caratterizzato da prezzi costanti per molti giorni consecutivi. Tali caratteristiche hanno reso l'analisi particolarmente impegnativa; infatti, la costanza dei prezzi in diversi periodi (più o meno protratti) e la presenza di rendimenti nulli, possono condurre in molti casi ad una possibile sottostima dei rischi. Per tali motivi, si reputano le stime fornite un punto di partenza per lo studio di questo mercato in evoluzione, per il quale esistono pochi riferimenti bibliografici.

Nella prima parte, si fornisce un inquadramento sintetico del mercato emergente delle Garanzie d'Origine, soffermandosi sulle peculiarità del loro commercio, sui principali aspetti regolatori e svolgendo anche una comparazione tra i mercati su cui le GO sono scambiate e le caratteristiche di un mercato di perfetta concorrenza. La seconda parte è incentrata su un'analisi del rischio di mercato, con particolare riferimento alle misure di *Value at Risk* (VaR) [2], di *Expected Shortfall* (ES) e del rischio di liquidità attraverso l'analisi del *Bid-Ask spread*.

Nella terza parte si riportano le stime del VaR ottenute ricorrendo a simulazioni di tipo Monte Carlo (MC) e si propongono alcuni approcci di stima sia per i contratti *spot*, sia per i contratti *forward*.

Per quanto riguarda i contratti *spot*, le principali metodologie presentate sono il MC storico e il MC con volatilità stimata a partire da un GARCH (*Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity*) di ordine (1,1). Sempre per i contratti *spot*, ma usando un approccio maggiormente *forward-looking*, si propone anche di stimare i rendimenti futuri, quindi il VaR, a partire da una simulazione MC che utilizzi come *proxy* la volatilità implicita ricavata da eventuali opzioni negoziate.

Nella quarta parte, infine, si propongono alcune metodologie di calcolo per il rischio di controparte, analizzando nel dettaglio tre possibili casistiche: il caso in cui la controparte presenti *credit default swap* (CDS) quotati, il caso in cui, pur non avendo CDS quotati, siano presenti obbligazioni attivamente negoziate sul mercato e quello in cui non abbia nessuna di queste caratteristiche, svolgendo quindi un'analisi basata sui dati di bilancio.

Si ritiene importante sottolineare che le metodologie di stima dei rischi affrontate in questo lavoro non devono essere considerate tra loro alternative, ma devono essere considerate come parti integranti di un possibile approccio per la valutazione globale delle diverse tipologie di rischio.

## 2 Il funzionamento delle Garanzie di Origine

Le Garanzie d'Origine (GO) sono certificazioni elettroniche, riservate ai produttori di energia elettrica che utilizzano fonti energetiche rinnovabili, utilizzate per dimostrare l'origine dell'energia da essi venduta. Esse sono rilasciate in tutta Europa da organismi emittenti nazionali facenti parte dell'*Association of Issuing Bodies* (AIB). In Italia vengono rilasciate dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE).

Le GO sono state introdotte in Europa con la Direttiva 2001/77/CE (*Renewable Electricity Directive*) [8], recepita in Italia con il Decreto Legislativo n. 387 del 29 Dicembre 2003 [7], che ha imposto l'obbligo per tutti gli Stati membri di sviluppare un sistema di tracciamento affidabile, fornendo prova ai clienti finali che una determinata quantità di energia sia stata prodotta da fonti rinnovabili. Le GO sono regolate attraverso la Direttiva 2009/72/CE (anche conosciuta come *Internal Electricity Market Directive*) [11]. Tra le altre cose, la direttiva 2001/77/CE prevede che l'obbligo per i fornitori di energia di comunicare una volta all'anno in bolletta il mix di combustibili e fonti energetiche usate (*Fuel Mix Disclosure* [28]) sia ottemperato in base agli scambi delle GO e non in base alla produzione fisica di energia elettrica nella regione o nel paese.

L'interesse per questo mercato è dovuto al fatto che, negli ultimi anni, i volumi scambiati di queste certificazioni elettroniche sono sempre più significativi e con un *trend* di previsione in crescita, anche in conseguenza degli obblighi previsti dalla *Renewable Energy Directive* per il periodo 2021-2030 [21] e [29].

I dati utilizzati per condurre l'analisi del rischio delle GO sono stati forniti dall'*information provider* Greenfact, ritenuta dagli operatori del settore come la fonte più attendibile per i dati sui prezzi e sui volumi negoziati delle GO ("*Analysis of the trade in Guarantees of Origin*", di Oslo Economics [30]). Le serie storiche utilizzate nell'analisi sono i prezzi di chiusura e i prezzi *Bid* e *Ask* per un periodo di dodici mesi tra il 2017 e il 2018 relativi a quattro categorie di GO, differenziate in base alla tecnologia (o fonte energetica) e considerando per ogni categoria quattro diversi vintage (o anni di produzione).

Le serie storiche dei livelli di prezzo sono proprietarie e non possono essere pubblicate o diffuse a terze parti, nemmeno impiegando dati aggregati e nella trattazione verranno illustrate le metodologie quantitative implementate nel sistema di gestione dei rischi, fornendo, quando possibile e a puro titolo esemplificativo, particolarizzazioni degli approcci (paragrafo 3 e seguenti).

### 2.1 Il commercio delle Garanzie d'Origine

Negli ultimi decenni sono stati imposti limiti alle emissioni inquinanti industriali e domestiche al fine di tutelare l'ambiente. Tali misure riflettono la maggior sensibilità all'eco sostenibilità delle risorse e la consapevolezza che le immissioni in atmosfera, nelle acque e nel suolo producano ripercussioni negative sull'equilibrio complessivo del pianeta. Solo recentemente, agli strumenti più rigidi di controllo delle immissioni di CO<sub>2</sub>, come, ad esempio, l'imposizione di limiti emissivi massimi, si sono affiancati meccanismi più flessibili [34], come le certificazioni ambientali, i marchi di qualità ecologica per le imprese e soprattutto le Garanzie d'Origine, oggetto di questa trattazione. Lo schema delle GO è un sistema di tracciamento delle fonti di energia: una GO corrisponde a 1 MWh di elettricità prodotta con fonti rinnovabili e include informazioni dettagliate sull'origine dell'energia, sulla fonte (la tecnologia), sull'età e sulle dimensioni degli impianti.

I tre principali attributi delle GO sono proprio l'anno di produzione dell'energia (c.d. *vintage*), il luogo e la tecnologia usata per la produzione. Ad esempio, una GO potrebbe essere relativa alla produzione di energia solare da un impianto europeo nel 2018. Il vintage, in particolare, indica non solo l'anno di produzione, ma anche l'anno per il quale devono essere assolti gli obblighi associati alle GO, che verranno descritti in seguito.

E' bene ricordare, infine, che le GO hanno una vita utile di un anno a partire dalla fine del periodo di produzione a cui si riferiscono. Esiste un'ampia gamma di GO, che risponde alle diverse preferenze e percezioni che i consumatori hanno del concetto di ecologia e rinnovabilità (*environmentally friendly*). Per alcuni consumatori, ad esempio, il termine "ecologico" deve essere inteso in contrapposizione a non rinnovabile, cioè diverso dalle centrali elettriche tradizionali alimentate a carbone o a gas; per altri deve trattarsi di prodotti connessi a obiettivi ambientali, come la protezione dell'ambiente e della fauna selvatica. Per altri ancora, le GO devono contribuire alla produzione di altre energie "verdi": infatti, sebbene tale contributo, che è la c.d. "addizionalità", non sia lo scopo principale del sistema delle GO, rappresenta sicuramente una delle principali motivazioni per cui molti consumatori acquistano queste *commodity*.

Inoltre, sempre per quanto riguarda le preferenze individuali, molti consumatori preferiscono GO su energia prodotta in centrali elettriche locali, altri preferiscono GO provenienti da impianti idroelettrici piuttosto che solari, altri ancora semplicemente la GO più economica disponibile. Infine, alcuni operatori richiedono prodotti GO personalizzati.

Proprio a causa dell'eterogeneità dell'offerta di questi prodotti, le GO non sono negoziate in Borsa, bensì *Over The Counter* (OTC). Ciò influisce negativamente sulla trasparenza dei mercati e ostacola la possibilità per gli utenti finali di confrontare prodotti diversi e i rispettivi prezzi.

Le GO sono negoziate su base volontaria, attraverso due tipi principali di contratto: contratti *spot* e contratti *forward*. Per entrambi i tipi di contratto, il prezzo delle GO è fissato alla data dell'accordo. La principale differenza riguarda la data di trasferimento e di pagamento. Tuttavia, il concetto di *spot* e *forward* è un po' diverso rispetto alla finanza classica: infatti, anche se il prezzo di un contratto *spot* è il prezzo corrente per la consegna immediata, tale contratto è relativo alla produzione di energia avvenuta sia durante l'anno precedente sia durante quello in corso. Allo stesso modo, il prezzo connesso a un contratto *forward* è sì il prezzo predeterminato oggi per la consegna che avverrà in futuro, ma, rispetto all'accezione più classica di *forward*, non solo la consegna, ma anche la produzione di energia sottostante al contratto è proiettata in avanti nel tempo.

In particolare, la modalità prevalente di scambio delle Garanzie d'Origine è la contrattazione bilaterale tra coloro che producono energia elettrica *green* e coloro che sono disposti a pagare per poter classificare il proprio consumo energetico come "rinnovabile".

Le GO sono scambiate sia su un mercato all'ingrosso, attraverso intermediari, *trading house* o direttamente tra produttori e grandi imprese, sia sui mercati dei consumatori finali (*end-user markets*).

Nel mercato all'ingrosso, gli acquirenti sono generalmente i fornitori di energia e le grandi imprese, mentre i venditori sono i produttori di energia che vendono le GO direttamente tramite *broker*, oppure incaricano una società di gestione del portafoglio, come ECOHZ, di organizzare il proprio commercio delle GO. Queste società di gestione del portafoglio, molto diffuse sul mercato all'ingrosso, gestiscono notevoli volumi di GO per conto dei produttori di energia di piccole e medie dimensioni. Esse sono controparte sia del venditore sia dell'acquirente, aiutando attivamente quest'ultimo a scegliere, implementare e documentare il consumo di energia rinnovabile in base alle proprie necessità. Alcune volte, queste società acquistano GO per mantenerle sul proprio conto, benché una speculazione di questo tipo sia abbastanza infrequente. In base alla ricerca fatta da Oslo Economics [30], il maggior volume di GO passa ogni anno attraverso i *broker*.

Al di là di queste modalità OTC, si sono osservati, nel corso degli anni, anche dei tentativi di creare borse ad hoc per le GO (ad esempio da parte dell'EEX *Power Exchange*), ma non si sono registrati successi, principalmente a causa dei maggiori costi di transazione rispetto alle commissioni caricate dagli intermediari.

Nei mercati degli utenti finali, invece, le GO sono vendute alle imprese (circa il 70%) e ai consumatori. Le aziende acquistano GO perché desiderano documentare la propria richiesta di energia rinnovabile ai clienti, agli investitori e alle altre parti interessate, ma anche al fine di soddisfare i criteri per gli standard ambientali (*Greenhouse Gas Protocol – GHG* [27]) e di raggiungere i propri obiettivi di *marketing* connessi all'energia rinnovabile. Infatti, anche la conformità agli standard riconosciuti può costituire per le aziende un potente strumento per la commercializzazione dei prodotti e per attirare investitori. Un esempio riguarda le oltre cento grandi multinazionali impegnate negli ambiti più disparati, dal settore delle telecomunicazioni a quello della produzione di automobili, che si stanno attivamente impegnando a utilizzare esclusivamente energia rinnovabile nel loro fabbisogno quotidiano. Si tratta della c.d. iniziativa RE100, lanciata nel 2014 da *Climate Group* e da *Carbon Disclosure Project*.

I piccoli consumatori di elettricità di solito non comprano direttamente le GO, ma il loro prezzo risulta tra le molte componenti delle tariffe elettriche o è incluso nel prezzo di altri prodotti e servizi "rinnovabili", come ad esempio le donazioni per la protezione delle foreste. In particolare, Rhein Energie, con sede a Colonia, è una delle poche società che fornisce energia supportata da GO ad un premio esplicito di 2 EUR/MWh. Nella maggior parte dei casi il prezzo delle GO non è esplicitato in bolletta, ma è incluso insieme a quello di altre componenti della tariffa elettrica. Vi sono poi molte aziende, come BMW, che acquistano GO, per aumentare la quota di energia rinnovabile usata nella produzione, senza applicare costi aggiuntivi ai propri clienti. Per quanto riguarda la domanda e offerta aggregata, è importante sottolineare come l'offerta dipenda dalla capacità degli impianti, dalle condizioni climatiche in un certo periodo dell'anno, dal quadro giuridico nazionale e, non da ultimo, dalle eventuali politiche incentivanti. Inoltre, nel lungo termine, l'aumento della produzione di energia elettrica rinnovabile in Europa impatterà sull'offerta e conseguentemente sul prezzo delle GO.

La domanda varia molto a seconda delle categorie di GO e dipende da "attributi" quali la posizione o la tecnologia dell'unità di produzione, generando quindi mercati di nicchia con domanda in eccesso e prezzi più elevati. In generale, dal 2012 al 2016, la domanda delle GO ha registrato un notevole tasso di crescita media annuale, attestato al 14,3% (Fonte: ECOHZ).

Attualmente, il mercato delle GO è caratterizzato da forti differenziali di prezzo tra i tre principali prodotti, che sono GO "bulk", GO "premium" e GO "personalizzate".

Le GO "bulk" sono quelle più economiche e di base; ne fanno parte, ad esempio, le categorie generali Nordic Hydro e European Wind (nomi coerenti con la convenzione usata dall'*information provider* Greenfact per classificare le GO), che non presentano ulteriori specificazioni circa il paese di origine o il tipo di impianto di produzione. Esse sono generalmente scambiate a prezzi relativamente bassi a causa della grande offerta e della bassa domanda locale.

Le GO "premium" sono richieste dalle aziende che per soddisfare le proprie preferenze sono disposte a pagare un premio aggiuntivo al fine di acquistare GO locali, cioè rilasciate ai produttori di energia geograficamente vicini agli acquirenti, o GO che rispettano alcuni standard di qualità ecologica (come Bra Miljöval), connessi al rispetto del clima e dell'ambiente e apprezzati dalla clientela.

Ad esempio, la compagnia ferroviaria nazionale dei Paesi Bassi, dopo aver condotto un'indagine tra i suoi clienti che ha rivelato una preferenza per le fonti di energia locali, ha deciso di soddisfare le loro richieste comprando GO da impianti di produzione eolica localizzati nel territorio dei Paesi Bassi, con la conseguenza che quest'ultime hanno subito un considerevole aumento di prezzo.

Alcune aziende, come ECOHZ, desiderano prodotti GO su misura (GO "personalizzate") che soddisfino alcune esigenze e predilezioni specifiche, come, per esempio il desiderio di contribuire direttamente al finanziamento di nuovi impianti rinnovabili ("addizionalità"), oppure che interessino intervalli di tempo più brevi (anziché GO annuali, sono preferite GO mensili), conformemente al profilo di consumo dell'utente finale.

In generale negli ultimi anni si è registrato a livello nazionale un aumento generalizzato della domanda da parte degli utenti finali delle GO *premium*, e in ambito locale ad un aumento della domanda delle GO personalizzate.

## 2.2 Alcuni aspetti normativi e regolatori

Il sistema delle Garanzie d'Origine è stato istituito nella legislazione dell'Unione Europea con la Direttiva 2001/77/CE (*Renewable Electricity Directive*) del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità. Tale direttiva ha introdotto l'obbligo per tutti gli Stati membri di sviluppare un sistema di tracciamento affidabile dell'energia [16], fornendo prova ai clienti finali che una determinata quota o quantità di energia sia stata prodotta da fonti rinnovabili. Ciò ha permesso alle aziende e ai consumatori di soddisfare la loro domanda di prodotti, servizi e investimenti che rispettano dell'ambiente.

Le GO, come accennato a inizio secondo paragrafo, sono oggi regolate attraverso la Direttiva 2009/72/CE, che suggerisce come la *Fuel Mix Disclosure*, cioè la divulgazione del mix di combustibili e fonti energetiche usate, debba essere fatta in base agli scambi delle GO e non in base alla produzione fisica di energia elettrica nella regione o nel paese. In particolare, in base alla *Fuel Mix Disclosure*, almeno una volta all'anno, i fornitori di energia devono comunicare il mix energetico relativo alla produzione di elettricità sulla bolletta, al fine di permettere una scelta informata da parte dei clienti finali, che possono così esprimere la loro consapevolezza ambientale. Al fine della divulgazione, le GO nazionali e quelle importate sono trattate allo stesso modo.

Dal 2010 sono stati sviluppati per consumatori e aziende molti nuovi prodotti basati sulle GO e il mercato all'ingrosso è stato professionalizzato [5]. Nel 2014, tuttavia, l'Agenzia Federale Tedesca per l'ambiente (*Umweltbundesamt*) definiva ancora il mercato all'ingrosso come un mercato affatto trasparente. Solo negli ultimi due anni, infatti, il commercio su questo mercato ha visto miglioramenti nella forma di una quota maggiore di volumi scambiati dai *broker*, prezzi più contribuiti e una nuova offerta di servizi analitici. Tali miglioramenti saranno supportati ulteriormente dalle modifiche decise dalla *Renewable Energy Directive* per il periodo 2021-2030 (RED II), nota anche come *EU Winter Package*, una volta che sarà approvata.

Tale direttiva, nata su una proposta legislativa della Commissione Europea al fine di rivedere la *Renewable Energy Directive* (RED) e arricchita con gli emendamenti del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'UE, prevede una serie di provvedimenti che rafforzano l'utilizzo di queste certificazioni elettroniche a scapito di altri strumenti potenzialmente più inaffidabili e fuorvianti, al fine di una maggior tutela dei consumatori e degli acquirenti finali delle imprese. Il 14 Giugno 2018 si è giunti all'accordo per la stesura del testo della direttiva e i risultati sono stati resi pubblici a inizio Luglio.

Per quanto riguarda il caso italiano, dopo l'emissione delle GO da parte del GSE, le certificazioni sono scambiate presso le piattaforme coordinate dal Gestore dei Mercati Energetici (GME). In particolare, per ogni MWh di energia elettrica rinnovabile immessa in rete da impianti qualificati IGO (Impianti alimentati da fonti rinnovabili ai fini del rilascio della Garanzia d'Origine), il GSE rilascia un titolo GO, in conformità con la Direttiva 2009/28/CE (*Renewable Energy Directive*) [10]. Le GO sono rilasciate con cadenza mensile e possono essere trasferite, entro i termini di validità delle stesse, dal momento della loro emissione fino all'anno successivo dalla produzione dell'energia elettrica a cui si riferiscono, dopodiché perdono di validità. Il trasferimento avviene in modo elettronico, tramite Portale *web* ed è annotato su un apposito registro.

Nei paesi dove vengono emesse GO esiste un registro nazionale contenente le tracce di tutte le transazioni commerciali che hanno avuto luogo. Tale registro consente di tracciare la proprietà e soprattutto impedisce ai fornitori di energia elettrica di vendere due volte la stessa energia rinnovabile. In Itali il GSE si occupa anche di creare un "conto proprietà" su cui saranno depositati i titoli o all'atto del rilascio della qualifica IGO o, su esplicita richiesta dei produttori, delle imprese di vendita soggette all'obbligo del D.M. 31/07/2009 [12] e dei *trader* operanti nel mercato elettrico italiano o estero.

Poiché è impossibile monitorare accuratamente la fonte di energia dell'elettricità erogata da una specifica presa di corrente, lo scopo del sistema delle GO (che rappresenta beni intangibili separati dall'effettiva distribuzione fisica dell'energia) è più che altro quello di tenere traccia delle informazioni sulla produzione dell'energia e sugli "attributi" dell'elettricità generata.

Un altro obbligo regolamentare connesso alle GO, oltre la *Fuel Mix Disclosure*, è la c.d. "cancellazione" delle GO. All'interno dell'UE gli operatori in possesso di GO che vogliono dichiarare di detenere energia rinnovabile nel proprio portafoglio, devono cancellare dal registro le GO per la quota corrispondente. La stessa operazione deve essere svolta anche dai fornitori di energia per poter comunicare sulla bolletta che l'elettricità da loro offerta proviene da fonti rinnovabili.

Quindi, per quanto riguarda i fornitori, queste certificazioni elettroniche vengono cancellate dai registri una volta utilizzate per scopi divulgativi a vantaggio del consumatore finale. In particolare, le imprese di vendita, dal 1 Gennaio 2013, hanno l'obbligo di approvvigionarsi di una quantità di GO pari all'energia elettrica venduta, quantità che deve poi essere annullata entro il 31 Marzo dell'anno successivo a quello in cui essa è stata fornita.

È solo da inizio Gennaio 2013 che, in Italia, i fornitori di energia elettrica possono vendere GO alle imprese loro clienti che desiderano acquisire l'energia prodotta da fonte pulita.

Inoltre, per poter consentire il trasferimento tecnico dei certificati oltre i confini nazionali e, in generale, giungere ad un'armonizzazione delle regole a livello europeo, è stato creato il c.d. *European Energy Certificate System* (EECS), che è una piattaforma, adeguatamente regolamentata, adibita al tracciamento comune degli organismi di emissione e dei registri nazionali. Come proposto dalla Direttiva 2009/72/CE, l'EECS è stato sviluppato dall'Associazione degli Organismi Emittenti (AIB – *Association of Issuing Bodies*), l'associazione dei registri nazionali e degli enti emittenti di più di 20 paesi europei e nasce dal concetto proposto nel protocollo “*Basic Commitment*” del RECS (*Renewable Energy Certificate System*) [22], un sistema volontario internazionale per il commercio dei certificati di energia rinnovabile. Proprio nell'ambito dell'EECS sono effettuati i trasferimenti e le cancellazioni delle GO, attraverso un centro comune di comunicazione informatica gestito dall'AIB.

All'atto di annullamento, in particolare, viene generato un vero e proprio Certificato di Annullamento, che presenta un certo codice identificativo connesso al codice ID dell'impianto, dal quale le GO cancellate derivano. Alla fine delle eventuali transazioni e cancellazioni, deve esistere perfetta corrispondenza tra l'elettricità prodotta dagli impianti qualificati IGO e quella consumata e “documentata” come tale.

### 2.3 Valutazione dei mercati

Le Garanzie d'Origine sono scambiate sia su un mercato all'ingrosso sia sui mercati dei consumatori finali (*end-user markets*). In realtà non esiste un unico mercato all'ingrosso, ma tanti mercati definiti dagli utenti finali, come, ad esempio, i mercati dell'elettricità, dei trasporti pubblici, degli elettrodomestici etc, per i quali le GO sono solo una delle molte componenti. Seguendo l'approccio presentato da Oslo Economics nel *Report 58* del 2017 [30], è interessante valutare se i mercati delle GO esibiscono caratteristiche simili ai mercati perfettamente competitivi.

In base alla teoria dell'equilibrio economico generale, infatti, un mercato perfettamente concorrenziale soddisfa diverse condizioni ideali che conducono all'equilibrio di concorrenza perfetta, quindi a un ottimo paretiano stabile, in cui non è possibile migliorare l'utilità di un soggetto, senza peggiorare il benessere degli altri. Un equilibrio di perfetta concorrenza è considerato efficiente, in quanto le decisioni di produzione e di consumo garantiscono un'allocazione efficiente delle risorse. I produttori accettano i prezzi di mercato (*price taker*), cercando di ridurre i propri costi di produzione, al fine di massimizzare il proprio profitto, finché il valore di mercato eguagli il costo marginale ( $P=MC$ ).

Le principali condizioni che caratterizzano un mercato perfettamente concorrenziale, sono la presenza sul mercato di tanti *player* senza potere di mercato, l'omogeneità del prodotto, l'assenza di barriere all'ingresso (come licenze restrittive o elevati costi di transazione), la presenza di perfetta informazione e la perfetta razionalità degli agenti.

Il mercato all'ingrosso di alcune GO risulta, per i prodotti ad alto volume, abbastanza simile ad un mercato perfettamente concorrenziale: è caratterizzato dalla presenza di tanti agenti e da nessuna barriera all'entrata, è abbastanza liquido, con bassi costi di transazione e alquanto trasparente, con la conseguenza che i prezzi riflettono tempestivamente le informazioni che arrivano sul mercato, anche se non tutti i *player* riescono a disporre di tali informazioni nello stesso momento. Queste considerazioni non valgono nel caso di GO scambiate con minore frequenza, come Bra Miljöval Hydro, per le quali anche il mercato all'ingrosso risulta molto più lontano dalla concorrenza perfetta [30].

I mercati dei consumatori finali, invece, sono quasi sempre caratterizzati da liquidità e trasparenza insufficienti, nonché da una concorrenza molto imperfetta che può generare problemi di asimmetria informativa tra i fornitori di energia e i consumatori finali. Sui mercati delle GO esistono spesso barriere all'entrata: ad esempio, Deutsche Bahn è monopolista sul mercato dei biglietti ferroviari in Germania, dove le GO sono incluse come uno dei tanti attributi. L'ampia gamma di GO e il fatto che esse siano spesso accorpate ad altri prodotti o servizi rinnovabili sono ostacoli all'informazione perfetta e influiscono negativamente non solo sulla trasparenza dei mercati finali, ma anche sulla possibilità per gli utenti di confrontare prodotti diversi, favorendo quindi la persistenza di differenziali di prezzo sul mercato all'ingrosso.

Sempre in un'ottica di comparazione con i mercati perfettamente competitivi, le informazioni sui prezzi sono molto difficili da reperire per coloro che sono esterni al mercato, mentre la maggior parte degli operatori ha generalmente accesso ai prezzi contribuiti dai *broker* o da altre piattaforme e *information provider*, come Montel Online, Greenfact etc. Si ritiene, quindi, che il tema della trasparenza rappresenti per il mercato delle Garanzie d'Origine un problema centrale, che potrebbe inficiare il suo sviluppo futuro e il suo corretto funzionamento.

Qualora il mercato delle GO raggiungesse standard di trasparenza adeguati, infatti, tali strumenti potrebbero diventare un importante elemento dei PEF, cioè piani economico-finanziari elaborati nell'ambito di operazioni di *Project Financing*, nel campo delle energie rinnovabili. Nei PEF vengono mappate le potenziali entrate e uscite di cassa di un dato progetto, al fine di dimostrarne la sostenibilità economico-finanziaria, ottenendo così dei finanziamenti.

Il PEF, in particolare, è uno strumento molto utile sia per gli sponsor sia per i finanziatori.

Questo piano, infatti, permette di mostrare agli sponsor l'evoluzione del progetto, verificare le varie tipologie di controparti, che possono sostenerlo, nonché svolgere una valutazione della redditività. D'altro canto è anche soddisfatta la necessità dei finanziatori di valutare l'impegno finanziario complessivo e di conoscere i vari rischi connessi alla realizzazione e alla gestione del progetto.

La costruzione di un PEF richiede, infatti, la quantificazione degli investimenti, necessari per l'avvio dell'iniziativa di finanziamento del progetto. Se poi dal piano emergerà che il progetto è in grado di generare ricchezza, al netto della copertura degli investimenti e della remunerazione dei finanziatori, allora il progetto sarà implementato.

In quest'ottica, le GO, a differenza dei Titoli di Efficienza Energetica, potrebbero essere una fonte di ricavo per i progetti di impianti a fonti rinnovabili.

Per il momento, nei progetti di *Project Financing*, non vi è una chiara stima del valore delle GO associate al valore dell'energia rinnovabile, anche perché il prezzo di queste ultime (spesso inferiore o uguale a €1) non è tale da poter influire sulla decisione di finanziamento, ma potrebbe al massimo costituire un extra-profitto in un'analisi di *upside scenario*. Tuttavia, è anche vero che, con maggiori informazioni a disposizione, sarebbe possibile inserire all'interno di un modello di previsione una valutazione esplicita delle GO, ricorrendo, ad esempio, a una metodologia di valutazione semplificata, come un sistema di *notching*, rendendo così i PEF più accurati e trasparenti. Qualora poi il valore delle Garanzie d'Origine aumentasse, esse potrebbero divenire una componente importante nella stima del *base case*. Tutto questo ragionamento, però, è imprescindibile dallo sviluppo di un mercato di operatori, che garantiscano un *off-take* di un certo numero di contratti e per diversi anni a prezzo fisso delle curve *forward* delle GO.

### 3 La gestione del rischio di mercato e del rischio di liquidità

Come anticipato nella sezione 2, le serie storiche utilizzate nell'analisi sono i prezzi di chiusura e i prezzi *Bid* e *Ask* per il periodo dal 18 Luglio 2017 al 3 Agosto 2018, relativi a quattro categorie di GO, differenziate in base alla tecnologia (o fonte energetica) e considerando per ogni categoria quattro diversi vintage (o anni di produzione).

I principali problemi emersi dall'analisi quantitativa, condotta sul campione iniziale di 16 serie storiche dei prezzi giornalieri di GO, sono rappresentati dalla loro brevità e dal fatto che esse sono contraddistinte da *trend* crescenti con prezzi talvolta costanti su più giorni e rendimenti nulli. Per tali motivi, le metodologie quantitative proposte per misurare e gestire in modo prudentiale i principali rischi non sempre sono convenzionali e le stime fornite devono essere considerate un punto di partenza per lo studio di questo mercato in evoluzione.

Il primo approccio esplorato per la gestione del rischio di mercato è il tradizionale calcolo del VaR (e quindi dell'ES) storico e parametrico [24] a partire dai rendimenti realizzati dalle GO, impiegando sia dati giornalieri sia dati aggregati settimanalmente.

Si è deciso di calcolare il VaR anche ricorrendo all'approccio *variance-covariance*, benché le distribuzioni di probabilità dei rendimenti delle GO non siano affatto normali, ma per lo più leptocurtiche con code grasse, poiché ritenuto necessario per la completezza dell'analisi. Infatti, nel caso delle GO, raramente i quantili delle distribuzioni empiriche sono superiori a quelli parametrici (soprattutto a un livello di confidenza superiore al 95%), mentre più spesso accade il contrario, cioè che il VaR calcolato col *variance-covariance method* risulti maggiore di quello storico, sia al 95% sia al 99%.

Questo comunque poteva già essere dedotto dall'analisi qualitativa dei grafici delle distribuzioni dei rendimenti che mostra come la curva di densità normale sovrasti, in particolare sulla coda di sinistra, quella empirica (Figura 1), anche se non si tratta di una caratteristica che accomuna tutte le distribuzioni delle GO.

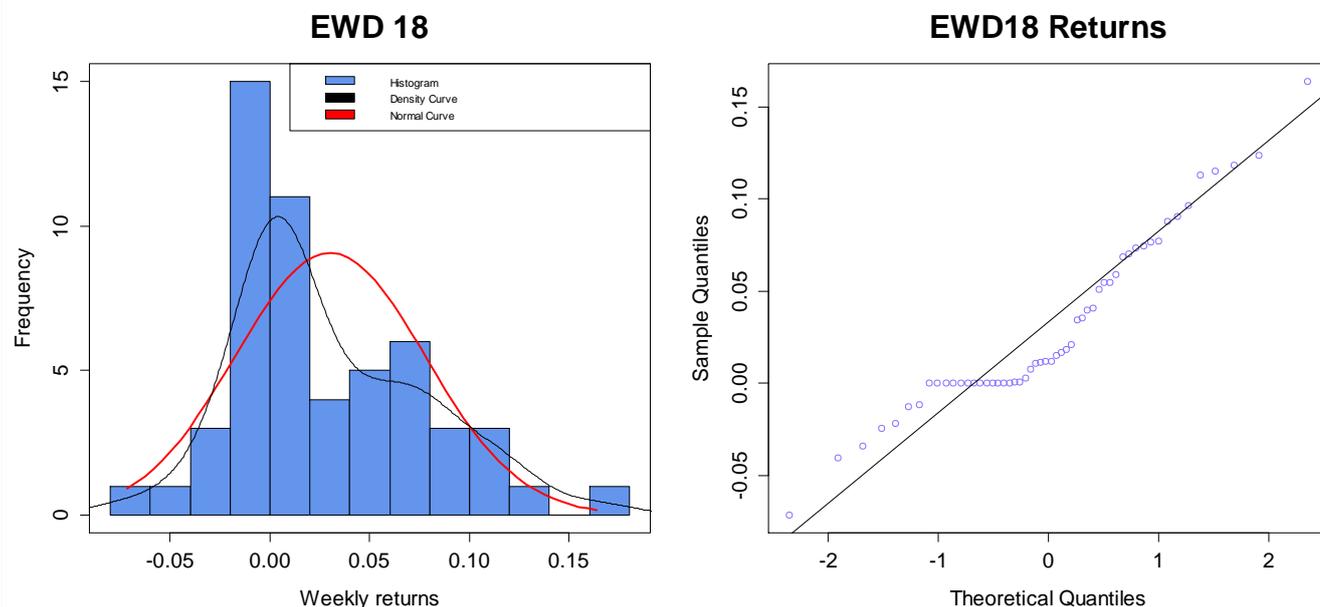


Figura 1. Istogramma e Q-Q plot dei rendimenti settimanali di una GO

Proprio l'eterogeneità delle Garanzie d'Origine è uno dei motivi per cui l'obiettivo dello studio, non è quello di confrontare tra loro i diversi metodi di calcolo del Value at Risk, al fine di arrivare a suggerire il "migliore", quanto piuttosto quello di progettare un sistema di gestione del rischio ad hoc, utilizzando diversi approcci.

Si è poi stimato il VaR, sempre con l'approccio parametrico, ma col presupposto, in un'ottica prudentiale, che la media storica dei rendimenti sia per tutte le GO pari a zero, cercando così di ovviare al problema che le brevi serie storiche a disposizione crescano per tutto l'arco di tempo considerato.

Analizzate le metodologie tradizionali standard di misurazione del rischio di mercato, si prende in considerazione un rischio latente per il mercato emergente delle GO: il rischio di liquidità. Come noto, le Garanzie d'Origine sono scambiate sul mercato all'ingrosso, attraverso intermediari, *trading house* o direttamente tra produttori e grandi imprese oppure sui mercati dei consumatori finali (*end-user markets*). Il mercato all'ingrosso delle GO risulta, per i prodotti ad alto volume di scambio, come la categoria di GO *Large Nordic Hydro*, abbastanza liquido, con bassi costi di transazione e trasparente, con la conseguenza che i prezzi riflettono tempestivamente le informazioni, che arrivano dal mercato. Sempre sul mercato all'ingrosso, per i prodotti scambiati con minore frequenza (come *Bra Miljöval Hydro*), si osservano variazioni di prezzo maggiori rispetto ai prodotti ad alto volume, a causa, principalmente, della minor disponibilità nell'offerta delle GO stesse. I mercati dei consumatori finali, invece, sono caratterizzati da una liquidità e una trasparenza insufficienti, nonché da una concorrenza molto imperfetta. Innanzitutto, la domanda eterogenea di GO, dovuta principalmente al fatto che i consumatori hanno preferenze e percezioni differenziate di cosa rappresenti uno status "*environmentally friendly*", ha portato a una ampia varietà di prodotti, influenzando negativamente sulla trasparenza dei mercati e ostacolando la possibilità, per gli utenti finali, di confrontare prodotti diversi e i rispettivi prezzi. Si può notare che, nei mercati degli utenti finali, le GO, non sono normalmente vendute da sole, ma come uno dei molti contributi di una tariffa elettrica o di un altro prodotto. Inoltre, in alcuni segmenti dei mercati dei consumatori finali, come, ad esempio, in quello relativo ai biglietti ferroviari in Germania, esistono sia giocatori con ampio potere di mercato, sia barriere all'entrata. Questo deve essere interpretato alla luce del fatto che, invece, una delle principali caratteristiche di un mercato liquido è la presenza sul mercato di tanti acquirenti e tanti venditori, disposti a negoziare in qualsiasi momento. La liquidità nei mercati finanziari è, infatti, definita come la facilità di scambio di un bene, che, come ha posto in evidenza l'attuale crisi, è spesso tutt'altro che elevata e costante. La liquidità rappresenta una misura della capacità di acquistare o vendere un prodotto senza causare un cambiamento significativo nel suo prezzo e senza incorrere in significativi costi di transazione.

Per quanto concerne la misurazione del rischio di liquidità connesso alle GO del campione considerato, seguendo il suggerimento di molti autori, si è fatto ricorso al c.d. *Bid-Ask spread* [1].

Secondo le convenzioni tipiche di questo mercato, il *Bid-Ask spread* è stato calcolato come segue:

$$Bid - Ask Spread (\%) = \frac{(Bid Price - Ask Price)}{Bid Price} * 100 \quad (Eq. 1)$$

Si analizzi, a titolo esemplificativo, il differenziale denaro-lettera per la GO NHY 18, che varia nel periodo temporale considerato dal 2,67% registrato nell'Agosto 2017 allo 0,63% di fine periodo (in media 1,27%) e che presenta un trend di riduzione, che, tuttavia, non è legato ad un aumento dei volumi negoziati (Figura 2), come, invece, ci si potrebbe attendere.

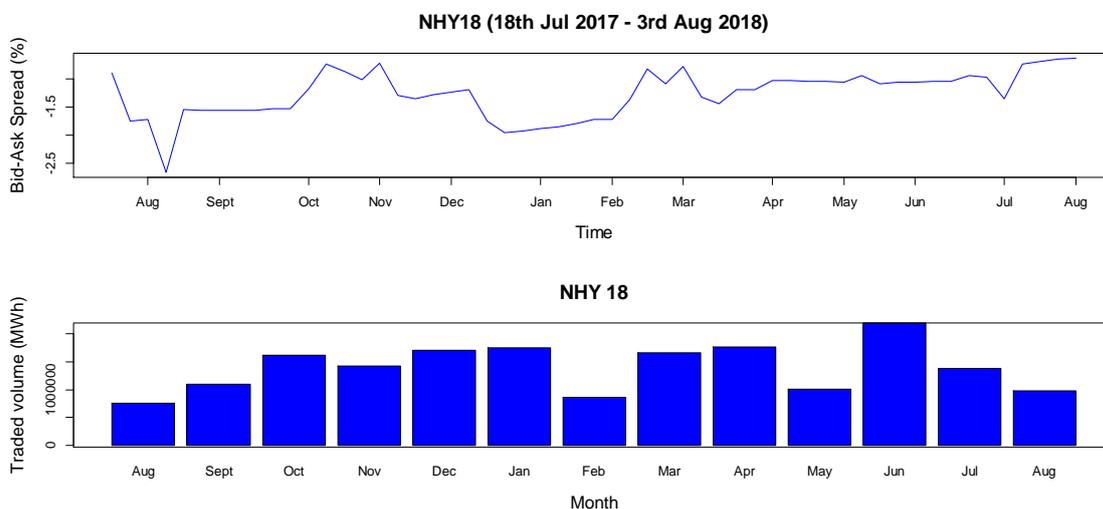


Figura 2. Confronto tra Bid-Ask Spread e volumi scambiati mensilmente della GO – NHY 18

Rispetto ad altri mercati di *commodity* e al mercato attuale delle EUA, quindi, gli *spread* del mercato delle GO sono considerevolmente maggiori, attestandosi in media tra l'1,27% e il 2,5%.

Si pensi, ad esempio, che, nel 2017, il mercato dell'oro aveva uno spread medio dello 0,17% e il mercato delle EUA dello 0,20% [25]. Tuttavia, i *Bid-Ask spread* medi delle GO sono abbastanza in linea con quello, che le EUA presentavano nel 2006, pari a circa l'1,21% [4], quando la serie storica a disposizione era di un solo anno, proprio come quella delle GO oggi. Un motivo per cui lo *spread* complessivo è così elevato potrebbe essere legato al fatto che il *trading* delle GO avviene al di fuori di una qualsiasi Borsa (OTC).

Ciò che emerge da questa analisi è un mercato delle GO poco liquido e la volatilità associata alle GO si è dimostrata essere più alta rispetto a quella di altre *commodity*, come l'oro, il grano e il cotone [32].

Dal confronto tra la liquidità di mercato, rappresentata come *Bid-Ask spread*, e la volatilità di una GO, a titolo esemplificativo può emergere in parte questa correlazione. Infatti, laddove la varianza ha valori molto bassi o molto alti (cosa che accade a Novembre 2017 e a Luglio 2018; punti rossi in Figura 3), anche il *Bid-Ask spread* assume i valori rispettivamente di minimo e di massimo.

Tuttavia, la corrispondenza tra la liquidità e la volatilità di mercato non è perfetta: a inizio Maggio (punti verdi in Figura 3), ad esempio, a fronte di un *Bid-Ask spread*, che rimane costante da inizio Aprile, si ha una varianza, che aumenta in modo considerevole.

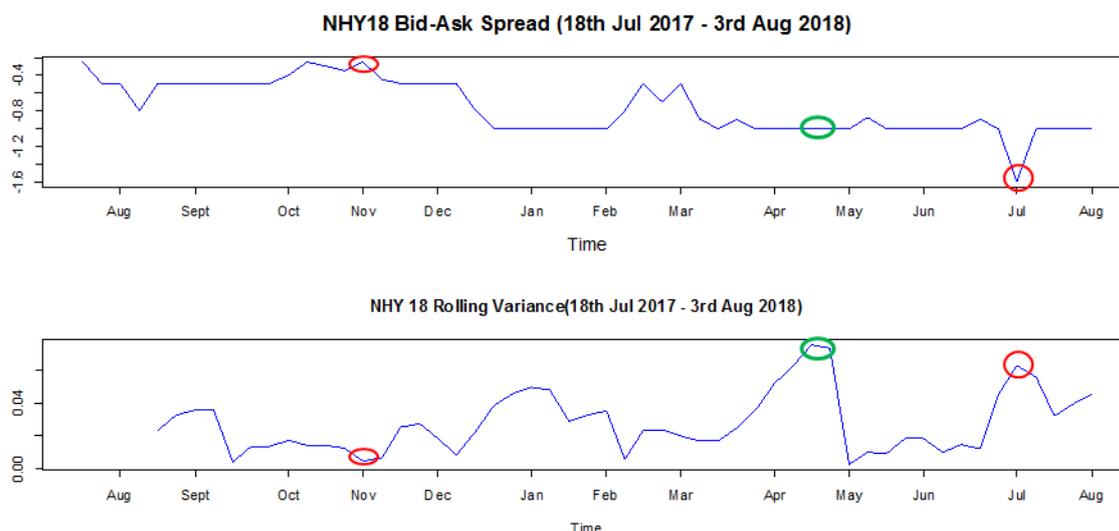


Figura 3. Confronto tra la varianza e la liquidità della GO – NHY 18

Allo stato attuale e dall’analisi condotta con le serie storiche a disposizione appare molto difficile fare considerazioni affidabili circa il rischio di liquidità associato al mercato delle GO, perché si tratta di un mercato emergente, che ha iniziato ad essere significativo in termini di volumi scambiati solo dall’estate scorsa.

#### 4 Progettazione di metodologie Monte Carlo avanzate per la gestione del rischio di mercato

Ad integrazione dei metodi descritti nel precedente paragrafo, è possibile calcolare il VaR di un titolo o di un portafoglio attraverso il metodo Monte Carlo.

Tale metodologia consente una maggiore flessibilità di progettazione e fornisce l’opportunità di tenere in considerazione, qualora presenti, dati finanziari prospettici [20]. Il motore di integrazione stocastica di base progettato risolve la dinamica tradizionale di rappresentazione dei prezzi degli *asset* finanziari:

$$dS_t = a(S, t)dt + b(S, t)dW_t \quad (\text{Eq. 2})$$

Ponendo:  $\begin{cases} a(S, t) = \mu S_t \\ b(S, t) = \sigma S_t \end{cases}$  si ottiene il tradizionale moto geometrico browniano:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (\text{Eq. 3})$$

dove:

- $\mu$  è la pendenza del processo stocastico, che, nel caso delle GO, può essere posta pari alla pendenza storica, o più prudenzialmente al tasso *risk-free* o addirittura può essere azzerato il termine;
- $\sigma$  è la volatilità che, in funzione delle esigenze e dei valori messi a disposizione dal mercato, può essere storica (paragrafo 4.1), GARCH (paragrafo 4.2), implicita (paragrafo 4.3) o SABR-*Stochastic Alpha Beta Rho* (paragrafo 4.4);
- $dW_t$  è un processo stocastico di Wiener (a media nulla e varianza unitaria)
- $S_t$  è il livello di prezzo *spot* al tempo  $t$ .

Seguendo i principi dell’analisi stocastica di Ito, l’equazione (3) può essere integrata:

$$S + dS = S \cdot \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dW_t \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

La (4) può essere discretizzata ed implementata nel *software* di elaborazione numerica R:

$$S + \Delta S = S \cdot \exp \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta t + \sigma \epsilon_t \sqrt{\Delta t} \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

dove  $\epsilon_t$  è il processo di estrazione casuale di una realizzazione da una distribuzione normale standard.

A partire dalla (5) si estende il processo nel caso di più *asset* costituenti il portafoglio tramite la decomposizione di Cholesky, che consente di tenere in considerazione la correlazione presente tra gli *asset*.

Siano  $\epsilon$  e  $\alpha$  dei vettori colonna di dimensione  $1 \times N$ , con  $N$  il numero delle GO considerate, allora  $\alpha = M\epsilon$ , dove  $M$  è una matrice triangolare inferiore  $N \times N$  tale che  $MM^T = R$  con  $M^T$  la matrice trasposta di  $M$  e  $R$  la matrice simmetrica positiva di correlazione degli *asset* presenti nel portafoglio [15].

Ricavati gli  $\alpha_{i,t}$ , si usano all'interno delle simulazioni per i singoli *asset*:

$$S_i + \Delta S_i = S_i \cdot \exp \left[ \left( \mu_i - \frac{1}{2} \sigma_i^2 \right) \Delta t + \sigma_i \alpha_{i,t} \sqrt{\Delta t} \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

Tale motore di simulazione è in grado di generare, in accordo con la best practice finanziaria, livelli prospettici di prezzo, e, conseguentemente, i relativi rendimenti per un generico tempo  $t$ . Una volta generata la distribuzione dei rendimenti al tempo desiderato (tipicamente a un giorno, a una settimana e a un mese), si possono impiegare le medesime *routine* di stima del VaR e dell'ES, programmate e descritte nel paragrafo 3. Il vantaggio di adottare un approccio di tipo Monte Carlo rispetto a quello di tipo storico tradizionale è che il primo, grazie alla sua flessibilità di progettazione, permette potenzialmente di calcolare il VaR e l'ES integrando nella simulazione numerica informazioni di mercato note (o ritenute attendibili con una forte probabilità), generando conseguentemente dati prospettici, che tengono conto di questi input, attribuendo alla metodologia una *view* maggiormente coerente con le aspettative finanziarie future.

Definito il *framework* di simulazione principale, i prossimi paragrafi si focalizzano sulla scelta del parametro che rappresenta la volatilità ( $\sigma$ ). Tipicamente, qualora non si disponga di dati prospettici considerati attendibili, viene utilizzato un approccio storico basato sulla deviazione standard dei logaritmi dei rendimenti realizzati in passato. Tale approccio viene descritto formalmente nel paragrafo 4.1, nel quale sono riportate le formule di stima della deviazione standard in funzione dei prezzi di mercato disponibili per la GO (*close price*).

Un approccio storico più evoluto e statisticamente più affidabile è quello di modellizzare  $\sigma$  tramite una struttura a termine di volatilità ottenuta da un GARCH(1,1). Il paragrafo 4.2, dopo aver descritto sinteticamente i test ad ipotesi nulla condotti per la verifica degli eventuali effetti di eteroschedasticità, si focalizza su come stimare i parametri del modello impiegando il principio di massima-verosimiglianza unitamente ai concetti della *Response Surface Methodology* (RSM).

Qualora l'analista disponesse, ad esempio, di informazioni di mercato inerenti i premi di opzioni ritenuti affidabili, potrebbe essere un valido approccio quello di sostituire a una stima storica della volatilità quella implicita di mercato. Il paragrafo 4.4 descrive il metodo più tradizionale impiegato dai *trader* al fine di ricavare  $\sigma$ , che consiste nell'impiego di un *solver* al fine di invertire numericamente la formula di *pricing* di Black-Scholes-Merton.

Un ulteriore affinamento di questo ultimo approccio, particolarmente idoneo per i contratti *forward*, può essere considerato il modello SABR trattato nel paragrafo 4.5. Esso consente di tenere conto nella modellizzazione della volatilità anche degli *smile* osservati sul mercato, cioè permette di considerare come varia la volatilità, per una scadenza fissata, al variare del prezzo di esercizio dell'opzione. Nonostante il modello SABR fornisca una stima di  $\sigma$  più veritiera e completa, necessita di molti valori di mercato delle opzioni, dati, ad oggi, difficilmente disponibili sul mercato delle GO.

Il paragrafo 4.3 descrive una variante del tradizionale metodo Monte Carlo, che ha come dinamica sottostante un moto geometrico browniano: il processo implementato è quello di Ornstein-Uhlenbeck. In accordo con tale modello viene fornita la possibilità di implementare un effetto di ritorno alla media (*mean-reversion*), fenomeno tipico osservato per molte *commodity*. Il codice scritto consente, dapprima, la verifica di tale peculiarità mediante un test statistico ad ipotesi nulla e poi la stima dei parametri della dinamica, in accordo con il metodo di massima verosimiglianza. Il motore di integrazione numerica, pertanto, rende possibile la simulazione prospettica dei rendimenti finalizzati alla stima del Var e dell'ES.

#### 4.1 Monte Carlo VaR con volatilità storica

In letteratura esistono differenti modalità di calcolo della volatilità, a partire dai tassi di variazione dei prezzi delle serie storiche (*historical volatility*).

In funzione dei dati finanziari a disposizione, la volatilità può essere stimata tramite i seguenti approcci [18]:

*Close-to-Close Volatility*:

$$\sigma_{HIST} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \ln \left( \frac{Close_i}{Close_{i-1}} \right)^2 - \frac{1}{N(N-1)} \left[ \sum_{i=1}^N \ln \left( \frac{Close_i}{Close_{i-1}} \right) \right]^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

*High-Low Volatility*, suggerito da Parkinson nel 1980:

$$\sigma_{HIST} = \frac{1}{2N\sqrt{\ln(2)}} \sum_{i=1}^{N+1} \ln\left(\frac{High_i}{Low_i}\right) \quad (\text{Eq. 8})$$

*High-Low-Close Volatility*, proposto da Garman e Klass sempre nel 1980:

$$\sigma_{HIST} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \left[ \ln\left(\frac{High_i}{Low_i}\right) \right]^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [2 \ln(2) - 1] \cdot \left[ \ln\left(\frac{Close_i}{Close_{i-1}}\right) \right]^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

dove:

- $Close_i$  = prezzo di chiusura dell'*asset* alla fine dell'intervallo  $i$
- $High_i$  = livello di prezzo più alto registrato dall'*asset* nell'intervallo  $i$
- $Low_i$  = livello di prezzo più basso registrato dall'*asset* nell'intervallo  $i$ .

Nel caso delle GO, la mancanza di dati completi nelle serie storiche ha portato ad utilizzare principalmente la metodologia *Close-to-Close*.

#### 4.2 Monte Carlo VaR con volatilità GARCH

Al fine di comprendere se l'ipotesi di costanza della varianza all'interno del *framework* Monte Carlo proposto fosse troppo forte, si sono effettuate delle analisi impiegando test statistici ad ipotesi nulla su diversi *lag* temporali (Ljung-Box e ARCH LM Test). Alcune delle serie storiche delle certificazioni delle garanzie di origine hanno mostrato effetti di eteroschedasticità concentrati principalmente sul primo *lag*. Per questo motivo, per tali GO, si è deciso di implementare nel sistema di gestione del rischio un modello GARCH [13].

In un processo GARCH di ordine  $(p, q)$ , la varianza condizionata dipende dai propri  $p$  valori più recenti, da un tasso di volatilità media di lungo periodo e dal quadrato degli ultimi  $q$  rendimenti passati e può essere così espressa:

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{n-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{n-j}^2 \quad (\text{Eq. 10})$$

dove:

- $\sigma_n^2$  è la varianza al tempo  $n$
- $\gamma$  è il peso assegnato alla volatilità di lungo periodo
- $V_L$  è la varianza media di lungo periodo
- $\alpha_i$  è il peso assegnato all' $i$ -esimo rendimento passato
- $u_{n-i}^2$  è il quadrato degli ultimi  $n - i$  rendimenti logaritmici
- $\beta_j$  è il peso assegnato al  $j$ -esimo valore passato della varianza condizionata
- $\sigma_{n-j}^2$  esprime il valore degli ultimi  $n - j$  valori passati della varianza stessa.

Quindi, l'equazione, che rappresenta la varianza condizionata di un GARCH(1,1), è la seguente:

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2 = \omega + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2 \quad (\text{Eq. 11})$$

A partire da questa formula, utilizzando il metodo di massima verosimiglianza (ML – *Maximum Likelihood*), si possono stimare i parametri  $\omega$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , ricavando poi  $\gamma$  ( $\gamma = 1 - \alpha - \beta$ ).

Non si possono, infatti, usare stime OLS (*Ordinary Least Squares*), perché le loro proprietà asintotiche sono basate sull'ipotesi di omoschedasticità. In particolare, ponendo  $v_i = \sigma_i^2$  la varianza stimata per il giorno  $i$  e assumendo che la distribuzione di probabilità di  $u_i$  condizionata alla varianza sia normale, la funzione di massima verosimiglianza da massimizzare rispetto ai tre parametri liberi del modello è [19]:

$$L = \prod_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi v_i}} \exp\left(-\frac{u_i^2}{2v_i}\right) \quad (\text{Eq. 12})$$

dove  $u_i$  è l' $i$ -esimo rendimento logaritmico.

Applicando il logaritmo naturale, l'equazione (12) diventa la seguente funzione caratterizzata dal medesimo punto di massimo:

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^m \left[ -\ln(v_i) - \frac{u_i^2}{v_i} \right] = \sum_{i=1}^m \ln(L_i) \quad (\text{Eq. 13})$$

dove  $L_i$  è la *log-likelihood* riferita ad una GO relativa al giorno  $i$ -esimo.

Massimizzare l'Eq. (13) è un problema di ottimizzazione in tre variabili indipendenti, sotto i vincoli che  $\omega$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  siano positivi e che il processo sia stazionario ( $\alpha + \beta < 1$ ). Nel caso delle GO, avendo a disposizione serie storiche corte e con tanti dati costanti, pur aggregando i dati settimanalmente, sono stati implementati alcuni accorgimenti, al fine di rendere il *solver* più robusto. Innanzitutto, si è adottato il c.d. *variance targeting* che consiste nel fissare la varianza media di lungo periodo  $V_L$  pari alla varianza campionaria delle GO considerate e nel porre, quindi,  $\omega = V_L(1 - \alpha - \beta)$ , lasciando così solo due parametri,  $\alpha$  e  $\beta$ , da stimare. Dopo aver eliminato una dimensione dal problema di massimizzazione numerica ed aver impostato correttamente i vincoli che garantiscono l'esistenza di un valore reale per  $L_i$ , si è riscontrato il problema tecnico che la soluzione fornita dal risolutore era fortemente dipendente dalla soluzione iniziale specificata nella *routine* [14].

Nella maggior parte delle casistiche si è dovuto ricorrere a tecniche di *Design of Experiment* (DOE), quali la *Response Surface Methodology* (RSM), al fine di scegliere un ragionevole punto di partenza dell'algoritmo per le successive iterazioni [3].

Una volta stimati i parametri, si è implementato un test sulla normalità dei residui,  $\epsilon_i = u_i/\sigma_i$ , che ha confermato che la varianza è stata modellata correttamente [33]. La generazione della struttura a termine di volatilità, direttamente implementabile nel motore Monte Carlo, è stimabile dalla relazione:

$$\sigma_{GARCH}(T) = \sqrt{252 \left( V_L + \frac{1 - \exp(-aT)}{aT} [V(0) - V_L] \right)} \quad (\text{Eq. 14})$$

dove:

- $V_L$  è posta pari alla varianza campionaria
- $V(0)$  è la varianza stimata con il GARCH(1,1)
- $a = \ln\left(\frac{1}{\alpha + \beta}\right)$
- 252 sono i *trading days* in un anno.

#### 4.3 Monte Carlo VaR con mean reversion

Sia la letteratura sia i *practitioners* fanno spesso ricorso per la modellizzazione dei livelli di prezzo futuri, associati ad una *commodity*, a dinamiche stocastiche, che inglobano il cosiddetto fenomeno di *mean-reverting* [23].

Sperimentalmente, osservando le serie storiche, si osserva, infatti, questo tipo di tendenza [6]. Per quanto riguarda il mercato nascente delle GO, tale effetto è, in certi casi, confermato, anche se, non essendo ancora un mercato maturo e non permettendo quindi di condurre analisi econometriche robuste o verifiche empiriche, è stato possibile effettuare, per la conferma, solo alcuni test statistici ad ipotesi nulla sulla *time series* dei valori *spot* di alcune Garanzie d'Origine [37].

Pertanto, esistendo un riscontro positivo, nel sistema di gestione e controllo viene implementato anche un *mean reverting* MC Var. L'equazione differenziale stocastica programmata è un processo di Ornstein-Uhlenbeck (anche detto, con particolare riferimento ai tassi d'interesse, modello di Vasicek) del tipo:

$$dS_t = \theta(\mu - S_t)dt + \sigma dW_t \quad (\text{Eq. 15})$$

dove:

- $\theta$  è il tasso di ritorno alla media, la velocità di *mean reversion*
- $\mu$  è la media di lungo termine
- $\sigma$  è la volatilità
- $dt$  è l'intervallo di tempo
- $dW_t$  è un processo di Wiener con media nulla e varianza unitaria.

La *routine* programmata, prima di effettuare l'integrazione numerica, stima i parametri attraverso il metodo della massima verosimiglianza (MLE – *Maximum Likelihood Estimation*) [35].

Si definisce la funzione di massima verosimiglianza  $L(\mu, \theta, \sigma)$ :

$$L(\mu, \theta, \sigma) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - n \ln(\sigma) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n [S_i - S_{i-1}e^{-\theta\delta} - \mu(1 - e^{-\theta\delta})]^2 \quad (\text{Eq. 16})$$

Annullando le *First Order Condition* (FOC), si trovano i punti di stazionarietà, che massimizzano la funzione  $L(\mu, \theta, \sigma)$ .

$$\begin{cases} \frac{\partial L(\mu, \theta, \sigma)}{\partial \mu} = 0 \\ \frac{\partial L(\mu, \theta, \sigma)}{\partial \theta} = 0 \\ \frac{\partial L(\mu, \theta, \sigma)}{\partial \sigma} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \mu = \frac{S_y S_{xx} - S_x S_{xy}}{n(S_{xx} - S_{xy}) - (S_x^2 - S_x S_y)} \\ \theta = -\frac{1}{\delta} \ln\left(\frac{S_{xy} - \mu S_x - \mu S_y + n\mu^2}{S_{xx} - 2\mu S_x + n\mu^2}\right) \\ \sigma^2 = \left(\hat{\sigma}^2 \frac{2\theta}{1 - \alpha^2}\right)^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (\text{Eq. 17})$$

con:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} [S_{yy} - 2\alpha S_{xy} + \alpha^2 S_{xx} - 2\mu(1 - \alpha)(S_y - \alpha S_x) + n\mu^2(1 - \alpha)^2]$$

$$\alpha = \exp(-\theta\delta), S_x = \sum_{i=1}^n S_{i-1}, S_y = \sum_{i=1}^n S_i, S_{xx} = \sum_{i=1}^n S_{i-1}^2, S_{xy} = \sum_{i=1}^n S_{i-1}S_i, S_{yy} = \sum_{i=1}^n S_i^2$$

dove  $\delta$  è la frequenza di campionamento del livello dello *spot*, che si intende simulare.

#### 4.4 Monte Carlo VaR con volatilità implicita

Qualora si abbiano a disposizione delle opzioni quotate scritte sui certificati delle Garanzie d'Origine, è consigliabile, al fine di fornire alla simulazione una visione maggiormente *forward-looking*, impiegare la volatilità implicita  $\sigma_{IMPL}$ . Tale misura è stimata invertendo numericamente la formula chiusa di valutazione di Black-Scholes [18]:

$$c = Se^{-qT}N(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2) \quad (\text{Eq. 18})$$

con:

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r - q + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S/X) + (r - q - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

A scopo illustrativo si propone la stima della volatilità  $\sigma_{IMPL}$  a partire dalla superficie delle volatilità di mercato dell'ETF (*Exchange-Traded Fund*) Invesco Solar (Figura 4), *asset* che ha mostrato una correlazione positiva con certe GO considerate d'interesse.

Impiegando i dati di mercato del 28 settembre (Fonte: Bloomberg®):

- *S* (*spot price*): 20.70 USD
- *X* (*strike price*): 20.57 USD
- *T* (tempo a scadenza): 0.0583
- *r* (il tasso privo di rischio): 2.259%
- *q* (*dividend yield* continuo annualizzato): 0%
- Valore di mercato dell'opzione: 0.5725 USD

Si ottiene, a partire dall'inversione della formula (18), un valore di  $\sigma_{IMPL}$  pari a 28.04%.

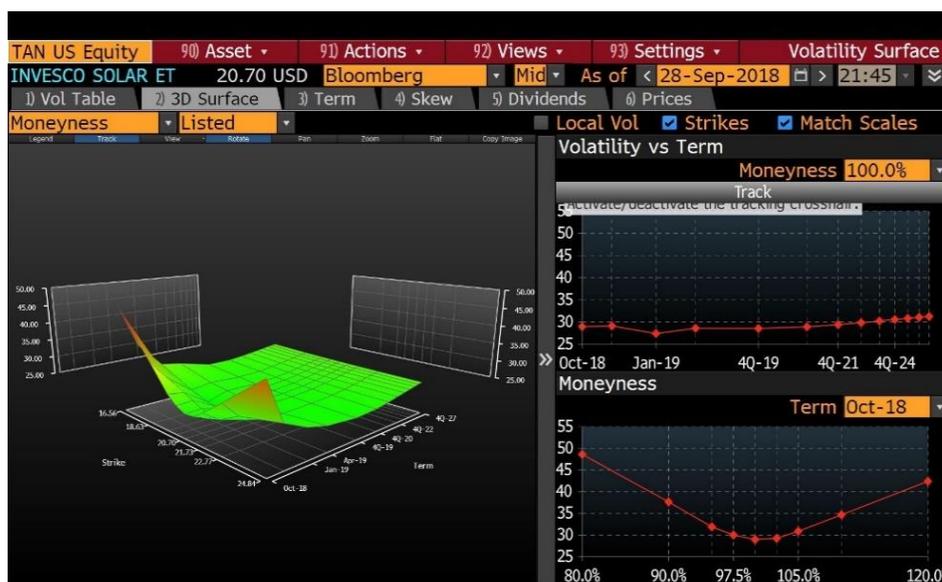


Figura 4. Superficie delle volatilità implicite dell'ETF Invesco Solar Fonte: Bloomberg® – 28 Settembre 2018

Ottenuta tale misura, essa può essere inserita all'interno del *framework* Monte Carlo, ricavando un MC VaR e una MC ES, aventi una visione prospettica più coerente con la *view* di mercato.

#### 4.5 Monte Carlo VaR con approccio SABR

Sui mercati delle GO un contratto *spot* è relativo alla produzione di energia avvenuta sia durante l'anno precedente sia in quello in corso, mentre un contratto *forward* riguarda la produzione di energia, che avrà luogo in futuro. Il modello *Stochastic Alpha Beta Rho* (SABR) è una metodologia di simulazione Monte Carlo specifica per i contratti di tipo *forward*. Essa implementa le seguenti dinamiche:

$$\begin{cases} dF = \alpha F^\beta dz \\ d\alpha = \nu \alpha dw \end{cases} \quad (\text{Eq. 19})$$

in cui i due processi sono così correlati:

$$dzdw = \rho dt \quad (\text{Eq. 20})$$

dove:

- $F$  è il valore del *forward*
- $\alpha$  è la volatilità del prezzo *forward*
- $\nu$  è la volatilità della volatilità
- $\beta$  è la costante, che influenza la distribuzione dell'*asset price*
- $dz$  e  $dw$  sono due processi di Wiener tra loro correlati.

Sotto le ipotesi (19) di evoluzione futura del prezzo  $F$ , in accordo con gli studi di Hagan [17], è possibile inserire all'interno del motore di simulazione Monte Carlo VaR una volatilità  $\sigma_B$ , in grado di tenere conto dello *smile* di volatilità osservato sul mercato:

$$\sigma_B = \frac{\alpha}{(FX)^{(1-\beta)/2} \left( 1 + \frac{(1-\beta)^2}{24} \ln(F/X)^2 + \frac{(1-\beta)^4}{1920} \ln(F/X)^4 \right)} \frac{z}{\chi(z)} \left[ 1 + \left( \frac{(1-\beta)^2}{24} \frac{\alpha^2}{(FX)^{1-\beta}} + \frac{1}{4} \frac{\rho \beta \nu \alpha}{(FX)^{(1-\beta)/2}} + \frac{2-3\rho^2}{24} \nu^2 \right) \right] T \quad (\text{Eq. 21})$$

con:  $z = \frac{\nu}{\alpha} (FX)^{(1-\beta)/2} \ln \frac{F}{X}$  e  $\chi(z) = \ln \left( \frac{\sqrt{1-2\rho z + z^2} + z - \rho}{1-\rho} \right)$ .

La maggior parte dei mercati sulle Garanzie d'Origine non sono così maturi da disporre di quotazioni di opzioni complete ed affidabili, ma, qualora si disponesse di maggiori informazioni sul *pricing* dei premi di tali opzioni, non pubblicate ufficialmente ma ottenute magari da *dealer Over-The-Counter*, per varie scadenze e per vari *strike price*, la metodologia qui descritta potrebbe essere utilmente impiegata per sfruttare adeguatamente le nuove informazioni finanziarie.

A scopo illustrativo si propone la stima della volatilità  $\sigma_B$  a partire dalla sezione delle volatilità implicite di mercato dell'ETF Invesco Solar, *asset* che ha mostrato una buona correlazione con certe GO considerate d'interesse.

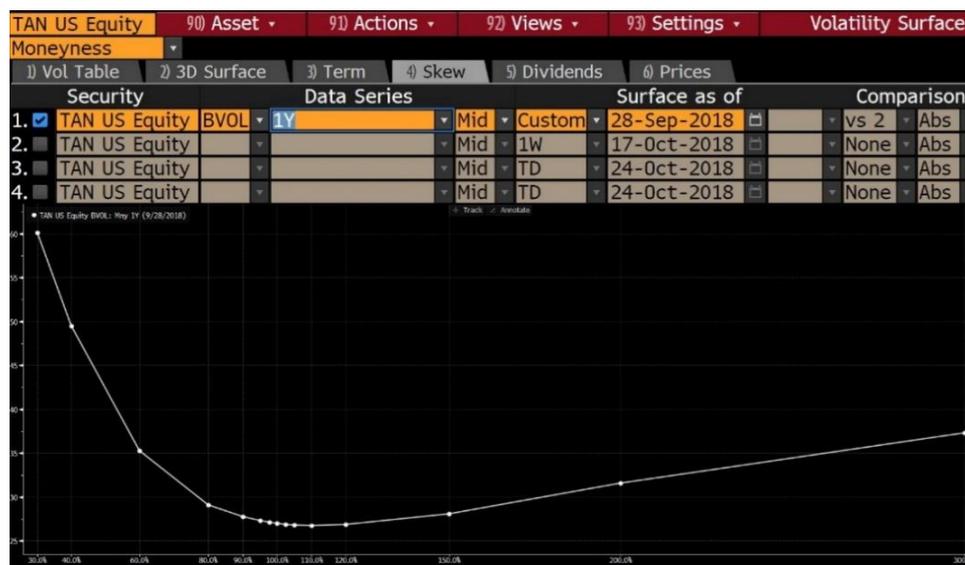


Figura 5. Sezione della superficie ad un anno delle volatilità implicite dell'ETF Invesco Solar. Fonte: Bloomberg® – 28 Settembre 2018

La Tabella 1 mostra la calibrazione con i dati di mercato dei parametri del SABR,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$  e  $\nu$ , e la volatilità aggiustata per lo *smile* di mercato. Tale valore può essere direttamente impiegato nel motore Monte Carlo per la stima del Var di un contratto *forward* con sottostante una Garanzia d'Origine.

$\alpha$	$\beta$ [bps]	$\rho$	$\nu$	$\sigma_B$
5.32	0.143	0.215	0.774	25.7%

Tabella 1. Calibrazione dei parametri SABR e calcolo della volatilità aggiustata per lo *smile* di volatilità osservato sul mercato.

## 5 La gestione del rischio di controparte

In questa sezione viene affrontato quello di controparte. In particolare, nel sistema di gestione di quest'ultimo rischio, sono state implementate tre diverse metodologie in funzione dei dati di mercato a disposizione e delle informazioni in proprio possesso. Si considera l'approccio più affidabile quello presentato nel paragrafo 5.1, poiché permette la stima della probabilità di *default* (PD) della controparte in funzione dei premi dei CDS (*Credit Default Swap*) attivamente negoziati sul mercato.

L'affidabilità del metodo è imputabile al fatto che, essendo un approccio fortemente *market-based*, le informazioni inerenti la qualità del credito dell'emittente sono istantaneamente riflesse nella quotazione dei CDS e, conseguentemente, nella stima della PD. Il secondo metodo, descritto nel paragrafo 5.2, si basa sul calcolo della probabilità di insolvenza a partire dal calcolo dello *spread* implicito (*Z-spread*) nelle obbligazioni quotate della controparte.

Anche questo approccio è da considerarsi *market-oriented*, ma, qualora la controparte disponga di CDS quotati, l'inferenza della PD utilizzando quest'ultimo metodo è normalmente preferibile, in quanto lo *spread* implicito ricavato dal prezzo di mercato potrebbe dipendere da fattori non direttamente riconducibili al rischio puro di controparte (come, ad esempio, l'illiquidità dello strumento). Qualora non si abbiano informazioni di mercato, si può sempre, in ultima istanza, ricorrere all'analisi del bilancio. Il paragrafo 5.3 descrive come dal modello probabilistico di Kealhofer, Merton e Vasicek (*KMV model*) si è in grado di determinare delle informazioni importanti inerenti la probabilità di insolvenza ad un anno di una generica controparte.

### 5.1 Controparti con CDS quotati

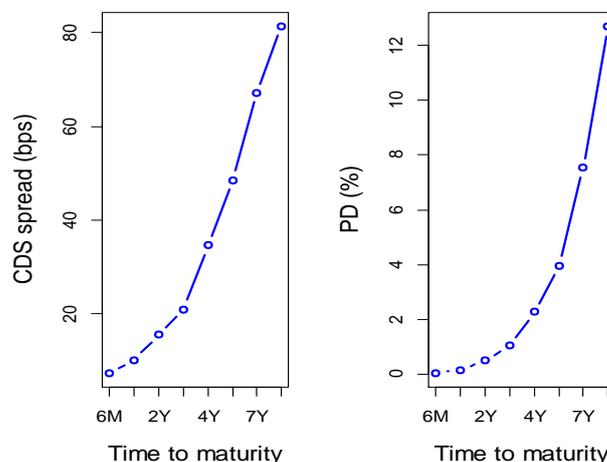
Qualora la controparte disponga di *Credit Default Swap* (CDS) quotati sul mercato, possono essere impiegati i premi ( $S$ ), espressi tipicamente in *basis point*, al fine di derivare la probabilità di *default*, secondo il set di formule [19]:

$$PD = 1 - e^{(-\lambda T)} \quad (\text{Eq. 22})$$

con:  $\lambda = \frac{S}{1-RR}$  dove:

- $\lambda$  hazard rate
- $T$  è il tempo a scadenza espresso in anni
- $RR$  è il *recovery rate* (tipicamente:  $RR = 40\%$ )
- $S$  è lo *spread*.

A titolo di esempio, la Figura 6 mostra la probabilità di insolvenza, stimata per una azienda operante nel settore delle GO a partire dai CDS attivamente negoziati sul mercato a fine Settembre 2018.



### 5.2 Controparti con Bond quotati

Nel caso in cui la controparte abbia delle obbligazioni, negoziate sul mercato secondario o delle quali si disponga di una contribuzione ritenuta affidabile, si può stimare lo *spread* implicito, da impiegare come *proxy* di rischiosità dell'emittente [19].

Nel caso dell'impianto di controllo e gestione dei rischi qui elaborato, si è stimata la struttura a termine delle probabilità di insolvenza di una nota controparte operante nel settore delle GO (Figura 7).

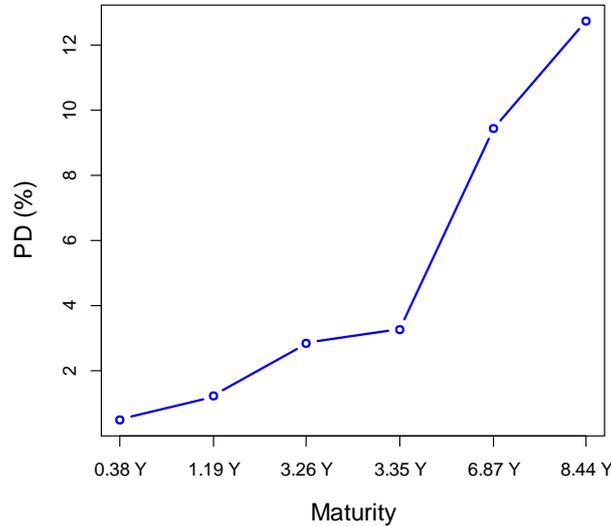


Figura 7. PD Term Structure sintetizzata a partire dai prezzi di mercato delle obbligazioni - Elaborazione su Fonte dati Bloomberg® del 28 Settembre 2018

### 5.3 KMV model

Se non si dispongono di dati finanziari, la probabilità di *default* ad un anno può essere ricavata a partire dall'analisi dei dati di bilancio, impiegando il modello proposto da Kealhofer, Merton e Vasicek [31], [36].

In base a tale approccio, i mezzi propri ( $V_E$ ) di una società possono essere visti come un'opzione *call* sul valore delle attività dell'azienda ( $V_A$ ).

Il valore dell'*equity* a scadenza  $V_E(T)$  può essere riscritto come il *payoff* di una posizione lunga su un'opzione *call*:

$$V_E(T) = \max[0; V_A(T) - D] \quad (\text{Eq. 23})$$

dove  $D$ , cioè il debito, è considerato come il prezzo di esercizio (o *strike price*).

Si suppone che  $V_A$ , il valore degli *asset*, evolva seguendo un moto geometrico Browniano del tipo:

$$dV_A = \mu_A V_A dt + \sigma_A V_A dW_t \quad (\text{Eq. 24})$$

dove:

- $\mu_A$  è il termine di deriva (*drift*), posto generalmente e prudenzialmente pari al tasso privo di rischio ( $r$ )
- $\sigma_A$  è la volatilità del sottostante
- $dW_t$  è un processo stocastico di Wiener.

Per ricavare il valore di  $V_A(t)$  e di  $\sigma_A$ , occorre risolvere il seguente sistema non lineare con una procedura numerica (Newton-Raphson):

$$\begin{cases} V_E(t) = V_A(t)\varphi(d_1) - De^{-r(T-t)}\varphi(d_2) \\ \sigma_E = \frac{V_A}{V_E} \frac{\partial V_E}{\partial V_A} \sigma_A \end{cases} \quad (\text{Eq. 25})$$

$$\text{con: } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V_A(t)}{D}\right) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma_A^2\right)(T-t)}{\sigma_A\sqrt{(T-t)}} \text{ e } d_2 = d_1 - \sigma_A\sqrt{(T-t)}$$

dove:

- $\varphi(\cdot)$  è la funzione di probabilità cumulata di una normale standardizzata
- $r$  è il tasso privo di rischio
- $t$  è il tempo di valutazione
- $T$  è il tempo a scadenza dei debiti
- $\sigma_E$  è la volatilità dei mezzi propri dell'azienda.

Una volta ricavati  $V_A$  e  $\sigma_A$ , è possibile calcolare la *distance to default* (DD) e conseguentemente la PD:

$$DD(t) = d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V_A(t)}{D}\right) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma_A^2\right)(T-t)}{\sigma_A\sqrt{(T-t)}} \quad (\text{Eq. 26})$$

$$PD(t) = P[V_A \leq D] = 1 - \varphi(DD) = \varphi(-DD) \quad (\text{Eq. 27})$$

A titolo di esempio, si è seguito tale approccio per la stima della probabilità di insolvenza di una società norvegese operante nel settore delle GO, come mostrato nella Tabella 2.

$V_E$	$\sigma_E$	$D$ [NOK]	$r$	$V_A$ [NOK]	$\sigma_A$	$PD$
992252 MM	38%	71075 MM	1.22%	162478.9 MM	21.51%	0.75%

Tabella 2. Stima della probabilità di insolvenza ad un anno mediante KMV model. Dati di bilancio al 31/12/2017

## 6 Validazione del sistema di misurazione del rischio

Nei paragrafi 4 e 5 sono state descritte le metodologie quantitative di gestione dei rischi finanziari e di controparte. Oltre al principio di funzionamento, sono state affrontate le tecniche finalizzate ad un *tuning* ottimale dei parametri del modello in riferimento ad uno specifico scenario e sono stati esplicitati degli esempi numerici, laddove è stato possibile fornire un'applicazione quantitativa.

Lo *step* successivo, al fine di validare empiricamente il sistema di controllo, è stato quello di condurre dei test di qualità, per valutare il grado di affidabilità dell'impianto di misurazione progettato.

A tale scopo, si è fatto ricorso a nuovo campione di quotazioni (*sample 2*), per un periodo di tre mesi successivo a quello relativo all'analisi iniziale.

Questo nuovo *set* di dati è risultato utile per verificare se le analisi condotte col primo campione di prezzi, trattato nel paragrafo 3 e relativo alle quattro categorie di GO nel periodo temporale, che va dal 18 Luglio 2017 al 3 Agosto 2018 (*sample 1*), fossero confermate. Le caratteristiche statistiche dei due campioni sono riassunte nella Tabella 3.

GO	Mean		Std		Skewness		Kurtosis	
	Sample 1	Sample 2						
NHY 18	0,0323	0,0322	0,0408	0,0405	1,1271	1,0114	0,4914	0,3174
NHY 19	0,0329	0,0337	0,0407	0,0430	1,1048	0,9993	0,3119	0,0782
NHY 20	0,0327	0,0325	0,0394	0,0387	1,0084	0,9761	0,3061	0,2411
EWD 18	0,0301	0,0319	0,0475	0,0456	0,6433	0,5746	-0,0572	0,0182
EWD 19	0,0296	0,0317	0,0470	0,0460	1,6244	1,4894	3,1641	2,8154
EWD 20	0,0279	0,0295	0,0511	0,0492	1,9413	1,8701	5,4605	5,5038
EUB 18	0,0337	0,0343	0,0524	0,0503	0,8265	0,7850	0,0306	0,1353
EUB 19	0,0335	0,0343	0,0447	0,0432	1,3943	1,3668	1,2794	1,3022
EUB 20	0,0330	0,0338	0,0441	0,0424	1,4275	1,3866	1,4308	1,5300

Tabella 3. Caratterizzazione statistica del campione di verifica: i primi quattro momenti della distribuzione dei rendimenti

Per quanto riguarda il rischio di liquidità, misurato dalla (Eq. 1), i valori del differenziale *Bid-Ask* continuano ad attestarsi anche per il nuovo campione di verifica attorno al 2% circa, risultato perfettamente allineato con l'analisi inferenziale presentata nel paragrafo 3: l'oscillazione, considerata normale, era, infatti, compresa nella banda 1,27% - 2,5%.

Per quanto riguarda l'analisi di qualità dei risultati degli indicatori del rischio di mercato, si è proceduto progettando il seguente test statistico, condotto sia per le metodologie tradizionali presentate nel paragrafo 3 (VaR storico e parametrico), sia, qualora fosse stato possibile reperire dei dati di mercato affidabili, per quelle avanzate di tipo Monte Carlo, basate sulle serie storiche dei prezzi (paragrafo 4.1 – 4.2 – 4.3).

Al fine di effettuare un controllo statistico sulla veridicità dei risultati forniti dall'analisi, si è definita la seguente procedura di test. Sia  $X_t$  una variabile *dummy* tale che:

$$X_t = \begin{cases} 1 & \text{se } R_t < VaR_t \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (\text{Eq. 28})$$

dove  $R_t$  è il rendimento logaritmico al tempo  $t$ .

Se il VaR al livello di confidenza  $\alpha$  rappresenta effettivamente il quantile  $\alpha$  della distribuzione dei rendimenti, allora la variabile aleatoria  $X_t$  assume il valore 1 con probabilità  $\alpha$  e il valore 0 con probabilità  $1 - \alpha$ , cioè si distribuisce come una distribuzione di Bernoulli con parametro  $\alpha$ :

$$X_t \approx \text{Bern}(\alpha) \quad (\text{Eq. 29})$$

Sapendo che la somma di  $M$  variabili bernoulliane di parametro  $\alpha$ , indipendenti tra loro, segue la distribuzione binomiale, si perviene a:

$$Y_t := \sum_{m=1}^M X_t \approx \text{Bin}(M, \alpha) \quad (\text{Eq. 30})$$

dove  $M$  e  $\alpha$  sono i parametri della binomiale.

Il numero di eccedenze atteso, affinché la metodologia possa considerarsi statisticamente robusta, dipende dal numero di volte che si verifica la condizione  $R_t < VaR_t$  ed è pertanto pari a:

$$E(Y_t) = T\alpha \quad (\text{Eq. 31})$$

Eseguendo il test a un livello di confidenza  $1 - \alpha = 95\%$  e considerando la cardinalità del campione aggiuntivo di prova,  $E(Y_t) = 1,7$ , mentre a un livello di confidenza  $1 - \alpha = 99\%$  si ha  $E(Y_t) = 0,34$ .

Questo si traduce nel fatto che il numero di volte, in cui viene ecceduto il VaR stimato dal rendimento effettivamente realizzato al tempo  $t$ , deve essere inferiore a  $E(Y_t)$ .

Tale verifica, condotta per tutte le metodologie, ha portato a risultati decisamente confortanti: solo in due casi e per una GO con un  $\alpha = 0,05$  è emersa un'occorrenza tale per cui  $R_t < VaR_t$ , pur mantenendosi sotto la soglia di  $E(Y_t) = 1,7$ .

Per quanto riguarda i motori di calcolo VaR, che impiegano un approccio Monte Carlo di tipo *forward-looking* (paragrafo 4.4 – 4.5), si è deciso di condurre una validazione, oltre che attraverso l'impiego del classico test statistico, anche utilizzando i moduli di calcolo OV (*Option Valuation*), messi a disposizione da una delle piattaforme leader di mercato, Bloomberg®.

Anche per quanto concerne il rischio di controparte, si sono verificati i risultati dei modelli, confrontandoli con i moduli di Bloomberg® dedicati al rischio di credito, principalmente DRISK (Bloomberg *Default Risk*) e YAS (*Yield and Spread Analysis*).

In particolare, per quanto riguarda le probabilità di default (PD) desunte dai CDS e riportate in Figura 5, si sono replicati i risultati, ottenendo un errore medio sulla singola PD inferiore a 3 punti base.

L'errore medio commesso si avvicina ai 10 punti base, se si impiega la metodologia di stima della probabilità di *default*, ricavata a partire dai prezzi delle obbligazioni (valori sintetizzati nella Figura 6). Questo ampliamento osservato dell'errore, seppur contenuto, può essere giustificato dal maggior numero di parametri, che caratterizza il modello di valutazione, basato sulle specifiche della struttura a termine dei tassi di interesse, impiegata come base per scontare i flussi di cassa, il *compounding* del tasso, l'eventuale illiquidità del titolo di riferimento etc.

Per quanto riguarda la validazione del modello KMV, basandosi sul bilancio annuale di una società, si è ritenuto ragionevole replicare gli indicatori della Tabella 2, utilizzando il modulo DRISK di Bloomberg®. Per questa tipologia di modello, la verifica è stata agevole, in quanto l'interfaccia grafica del modulo stesso consentiva di inserire direttamente i parametri di ingresso impiegati per sintetizzare la PD. Essendo il modello deterministico e avvalendosi della possibilità di imputare tutti i dati di ingresso utilizzati per la costruzione della Tabella 2, gli *output* ottenuti sono risultati perfettamente coincidenti.

## 7 Conclusioni

Questo lavoro si è proposto l'obiettivo di analizzare il mercato emergente delle Garanzie d'Origine, focalizzando l'attenzione sulle diverse componenti di rischio ad esse associate. Nell'analisi è stata proposta una batteria molto ampia di approcci per la valutazione e la stima dei rischi di mercato, di liquidità e di controparte, per un mercato ancora acerbo e inesplorato, caratterizzato dalla scarsa disponibilità di dati e dalla mancanza di letteratura di riferimento.

Per quanto riguarda la stima del rischio di mercato, sono state proposte numerose metodologie. Utilizzando i dati storici dei contratti *spot* delle Garanzie d'Origine, sono stati stimati il VaR storico, il VaR parametrico, il Monte Carlo (MC) VaR con media e deviazione standard storiche dei rendimenti, il MC VaR con volatilità stimata a partire da un GARCH di ordine (1,1) e il MC VaR con *mean reversion* dei rendimenti.

Adottando un'ottica maggiormente *forward-looking*, sempre per i contratti *spot*, è stata implementata una simulazione MC utilizzando volatilità implicite, ricavate a partire da opzioni negoziate. Per i contratti *forward*, invece, benché sia possibile ricorrere a tutte le metodologie già descritte per i contratti *spot*, si è proposto un approccio più innovativo, basato sul modello

*Stochastic Alpha, Beta, Rho (SABR)* che permette di inserire all'interno del moto di simulazione una volatilità aggiustata per tener conto del *volatility smile*.

Per analizzare il rischio di liquidità connesso alle GO del campione a disposizione, invece, si è fatto ricorso all'analisi del *Bid-Ask spread* che ha messo in luce, come da aspettative, una scarsa liquidità del mercato su cui queste *commodity* sono scambiate. Sono, infine, state proposte tre metodologie di stima del rischio di controparte, di cui la prima è idonea nel caso in cui la controparte presenti *credit default swap (CDS)* quotati, la seconda nel caso in cui non abbia CDS quotati, ma sia caratterizzata da obbligazioni negoziate sul mercato secondario e la terza nel caso in cui non si abbia alcuna informazione di mercato, svolgendo quindi un'analisi a partire dai dati di bilancio.

Le metodologie di stima dei diversi tipi di rischio affrontate in questo lavoro non devono essere considerate tra loro alternative, bensì devono essere considerate parti integranti di un approccio più generale per la valutazione delle diverse tipologie di rischio. A causa della scarsa disponibilità dei dati e della presenza di serie storiche quasi sempre crescenti e di rendimenti nulli per molti giorni (e settimane) consecutivi, le stime di rischio proposte rivestono un carattere di innovazione, benché non pretendano di essere una proposta totalmente esaustiva. Con questa trattazione, si vuole proporre, almeno a livello metodologico, un possibile percorso da seguire per affrontare, con strumenti quantitativi, l'esplorazione di questo mercato emergente e gestire i rischi da esso derivanti.

L'auspicio è che tra qualche anno, avendo a disposizione serie storiche più lunghe, si possa verificare l'appropriatezza delle misure proposte, nonché procedere ad ulteriori analisi più tradizionali. È verosimile che il mercato delle Garanzie d'Origine diventerà in pochi anni maturo, trasparente e liquido, anche in conseguenza dell'entrata in vigore della Direttiva RED II che renderà le GO obbligatorie per la *Renewable Electricity Disclosure*, favorendo così l'utilizzo sistematico di queste certificazioni elettroniche.

## Bibliografia

- [1] Amihud Y. et al. – “Asset pricing and the bid-ask spread” – Journal of Financial Economics Volume 17, Issue 2, Pages 223-249 (1986)
- [2] Artzner et al. – “Coherent Measures of Risk” – Mathematical Finance, Volume 9, Issue 3 (1999)
- [3] Bendato I. et al. – “A design of experiments/response surface methodology approach to study the economic sustainability of a 1 MWe photovoltaic plant” – Elsevier, Volume 51, pp. 1664-1679 (2015)
- [4] Brouwers D. – “Risk Management in Carbon Trading” – University of Twente (2006)
- [5] CER – “Supervisory Framework for Administration of Guarantees of Origin” – Decision Paper 11/824 (2011)
- [6] Chaiyapo N., Phewchean N. – “An application of Ornstein-Uhlenbeck process to commodity pricing in Thailand” – SpringerOpen Journal, 179 (2017)
- [7] Decreto Legislativo 29 Dicembre 2003, n. 387, Attuazione della direttiva 2001/77/CE
- [8] Direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità
- [9] Direttiva 2003/54/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa a norme comuni per il mercato interno
- [10] Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili
- [11] Direttiva 2009/72/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alle norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica
- [12] D.M. del Ministero dello Sviluppo Economico del 31 luglio 2009 (“Criteri e modalità per la fornitura ai clienti finali delle informazioni sulla composizione del mix energetico utilizzato per la produzione dell'energia elettrica fornita, nonché sull'impatto ambientale della produzione”)
- [13] Engle R. F. – “Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation” – Econometrica 50, pp. 987-1007 (1982)
- [14] Giribone P. G. – “Implementazione della tecnica AFO per la stima dei parametri di un modello GARCH(1,1). Analisi di robustezza e confronto prestazionale con i solver tradizionali” – Risk Management Magazine Vol. 13, N.2 (2018)
- [15] Giribone P. G., Ligato S. – “Analisi critica delle metodologie di generazione di matrici di correlazione valide: Teoria e confronti nei sistemi di pricing basati sulla metodologia Monte Carlo” – Risk Management Magazine Vol. 6, N.4 (2011)
- [16] Gkarakis K. & Dagoumas A. – “Assessment of the implementation of Guarantees of Origin (GOs) in Europe” – Trivent Publishing, Engineering and Industry Series (2016)
- [17] Hagan P.S. et al. – “Managing smile risk” – WILMOTT magazine, pp. 84-108 (2002)
- [18] Haug E. G. – “The Complete Guide to Option Pricing Formulas” – Second Edition, McGraw-Hill Education (2007)
- [19] Hull J.C. – “Options, futures and other derivatives” – Eighth Edition, USA, Prentice Hall (2012)
- [20] Huynh H. T., Van Son Lai, Soumare I. – “Stochastic Simulation and Applications in Finance with MATLAB Programs” – Wiley (2008)
- [21] Jansens J., Drabik E., Egenhofer C. – “The Disclosure of Guarantees of Origin: Interactions with the 2030 Climate and Energy Framework” – CEPS SPECIAL REPORT, n. 149 (2016)
- [22] Klessmann C. et al. – “European renewable energy trade based on Guarantees of Origin (GOs) – concepts, critical issues and recommendations for design” – Energy Economics Group, Berlin (2007)
- [23] Lutz B. – “Pricing of Derivatives on Mean-Reverting Assets” – Springer, Vol. 630 (2010)
- [24] Manganelli S., Engle R. F. – “Value at Risk Models in Finance”, Working Paper no. 75 (2001)
- [25] Marcu A. et al. – “2018 State of the EU ETS Report” – European Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition (ERCST) (2018)
- [26] Martorana M. – “Il mercato emergente delle Garanzie d'Origine: analisi e progettazione di un sistema di misure quantitative per il monitoraggio dei rischi finanziari” – Tesi di Laurea Magistrale in Economia ed Istituzioni Finanziarie – Università di Genova. Relatore: Prof.ssa Anna Bottasso, Correlatore: Ing. Pier Giuseppe Giribone (2018)
- [27] Piebalgs A., Olczak M., Florence School of Regulation – “Decarbonising the Gas Sector: is Renewable Gas a Serious Option?” – European University Institute, Policy Brief (2018)
- [28] Raadal H. L. et al. – “The interaction between Electricity Disclosure and Tradable Green Certificates” – Elsevier, Energy Policy 42, pp. 419-428 (2012)
- [29] Ragwitz M., del Rio Gonzalez P., Resch G. – “Assessing the advantages and drawbacks of government trading of guarantees of origin for renewable electricity in Europe” – Elsevier, Energy policy 37, pp. 300-307 (2009)
- [30] Skaar J. – “Analysis of the trade in Guarantees of Origin” – Economic analysis for Energy Norway, OE-Report 2017-58 (2017)
- [31] Tetereva A. – “Distance-to-Default (According to KMV model)” – School of Business and Economics Humboldt - Universität zu Berlin (2015)
- [32] Tiotto S. – “Le commodities come asset finanziario: analisi comparata di portafogli ottimali” – Università Ca' Foscari, Venezia (2017)
- [33] Tsay R. S. – “Analysis of Financial Time Series” – 3rd Edition, Wiley (2010)
- [34] Turner R. K., Pearce D. W., Bateman I. – “Economia ambientale” – Bologna, il Mulino (2015)
- [35] Van den Berg T. – “Calibrating the Ornstein-Uhlenbeck (Vasicek) model” (2011)

- [36] Zieliński T. – “Merton’s and KMV models in credit risk management” – University of Economics in Katowice (2013)
- [37] Zivot E., Wang J. – “Modeling Financial Time Series with S-PLUS” – Second Edition, Springer, Chapter 9 (2006)