

Home 20 More ▾

26  18   

Book

Le applicazioni della Matematica da Eulero ad oggi

August 2009

Publisher: Editrice ROTAS Barletta · ISBN: 978-88-96135-11-2

Project: Cultura Matematica e Recenti Linee di Ricerca

Giuseppe Isernia ·  Antonio Maturo · Agostino Zappacosta

Reads ⓘ

Recommendations

Followers

Citations

1 1 new
 0 0 new
 0 0 new
 0 0 new

Export citation

Request full-text



Overview

Comments

Citations

References

Related research (10+)

Abstract



Request that the authors add an abstract to find out more about this research.

Request abstract

Public Full-texts

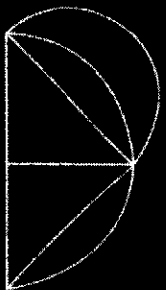




request a copy of this research
directly from the authors.

Request full-text





Mathesis

Società italiana di scienze
matematiche e fisiche
fondata nel 1895

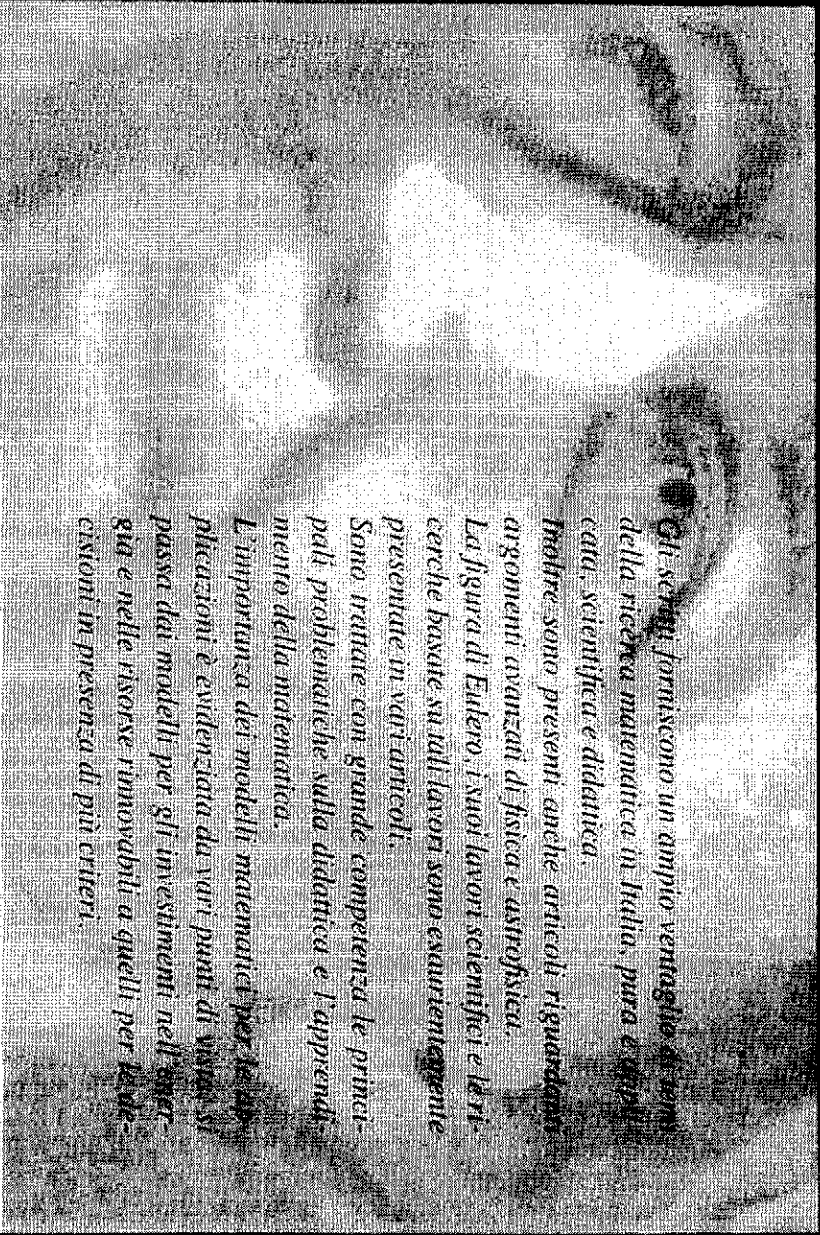


**Le applicazioni
della Matematica
da Eulero
ad oggi**

a cura di

Giuseppe Isernia
Antonio Maturò
Agostino Zappacosta

EDITRICE
ROTAS



Gli scritti forniscono un ampio ventaglio di temi della ricerca matematica in Italia, pura e applicata, scientifica e didattica.

Inoltre sono presenti anche articoli riguardanti argomenti avanzati di fisica e astrofisica.

La figura di Eulero, i suoi lavori scientifici e le ricerche basate sui tali lavori sono esaurientemente presentate in vari articoli.

Sono trattate con grande competenza le principali problematiche sulla didattica e l'apprendimento della matematica.

L'importanza dei modelli matematici per le applicazioni è evidenziata da vari punti di vista. Si passa dai modelli per gli investimenti nell'energia e nelle risorse rinnovabili a quelli per le decisioni in presenza di più criteri.

Le applicazioni della Matematica da Eulero ad oggi

ISBN 978-88-96135-11-2



9 788889 613511 >

Indice

7

<i>Selmi</i>	P.	3
<i>Prefazione</i>	"	5
VINCENZO ABRUZZINI <i>Funzioni reali iperfittocche, o a infiniti valori di una variabile reale</i>	"	9
PAOLO ALLIEVI, ALBERTO TROTTA <i>Equazioni generali dell'idrodinamica (Equazioni di Eulero)</i>	"	15
PAOLO ALLIEVI, ALBERTO TROTTA <i>Impossibilità di formazione dei Pianeti attraverso la condensazione gravitazionale di polveri disperse nello spazio</i>	"	19
EMILIO AMBRISI <i>L'apprendimento della Matematica: il resoconto di un dibattito già avviato, mai concluso!</i>	"	35
B. BARGHELLI, P. BRUNI, P. MAGGINI, G. SPINSAENTE, O. ZEGA <i>Problemi di secondo grado tra storia ed informatica</i>	"	53
MARGHERITA BARILE, SERGIO DE NUCCIO <i>Il simbolismo matematico in Euler</i>	"	71
MAURO BERNABEI <i>Mirifici Logarithmorum Canonis Constructio</i>	"	101
LUIGI CAPROZZO <i>La più bella formula: $e^{\pi} + 1 = 0$ (I simboli di Eulero tra Matematica e Fisica)</i>	"	109
F. CASOLARO, L. IORIO, R. PROSPERI <i>I risultati di Eulero per le applicazioni della didattica di oggi</i>	"	117
B. CAVALLO, L. D'APUZZO, M. SQUILLANTE <i>I metodi multicriteriali per i problemi decisionali in economia e nella gestione del territorio</i>	"	129
VITTORIO COLAGRANDE, MARTA DI NICOLA, ENZO BALLONE <i>La costante γ di Eulero-Mascheroni: situazioni di probabilità e statistica</i>	"	145

FRANCO EUGENI, DANIELA TONDINI <i>La nascita della matematica discreta in Eulero: aspetti filosofici ed epistemologici</i>	“ 159
STEFANO GERONIMO, ALBERTO TROTTA <i>Il piano proiettivo complesso: un utile strumento didattico</i>	“ 169
ANTONINO GIAMBÒ <i>La disaffezione scolastica dei docenti</i>	“ 181
ANTONIO IARLORI <i>Considerazioni sulla costante di normalizzazione della distribuzione normale ridotta</i>	“ 185
BRUNO JANNAMORELLI <i>Dall'abaco alla pascalina, ovvero, dalla manipolazione all'automatismo</i>	“ 203
DOMENICO LENZI <i>I promi di Königsberg e la nascita della teoria dei grafi</i>	“ 211
MARCELLA GIULIA LORENZI, MAURO FRANCAVIGLIA <i>Più Veloce della Luce...?</i>	“ 219
CARLO MARI <i>I derivati sulle risorse rinnovabili e la Renewable Energy Finance</i>	“ 243
ANTONIO MATURO, ILARIA DI RUSSO <i>La Logica Fuzzy nella modellizzazione dei fenomeni sociali</i>	“ 263
ANTONIO MATURO, GISELLA PASCALÉ <i>Logica Classica e Logica Fuzzy come ausilio per la cura delle Malattie Mentali</i>	“ 275
ANTONIO MATURO, ALDO G. S. VENTRE <i>Decisioni di gruppo e modelli matematici per il raggiungimento del consenso</i>	“ 283
ANTONIO SALMERI <i>Nel mondo sorprendente delle frazioni</i>	“ 297
BARBARA STASI <i>Indiziioni aritmetiche, dimostrazioni matematiche o viceversa</i>	“ 305
STEFANO ZAPPACOSTA <i>Osservazione e ragionamento: modelli matematici per simulazioni sperimentali</i>	“ 319
Guerriero di Capestrano, Chien, <i>Storia di Teate e dell'alfabeto romano</i>	“ 329

I derivati sulle risorse rinnovabili e la Renewable Energy Finance

Carlo Mari*

Abstract. Diverse sono le tipologie di rischio finanziario che caratterizzano gli investimenti nel settore delle energie rinnovabili. Tra queste, il rischio legato alle fluttuazioni imprevedibili della disponibilità della risorsa utilizzata è quello che maggiormente influenza la variabilità dei costi di cassa generati, specialmente se lo sfruttamento di tale risorsa è proprietario e non è incentivato. Nel lavoro si propone una metodologia generale per la gestione del rischio "risorse rinnovabili" mediante la progettazione, la valutazione e l'utilizzo di strumenti finanziari derivati.

Abstract. Several financial risks affect investments in the renewable energy sector. Among these, the uncertainty due to random fluctuations in the availability of renewable sources is the main responsible for the variability in the investment cash-flow, specially if incentives are provided to the renewable energy generation are properly created. The paper provides a general methodology to hedge this kind of risk by using derivatives on renewable energy. The proposed approach is illustrated in the case of solar energy: a stochastic model capturing the main features of the global radiation is discussed and options on this source are valued.

Parole Chiave: fonti energetiche rinnovabili, titoli derivati, processi stocastici, rischio finanziario.

1 Introduzione

Renewable Energy Finance (REF) consiste nell'applicazione al settore delle Energiele Rinnovabili (FER) dei principi e dei metodi tipici del risk-management, quali la progettazione e l'utilizzo di titoli derivati, la selezione di portafoglio ed il project-financing [1]. Diverse sono le tipologie di rischio finanziario che caratterizzano gli investimenti nel settore delle energie rinnovabili. Il rischio Paese, legato essenzialmente alla stabilità nel tempo delle politiche energetiche e di incentivazione, al rischio legato alle fluttuazioni imprevedibili del prezzo di mercato dell'elettricità, dal rischio dovuto all'evoluzione aleatoria del valore di mercato degli incentivi (come nel caso dei Certificati Verdi),

* Dipartimento di Metodi Quantitativi e Teoria Economica - Università "G. d'Annunzio"
Trieste-Pescona; c.mari@unich.it.

al rischio "risorse rinnovabili" che si manifesta per cause naturali imprevedibili nella variabilità della risorsa utilizzata. Un produttore di energia elettrica ad esempio, dovrà preoccuparsi di gestire l'aleatorietà nella generazione di energia elettrica a causa delle fluttuazioni imprevedibili della risorsa "vento" nell'arco della vita utile dell'impianto. E dovrà gestire anche l'aleatorietà nella valorizzazione dell'elettricità prodotta a causa delle fluttuazioni imprevedibili del prezzo di mercato dell'energia elettrica sia del valore della componente incentivo. La Renewable Energy Finance ha dunque come fine la gestione integrata dei rischi finanziari che caratterizzano gli investimenti in tecnologia per la produzione di energia da fonti rinnovabili, mediante l'utilizzo di tecniche consolidate nell'ambito della teoria della finanza.

In questo lavoro, dopo aver brevemente discusso le tipologie di rischio principali, verrà proposto un approccio sufficientemente generale per la gestione del rischio "risorse rinnovabili" mediante la progettazione, la valutazione e l'utilizzo di strumenti finanziari derivati. La metodologia sarà illustrata nel caso dell'energia solare e verranno trattati in particolare due aspetti di base: la modellizzazione delle fluttuazioni stocastiche della radiazione solare al sereno e la valutazione di titoli derivati progettati sul livello dell'irraggiamento.

1.1 Memorandum

In termini generali, i titoli derivati [2] sono attività finanziarie che hanno come oggetto il diritto, e in alcuni casi l'obbligo, di acquistare, o di vendere, un'attività determinata (*underlying asset*) ad una data futura o entro una data data, cui corrisponde un impegno speculare di una controparte. Il loro valore "ceriva" da quello dell'attività sottostante e sono particolarmente utilizzati nelle strategie di tipo speculativo e nella gestione del rischio. L'attività sottostante può essere un'attività finanziaria, una merce, una materia prima, un indice finanziario, ma anche un indice su una risorsa rinnovabile, come un indice locale sulla ventosità, o sul livello della radiazione solare al suolo, o ancora sul livello delle precipitazioni.

Futures ed *opzioni* costituiscono le tipologie di contratti derivati più diffuse. In un contratto *futures* (*forward*¹) una parte acquista (*posizione lunga*) e l'altra vende (*posizione corta*) l'attività sottostante ad una data futura e fissata in

¹ *Futures*, a differenza dei contratti *forward*, sono scambiati nei mercati ufficiali attraverso forme contrattuali altamente standardizzate per quanto riguarda l'attività sottostante, la quantità e la scadenza. Per assicurare il buon fine degli scambi, la "cassa di compensazione e garanzia" (*clearing house*) si pone come intermediario di tutte le transazioni e per evitare che si formino situazioni debitorie troppo accentuate, i guadagni e le perdite giornaliere vengono regolati alla fine di ogni giornata di contrattazione (*daily settlement*). Infine, la posizione aperta in *futures* può essere chiusa in qualsiasi momento prima della scadenza del contratto, attraverso un'operazione di segno opposto.

in un'istante corrente t , $s > t$) ad un prezzo fissato K , detto *prezzo futures* (prezzo a termine). La condizione a scadenza che caratterizza un contratto *futures* è pertanto data da

$$C_s = A_s - K, \quad (1.1)$$

ove A_s indica il valore dell'underlying asset all'epoca s .

L'alternanza dei contratti futures, le opzioni conferiscono al detentore il diritto (ma non l'obbligo) di acquistare (*opzione call*) o di vendere (*opzione put*), l'attività sottostante entro una certa data s , ad un prezzo predefinito contrattualmente K , detto *prezzo di esercizio*. Se l'opzione può essere esercitata in un qualsiasi istante di tempo T ($t < T \leq s$), l'opzione si definisce "americana"; se l'esercizio può essere esercitata soltanto alla scadenza s , l'opzione si definisce "europea". Le condizioni a scadenza divengono:

$$C_s = \max\{A_s - K, 0\} \quad P_s = \max\{K - A_s, 0\}, \quad (1.2)$$

ripetutamente per un'opzione di tipo call ed un'opzione di tipo put. Un investitore che desidera scommettere sul rialzo del prezzo di un titolo, può assumere una posizione lunga nel futures o in un'opzione call avente come sottostante il titolo in esame; se il rialzo dovesse verificarsi, l'investitore ricaverà un profitto. Un investitore che desidera proteggere il prezzo di un titolo in portafoglio, assumerà una posizione corta nel futures od acquisterà un'opzione put; in questo modo avrà la possibilità di fissare sin dall'inizio il prezzo di vendita del sottostante, assicurandosi contro i ribassi indesiderati di prezzo. Il regolamento del contratto può avvenire in contanti senza la consegna dell'attività sottostante, come nel caso tipico dei derivati su indici.

2 Il rischio finanziario nel settore delle FER

Molti sono i fattori di rischio che caratterizzano gli investimenti nel settore delle energie rinnovabili. E tra i più significativi è opportuno considerare:

- il rischio Paese;
- il rischio incentivi;
- il rischio di prezzo dell'energia elettrica;
- il rischio risorse rinnovabili.

2.1 Il rischio Paese

La stabilità nel tempo delle politiche energetiche e dei meccanismi di valutazione ha costituito un importante elemento di successo per lo sviluppo di fonti rinnovabili. Processi autorizzativi semplici e veloci, un elevato grado di accettazione sociale, la presenza di industrie nazionali con grande esperienza all'innovazione tecnologica e capaci di garantire un sistema di finanziamento significativo, un supporto finanziario adeguato da parte del sistema statale completano il quadro di riferimento necessario a comprendere lo sviluppo di queste fonti. In Italia, dopo un periodo di sviluppo che ha permesso di raggiungere un livello di sviluppo paragonabile a quello che hanno avuto le FER in Paesi diversi [3]. In Italia, dopo un periodo di sviluppo che ha permesso di raggiungere un livello di sviluppo paragonabile a quello che hanno avuto le FER in Paesi diversi [3]. In Italia, dopo un periodo di sviluppo che ha permesso di raggiungere un livello di sviluppo paragonabile a quello che hanno avuto le FER in Paesi diversi [3].

importante, a seguito di alcuni provvedimenti legislativi contenenti elementi di grande modernità (leggi n.9 e n.10 del gennaio del 1991); quali la riforma del processo di generazione di elettricità da fonti rinnovabili e la riforma dell'energia così prodotta a prezzi incentivati (incentivazione in conto energia) prevista dal provvedimento n.6 dell'aprile 1992 del Comitato Interministeriale dei Prezzi, meglio noto come CIP6). Lo sviluppo del settore ha subito un rallentamento [4]. Le tabelle 1 e 2 mostrano il livello del ritardo accumulato dal nostro Paese rispetto agli obiettivi raggiunti da altre nazioni Europee (Francia, Danimarca, Germania e Spagna). Se si esclude la ricerca e lo sviluppo, la percentuale di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili rispetto al consumo interno lordo, risulta assolutamente inadeguata soprattutto se confrontata con gli obiettivi stabiliti dall'Unione Europea nel 1992. Gli obiettivi di politica energetica stabiliti dall'Unione Europea nel 1992 sono certamente virtuosi, come quello della Danimarca che produce oltre il 20% dell'energia da fonte eolica. O quello della Germania che produce oltre il 30% dell'energia elettrica da fonte eolica di 30.5 TWh (4.9% del consumo interno lordo), valore superiore al consumo interno lordo di elettricità di un Paese intero come l'Irlanda! La Germania, inoltre, è anche la nazione che ha la maggiore potenza fotovoltaica installata. Ed il livello di insolazione è certamente superiore a quello italiano!

2.2 Il rischio di prezzo dell'elettricità

Il panorama energetico internazionale è cambiato radicalmente negli ultimi dieci anni. Dalla direttiva europea 92/96/CEE, "Norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica" finalizzata alla creazione di un mercato interno dell'energia, ha preso l'avvio in tutta Europa un processo irreversibile di liberalizzazione del mercato dell'energia, ha preso l'avvio in tutta Europa un processo irreversibile di liberalizzazione del mercato dell'energia, ha preso l'avvio in tutta Europa un processo irreversibile di liberalizzazione del mercato dell'energia.

² Il pacchetto, ribattezzato sinteticamente "20, 20, 20", prevede che entro il 2020 le emissioni di CO₂ vengano ridotte del 20% rispetto al livello del 1990 e che il consumo interno di energia elettrica venga ridotto del 20% rispetto al livello del 1990. Il pacchetto FER nel totale dei consumi energetici dell'Unione Europea sia almeno pari al 20%.

	Idrica		Altre rinnov.		Totale		Produz. Lorda		Saldo Estero Int.		Consumo Lordo	
Austria	34.8	1.8	2.4	39.0	63.4	6.9	70.3					
Belgio	0.8	0.4	2.1	3.3	85.1	10.2	95.3					
Danimarca	0.0	6.1	4.0	10.1	46.5	-6.9	39.6					
Finlandia	11.3	0.2	9.6	21.1	82.2	11.4	93.6					
Francia	58.5	2.2	5.1	65.8	574.5	-63.6	510.9					
Germania	20.5	30.5	16.6	67.6	635.3	-16.1	619.2					
Grecia	5.6	1.7	0.1	7.5	59.5	4.0	63.5					
Irlanda	0.6	1.6	0.1	2.3	27.6	1.8	29.4					
Italia	36.9	3.0	12.4	52.3	314.1	45	359.1					
Lussemburgo	0.4	0.1	0.1	0.6	4.2	3.6	7.8					
Paesi Bassi	0.1	2.8	6.7	9.6	98.8	21.5	120.3					
Portogallo	10.8	5.5	2.0	18.3	50.8	5.4	56.2					
Regno Unito	5.1	2.2	9.6	16.9	399.1	9.3	408.4					
Spagna	23.4	22.8	3.1	49.3	302.8	-3.3	299.5					
Svezia	62.3	1.0	8.3	71.6	144.2	6.2	150.4					

Tabella 1: Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (TWh). Fonte GSE.

gestiva trasformazione e liberalizzazione del settore elettrico. La direttiva comunitaria è stata recepita in Italia con il decreto legislativo 79/99, più noto come "decreto Bersani", che ha consentito la nascita del Mercato Elettrico. Nel libero mercato l'energia elettrica può essere contrattata bilateralmente tra produttore e grossista, oppure venduta direttamente all'IPEX (Italian Power Exchange), la Borsa Elettrica Italiana, una piattaforma telematica in cui è possibile effettuare transazioni fisiche di energia elettrica a prezzi che si formano sulla base dell'interazione tra domanda e offerta. L'organizzazione e la gestione del Mercato Elettrico e di IPEX è affidata al Gestore del Mercato Elettrico S.p.A. (GME), società costituita dal Gestore dei Servizi Elettrici S.p.A. (GSE), a sua volta partecipata al 100% dal Ministero dell'Economia e delle Finanze [5]. I prezzi dell'elettricità "variable and unpredictable" costituiscono una delle conseguenze più importanti del processo di liberalizzazione del settore energetico. L'interazione tra la domanda e l'offerta nel mercato libero pone il problema della gestione del rischio legato alle variazioni non anticipate del prezzo. Le figure 1 e 2 mostrano l'andamento storico del prezzo dell'elettricità in alcuni mercati liberalizzati. La regola della domanda e dell'offerta ha determinato in tutti i Paesi in cui il processo di liberalizzazione si è avviato, un aumento significativo della volatilità: a momenti di stabilità del mercato si alternano periodi di elevata turbolenza caratterizzati da salti imprevedibili

	Idrica	Eolica	Altre rinn.	Totale
Austria	49,5	2,6	3,4	55,5
Belgio	0,8	0,4	2,2	3,4
Danimarca	0,0	15,4	10,1	25,5
Finlandia	12,1	0,2	10,3	22,6
Francia	11,5	0,4	1,0	12,9
Germania	3,3	4,9	2,7	10,9
Grecia	8,8	2,7	0,2	11,7
Irlanda	2,0	5,4	0,3	7,7
Italia	10,3	0,8	3,5	14,6
Lussemburgo	5,1	1,3	1,3	7,7
Paesi Bassi	0,1	2,3	5,6	8,0
Portogallo	19,2	9,8	3,6	32,6
Regno Unito	1,2	0,5	2,4	4,1
Spagna	7,8	7,6	1,0	16,4
Svezia	41,4	0,7	5,5	47,6

Tabella 2: Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Valori per il consumo interno lordo.

e, spesso, molto pronunciati (*spikes*) del prezzo dell'energia elettrica. L'energia elettrica è un bene atipico, non può essere immagazzinata su scala industriale e per poter essere utilizzata deve essere trasportata dai produttori alla generazione attraverso un sistema a rete complesso. La domanda è fortemente inelastica e dipende particolarmente dalle condizioni climatiche; dagli gusti al sistema di generazione e dalle congestioni del sistema di trasmissione. L'offerta di base è garantita da impianti con bassi costi marginali di produzione (grandi impianti idroelettrici, centrali nucleari e a carbone), alla quale si aggiunge, per soddisfare un eventuale eccesso di domanda, quella prodotta dai generatori di emergenza caratterizzati da costi marginali elevati. Una domanda di emergenza inattesa, un guasto improvviso ad un generatore, una congestione del sistema di trasporto, possono causare pertanto impennate consistenti nel prezzo dell'energia elettrica [9; 10; 11].

Attualmente esistono alcune Borse finanziarie (Nordpool, ELEX, Power Exchange, Euronext) e strumenti finanziari (futures, forward ed opzioni) per ridurre l'esposizione al rischio di prezzo [12]. In Italia non esiste una Borsa dedicata, anche se da alcuni anni si sta pensando di realizzare una Borsa telematica per la contrattazione a termine di blocchi di energia elettrica. *Black Italian Power Exchange (BIPEX)*, anch'essa organizzata e gestita da GME.

Totale
55,5
3,4
25,5
22,6
12,9
10,9
11,7
7,7
14,6
7,7
8,0
32,6
1,1
16,4
17,6

1. Valori percentuali

l'elettrica (6). F. S. gazziniata su sc...
 crata dai luoghi...
 anda e fortissime...
 ca, dagli eventi...
 tema di trasporta...
 originali di genera...
 oneri, alla guida...
 nella prodotta...
 vati. Un eccesso...
 , una congestione...
 re consistenti de...

X. Powernext) in...
 xard ed opzioni...
 siste un mercato...
 una piattaforma...
 dia elettrica. In...
 ra e gestione del...

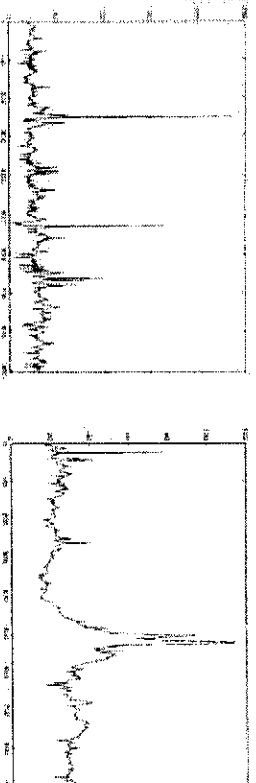


Figura 1: Andamento storico dei prezzi dell'elettricità nel mercato tedesco EEX (a sinistra) e nel mercato scandinavo Nordpool (a destra) dal 2 gennaio 2001 al 19 gennaio 2004.

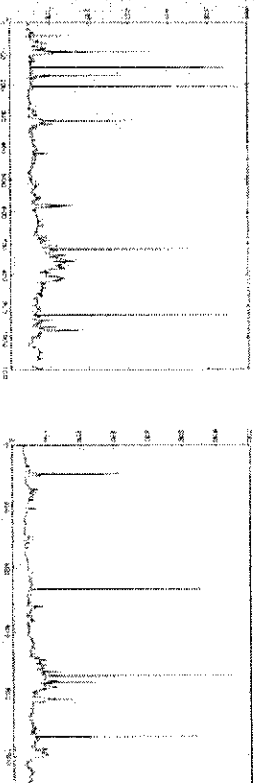


Figura 2: Andamento storico dei prezzi dell'elettricità al NEPOOL nel New England (a sinistra) e nel mercato del Texas (a destra) dal 22 ottobre 2002 al 15 gennaio 2007.

2.3 Il rischio incentivi

Tra le innovazioni introdotte dal decreto Bersani, la nascita dei cosiddetti Mercati per l'Ambiente (il Mercato dei Certificati Verdi, il Mercato dei Titoli di Efficienza Energetica, e il Mercato delle Unità di Emissione), organizzati e gestiti dal GME, ha determinato un cambiamento radicale nella modalità di valorizzazione degli incentivi (13; 14). Tra questi, il Mercato dei Certificati Verdi è finalizzato alla valorizzazione degli incentivi per la produzione di elettricità da fonti rinnovabili. Un sistema ibrido di interazione tra domanda ed offerta regola il valore dei certificati. A partire dal 2002 i produttori e gli importatori di energia prodotta da fonti non rinnovabili hanno l'obbligo di immettere ogni anno in rete una quota di energia elettrica prodotta da Impianti Alimentati a Fonti Rinnovabili (impianti qualificati IAFR) pari al 2% dell'energia elettrica prodotta o importata nell'anno precedente (da fonti non rinnovabili) eccedente i 100 GWh. Per il periodo 2004-2006, la quota minima di elettricità rinnovabile da immettere in rete è stata incrementata annualmente dello 0,35%. Dal 2007 e sino al 2012 la quota è incrementata annualmente dello 0,75%. At-

anno di riferimento	valore CV (MWh)	prezzo medio/MWh (IVA inclusa)	prezzo medio/MWh (IVA esclusa)
2003	100	98,88	82,40
2004	50	116,83	97,35
2005	50	130,85	109,04
2006	50	144,23	120,19
2007	50	115,78	96,48

Tabella 3: Dati al 30.01.2008 - Fonte GME.

tualmente la percentuale di energia elettrica prodotta da FER che è immessa in rete nel 2008 è pari al 3,80%. I Certificati Verdi (CV), emanati dal GSE a favore degli impianti qualificati IAFR entrati in esercizio dal 1° aprile 1999. Sono titoli al portatore, ognuno del valore di 1 MWh che certificano l'origine da fonte rinnovabile dell'energia immessa in rete e soddisfano l'obbligo di immissione in rete di energia elettrica da fonti convenzionali e gli importatori di energia elettrica attraverso impianti IAFR o in impianti IAFR oppure indirettamente acquistando CV mediante mercato bilaterale, o nel mercato gestito dal GME. Il livello della domanda è fissato amministrativamente, l'offerta è costituita dai CV emessi a favore degli impianti IAFR. Nella tabella 3 sono riportati i prezzi medi ponderati nei primi anni di avvio del mercato. L'andamento temporale del prezzo CV ha mostrato, nonostante le continue revisioni regolatorie, tutti i tratti di un meccanismo ibrido di domanda e offerta comporta. In particolare non si è mai discostato sensibilmente dal prezzo di riferimento fissato per il collocamento dei propri CV³, trasformando il meccanismo in un sistema di mercato a sistema di tipo *feed in tariffs*, cioè con un prezzo o, quantomeno di importo deterministico. Con la Legge Finanziaria 2008 assistito all'ennesima revisione delle regole strutturali del meccanismo ed il mercato ha risposto immediatamente decretando una riduzione del prezzo a fronte di un eccesso di offerta di certificati (figura 3). L'andamento sull'organizzazione del mercato e sulle caratteristiche strutturali del mercato incentivante ha pesato significativamente sul livello degli investimenti sul grado di sviluppo del settore delle energie rinnovabili nel nostro paese. Nonostante la Finanziaria 2008, differenze assegnazione dei certificati e promozione della tecnologia, il meccanismo dei CV non assicura un adeguamento di incentivazione per il solare fotovoltaico. Per tale tecnologia è stato

³ Il GSE emette a proprio favore i CV spettanti agli impianti CIP6 entrati in esercizio dal 1° aprile 1999. Tali certificati possono essere collocati nel mercato dal GSE per un eventuale eccesso di domanda.

CV	VA	CV	VA
2007	2007	2008	2008
20772	22974	20772	22974
8185	8185	8185	8185
1255	1255	1255	1255

CV) che deve essere esercitato a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA.

Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA.

Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA. Il prezzo riferito è riferito a favore del colatore di IVA.

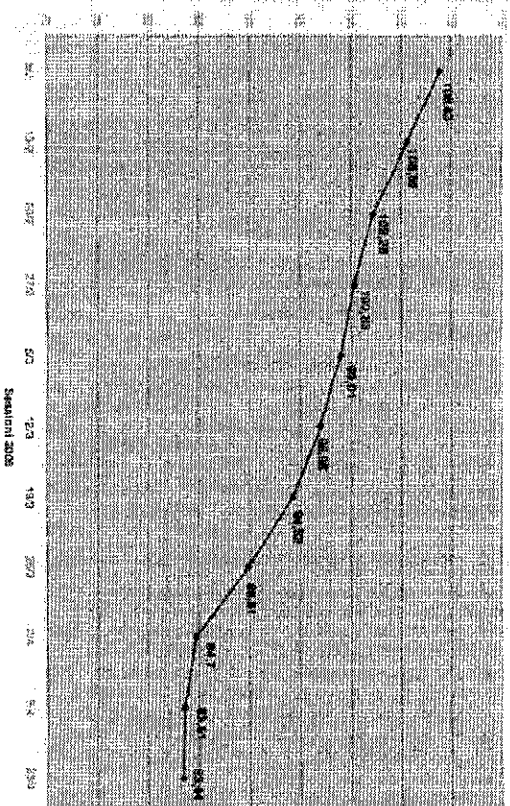


Figura 3: Esiti del mercato del CV (anno di riferimento 2007). I prezzi si riferiscono alle sessioni 2008 e sono comprensivi di IVA.

Il provvedimento di assegnazione delle tariffe incentivanti in conto energia è stato studiato per favorire lo sviluppo di questo settore. Le tariffe sono di importo costante per tutta la durata del programma di incentivazione (20 anni) e sono differenziate per potenza dell'impianto e per grado di integrazione architettonica [15].

2.4 Il rischio risorse rinnovabili

È il rischio legato alle fluttuazioni stocastiche della disponibilità delle risorse rinnovabili:

- radiazione solare;
- acqua;
- vento;
- temperatura⁴.

⁴ Per quanto la temperatura non possa considerarsi una risorsa sfruttabile direttamente per la produzione di energia, essa costituisce una grandezza di grande rilevanza sia perché influenza significativamente i consumi energetici sia perché i titoli derivati sulla temperatura (weather derivatives) costituiscono un riferimento importante per la progettazione di strumenti finanziari analoghi sulle risorse rinnovabili.

Nel lavoro si discuterà della possibilità di gestire tale tipologia di rischio attraverso la progettazione e l'utilizzo di titoli derivati. I titoli derivati sono rinvocabili (*Renounce Energy Derivatives*) hanno come sottostante un

Indice Locale di Riferimento che deve essere sufficientemente significativo da fornire informazioni sulla risorsa rinnovabile nella particolare zona in cui è ubicato l'impianto. Nel caso della temperatura il numero dei Gradi Giorni (GG) (di riscaldamento o di raffrescamento) in un arco temporale prefissato costituisce un indice adeguato. In effetti, titoli derivati sulla temperatura particolare futures e opzioni sui gradi giorno, cioè sugli Heating Degree Days (HDD) o sui Cooling Degree Days (CDD), sono correntemente scambiati a Chicago Mercantile Exchange (CME) per valori di mercato più elevati (10¢). In riferimento alla temperatura di 18° Celsius (65° Fahrenheit) il numero di gradi giorno rispettivamente di riscaldamento e di raffrescamento è dato da:

$$HDD_t = \max\{T_t - 18, 0\} \quad CDD_t = \max\{18 - T_t, 0\}$$

dove

$$T_t = \frac{T_t^{mor} + T_t^{even}}{2}$$

è la temperatura media del giorno t -esimo. La somma dei gradi giorno in un intervallo prefissato (un mese, un trimestre, un anno) costituisce l'indice di riferimento sottostante il contratto.

$$HEAT_t = \sum_{i=1}^n HDD_{t-i} \quad COOL_t = \sum_{i=1}^n CDD_{t-i}$$

dove n rappresenta il numero di giorni inclusi nell'intervallo temporale prefissato. Gli esperti del CME (www.cme.com) calcolano che oltre il 90% della domanda statunitense sia influenzata da eventi meteorologici, esclusi i casi di meteo straordinari. In effetti gli ultimi anni sono stati caratterizzati da una vera e propria esplosione degli scambi: a seguito del crescente interesse per il mercato degli hedge-funds, il contrattare delle contrattazioni è passato da 10.000 milioni di dollari nel 2005 agli oltre 45.000 del 2006! Attualmente si ammesse alle contrattazioni diverse tipologie di derivati meteorologici, oltre ad oltre trenta città in tutto il mondo. Se un grossista di gas riesce a coprire il rischio di un aumento della temperatura, può contenere il costo del gas, mentre, grazie all'utilizzo di derivati sui gradi giorno, può contenere il rischio di "assicurandosi" nel mercato finanziario dei *weather derivatives*, invece di un pay-off proporzionale ai gradi giorno di riscaldamento mancanti.

chiuso attraverso i derivati sulle precipitazioni. Rispetto ad un contratto di tipo assicurativo i derivati presentano alcuni aspetti che li rendono particolarmente attraenti nella gestione del rischio finanziario. I derivati coprono eventi a basso rischio ed ad alta probabilità di verificarsi ed il pay-off è legato ad un indice di riferimento. Pertanto, a differenza di un contratto di assicurazione, non sono necessarie né la prova né la quantificazione economica del danno subito. I derivati possono essere inoltre utilizzati da tutti gli agenti economici interessati ad investire nel settore: gli hedgers per stabilizzare il flusso di cassa e il Valore Attuale Netto (VAN) di un investimento, gli speculatori per scommettere sul verificarsi di un evento. Benefici contrapposti regolano così l'interazione tra la domanda e l'offerta e determinano il prezzo di mercato di questi strumenti. Un futures progettato per gestire il rischio finanziario generato da scarsità della risorsa rinnovabile è caratterizzato dalla condizione a scadenza

$$(2.1) \quad C_s = V(I_s - K), \quad (2.4)$$

dove I_s è il livello dell'indice sottostante il contratto alla scadenza, K il valore di riferimento fissato e V rappresenta la valorizzazione per "unità di risorsa". Analogamente un'opzione put è caratterizzata dalla condizione a scadenza,

$$(2.2) \quad C_s = V \max\{K - I_s, 0\}. \quad (2.5)$$

Una posizione corta in un futures sull'indice di riferimento, come anche l'acquisto di opzioni put sull'indice, garantiscono che, qualora il livello della risorsa in un arco temporale prefissato dovesse essere inferiore al livello medio di lungo periodo K , il detentore del contratto riceverà dalla controparte V euro per ogni unità di risorsa mancante. Attualmente il mercato dei derivati sulle risorse rinnovabili è estremamente limitato ed essenzialmente basato su contrattazioni fuori borsa (mercato OTC - Over the Counter). In particolare, il mercato dei derivati sul livello delle precipitazioni è cresciuto rapidamente negli ultimi anni per via dell'interesse mostrato dai produttori di energia idroelettrica [17]; nel settore eolico Merrill Lynch ha progettato i Global Commodities Wind Power Indices (WPIs) che costituiscono gli indici di riferimento per la progettazione di derivati sulla ventosità [18]. Inoltre, the US Futures Exchange ha avviato lo scorso anno le contrattazioni di futures sui Nordic Financial Wind Indexes: otto contratti sulla ventosità relativi ad altrettante regioni di particolare interesse eolico, di cui cinque nel Texas e tre nello Stato di New York. Il mercato dei derivati sulle risorse rinnovabili sembra dunque

HDD	New York	Baltimore	Chicago	Detroit	Philadelphia
Average	0.00009	-0.0011	-0.0018	-0.0010	-0.0029
St. dev.	0.0844	0.0813	0.0890	0.0765	0.0854

Tabella 4: I primi due momenti della distribuzione empirica dei gradi giorno di riscaldamento.

destinato ad espandersi significativamente: "USEE plans to develop a comprehensive suite of futures contracts for the benefits of renewable energy: hydro, solar, geothermal and biomass." (www.usfe.com).

3 Il rischio di "insolazione"

La figura 4 mostra l'andamento nel tempo dei gradi giorno di riscaldamento cumulati in un anno, in alcune località degli Stati Uniti che sono inserite nel sito del CME nella sezione sui derivati meteorologici. L'evoluzione temporale presenta un'erraticità confrontabile con quella della radiazione solare. Le figure 5 e 6, mostrano l'andamento storico dell'insolazione⁵, distribuita globalmente rispettivamente, su piano orizzontale e su base annuale, in alcune località americane dal 1961 al 2005. I primi due momenti delle distribuzioni empiriche delle variazioni annuali del logaritmo degli HDD e dell'insolazione riportati nelle tabelle 4 e 5. Se si utilizza il valore della deviazione standard come misura delle fluttuazioni, la componente diretta della radiazione solare mostra fluttuazioni di ampiezza confrontabile con l'ampiezza delle fluttuazioni dei gradi giorno di riscaldamento, mentre la variabilità della energia globale si presenta meno consistente. Il rischio legato all'aleatorietà della disponibilità della risorsa risulta pertanto maggiore nelle applicazioni termodinamiche del cosiddetto solare a concentrazione (Concentrating Solar Power - CSP) [19], rispetto alle applicazioni fotovoltaiche che invece utilizzano la componente globale della radiazione [20]. Nella sezione successiva discuteremo le valutazioni di opzioni sulla radiazione solare globale proponendo un modello stocastico di tipo diffusivo, con mean-reversion, per descrivere l'andamento temporale della risorsa.

⁵ L'insolazione misura la quantità di energia solare incidente sull'unità di superficie determinata arco temporale. L'irraggiamento misura invece la potenza irradiata per unità di superficie, cioè l'energia incidente nell'unità di tempo per unità di superficie.

1	Philadelphia
0	-0.0029
1	0.0853

ca dei gradi giorno G

to develop a comparable energy, including

no di riscaldamento sono inserite nell'evoluzione temporale solare al suolo. zione⁵, diretta e globale, in alcune località distribuzioni empiriche dell'insolazione sono deviazioni standard alla radiazione solare ezza delle fluttuazioni della componente aleatorietà della applicazioni industriali (Solar Power - CSP) o alla radiazione solare ritizzano la componente discutere della ponendo un modello scrivere l'andamento

unità di superficie in un'ora incidente sull'unità di superficie.

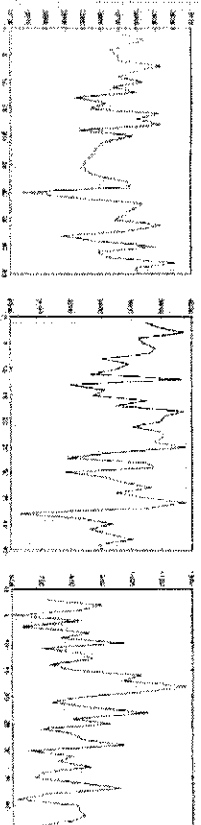


Figura 4. Da sinistra a destra: andamento storico (1961-2005) dei gradi giorno annuati in un anno a New York, Chicago e Houston rispettivamente. Fonte: National Solar Radiation Data Base.

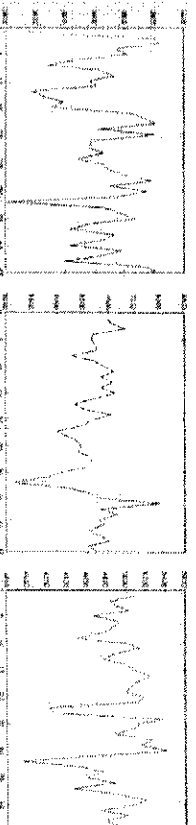


Figura 5. Da sinistra a destra: andamento storico (1961-2005) dell'insolazione diretta annuale a New York, El Paso e Long Beach rispettivamente. I dati sono relativi alla media giornaliera espressa in $Wh/(m^2 \text{ giorno})$. Fonte: National Solar Radiation Data Base.

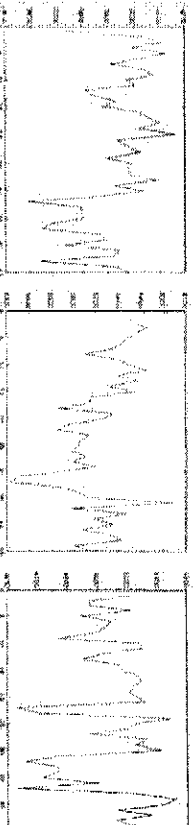


Figura 6. Da sinistra a destra: andamento storico (1961-2005) dell'insolazione globale annuale a New York, El Paso e Long Beach rispettivamente. I dati sono relativi alla media giornaliera espressa in $Wh/(m^2 \text{ giorno})$. Fonte: National Solar Radiation Data Base.

3.1 Il modello

La figura 7 mostra l'evoluzione temporale dell'insolazione globale mensile. I dati si riferiscono a 240 osservazioni mensili dal 1986 al 2005 relativamente alle città di New York, El Paso e Long Beach.

La componente globale della radiazione solare al suolo mostra stagionalità e fluttuazioni stocastiche intorno alla media di lungo periodo. Indicheremo allora con I_t il livello di insolazione mensile al tempo t , cioè la quantità di

	New York	El Paso	Long Beach
Radiazione diretta			
Average	0.0058	-0.0007	-0.0015
St. dev.	0.0928	0.0657	0.0761
Radiazione globale			
Average	0.0015	-0.0007	-0.0003
St. dev.	0.0372	0.0261	0.0337

Tabella 5: I primi due momenti della distribuzione empirica dell'insolazione globale e globale rispettivamente, su base annuale.

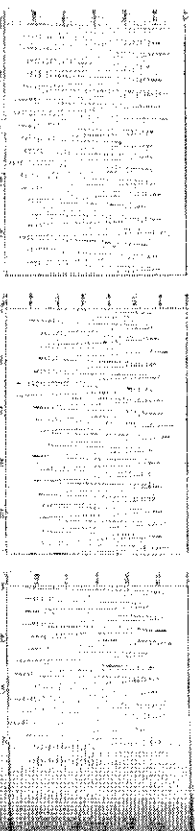


Figura 7: De sinistra a destra: andamento storico dell'insolazione globale da 1986 al 2005 a New York, El Paso e Long Beach rispettivamente.

energia incidente al suolo su piano orizzontale per unità di superficie e mese⁹, con S_i il suo logaritmo,

$$S_i = \ln I_i,$$

ed assumeremo che sia

$$S_i = f_i + \tau_i,$$

dove

$$f_i = A + B \sin \left(C + \frac{2\pi i}{12} \right),$$

rappresenta la componente deterministica del moto e descrive la *stazionarietà del fenomeno*. Per catturare la proprietà osservata dalla fluttuazione di radiazione globale al suolo, utilizzeremo un modello stocastico di tipo *mean-reversion* [21]. In particolare assumeremo che l'evoluzione

⁹ I dati utilizzati si riferiscono all'insolazione mensile espressa dalla media di un mese considerato.

g Beach
1.0015
1.0764
0.0003
1.0337

Insolazione diretta

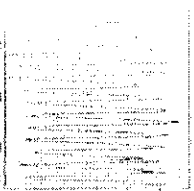


Figura 8: Da sinistra a destra: andamento storico dell'insolazione globale mensile stagionalizzata (1986-2005) a New York, El Paso e Long Beach rispettivamente.

ale della componente aleatoria x_t sia descritta dall'equazione differenziale stocastica:

$$dx_t = -\alpha x_t dt + \sigma dm_t, \quad (3.4)$$

dove α rappresenta il coefficiente di mean-reversion, σ la volatilità e m_t un moto Browniano standard. Il modello è stato calibrato sui dati mensili relativi alla componente globale della radiazione solare al suolo nel periodo 1961-2005. La stima è stata effettuata in due fasi. Nella prima fase è stata calibrata la componente deterministica del moto: i parametri A , B e C sono stati stimati utilizzando il metodo dei minimi quadrati sulle 540 osservazioni disponibili, ed i risultati sono descritti nella tabella 6.

	New York	El Paso	Long Beach
A	8.1757 (0.0309)	8.6014 (0.0303)	8.4422 (0.0315)
B	-0.6368 (0.0430)	-0.4322 (0.0436)	-0.4929 (0.0431)
C	1.4680 (0.0668)	1.5479 (0.0994)	1.4068 (0.0854)

Tabella 6: La stima dei parametri. Gli errori standard sono riportati tra parentesi.

L'andamento temporale destagionalizzato delle variazioni logaritmiche della radiazione globale è rappresentato nella figura 8; la distribuzione empirica ed i primi quattro momenti sono riportati rispettivamente nella figura 9 e nella tabella 7. Nella seconda fase della calibrazione del modello, la componente stocastica del moto è stata stimata con tecniche di massima verosimiglianza sui dati destagionalizzati. I risultati sono riassunti nella tabella 8.

Per valutare la capacità descrittiva del modello, sono state simulate 5000 traiettorie generate con tecniche Monte Carlo utilizzando il modello calibrato. Nella tabella 9 sono riportati i valori medi dei primi quattro momenti della distribuzione di modello. L'accordo con la distribuzione empirica sembra interessante: limitatamente ai primi quattro momenti le distribuzioni di modello

zione globale mensile
dite.

(3.1)

(3.2)

(3.3)

re e la stagionalità
variazioni della ra-
o di tipo diffusivo
evoluzione tempo-

nella giornaliera nel



Figura 9: La distribuzione empirica. Da sinistra a destra: New York, El Paso e Long Beach.

	New York	El Paso	Long Beach
n	540	540	540
Mean	-0.0001	0.0002	-0.0002
Std. dev.	0.1386	0.0982	0.1217
Skew	-0.2174	-0.1172	0.0890
Kurt	3.0778	3.3037	3.0939

Tabella 7: I momenti della distribuzione empirica.

riproducono sufficientemente bene le distribuzioni empiriche osservate nelle località americane.

3.2 Le opzioni sulla radiazione solare

In questo paragrafo discuteremo un'applicazione del modello finalizzata alla valutazione di opzioni sulla radiazione solare globale. Opzioni di questo tipo possono essere utilizzate efficacemente nella gestione del rischio legato alle fluttuazioni imprevedibili del livello di insolazione: variazioni aleatorie e non risorsa rispetto al valor medio storico si riflettono sulla redditività degli investimenti nel settore fotovoltaico e determinano una componente imprevedibile della rischiosità.

Un'opzione put sulla radiazione solare è caratterizzata dalla funzione di payoff seguente:

$$C_s = V \max\{K - H_s, 0\},$$

dove H_s rappresenta la radiazione solare globale e K il livello di insolazione media (dato storico) in un intervallo temporale prefissato. Nell'ipotesi

Modello 1	New York	El Paso	Long Beach
α	0.6117 (0.0409)	0.5925 (0.0396)	0.6882 (0.0406)
σ	0.1154 (0.0035)	0.0822 (0.0026)	0.0985 (0.0028)
LL	399.29	581.62	484.23

Tabella 8: La stima dei parametri. Gli errori standard sono riportati tra parentesi.

	Mean	Std. dev.	Skewness	Kurtosis
New York	Osservati	0.00	0.272	-0.140
	Simulati	0.00 (0.0002)	0.272 (0.0141)	-0.002 (0.056)
El Paso	Osservati	0.00	0.186	0.127
	Simulati	0.00 (0.0002)	0.186 (0.0029)	0.001 (0.058)
Long Beach	Osservati	0.00	0.218	0.108
	Simulati	0.00 (0.0002)	0.218 (0.003)	0.001 (0.064)

Tabella 9: I momenti di modello ed i momenti empirici. Gli errori standard sono riportati tra parentesi.

are nelle tre

arizzata alle
 il questo tr-
 o legato alle
 atorie delle
 ità degli in-
 importante.
 re di pay-off

(3.5)

i insolazio-
 li ipotesi di

dove il coefficiente a_i descrive il numero di giorni del mese i -esimo. V indica la costante di valorizzazione per unità di risorsa (in questo caso l'unità è il kWh/m² di energia solare). Il pay-off dell'opzione così costruita risulta dipendente dal percorso secondo la relazione (3.6) e rientra nella tipologia delle opzioni asiatiche [22]. Il valore all'istante di tempo corrente t ($t < s$) del titolo è dato da

$$H_s = \sum_{i=1}^{12} a_i I_{s-t} \quad (3.6)$$

assumere l'anno come ampiezza del periodo di riferimento, avremo

$$C_t = Ve^{-r(s-t)} E_t^* [\max\{K - H_s, 0\}] \quad (3.7)$$

dove il valore atteso è calcolato nella misura di probabilità neutrale al rischio, e r rappresenta l'intensità istantanea di interesse (costante). Non esistono soluzioni in forma chiusa del particolare problema posto e, per la valutazione del titolo, ricorreremo a tecniche di simulazione Monte Carlo. Nell'ipotesi che la

	New York	El Paso	Long Beach
K (kWh/m ²)	1434	2084	1803
Prezzo	169	198	170

Tabella 10: I prezzi della copertura: simulazione Monte Carlo su 20000 iterazioni

componente di rischio sistemático dell'opzione sia trascurabile⁷, la valutazione può essere effettuata utilizzando la misura di probabilità naturale riferimento ad un sistema di incentivazione a tariffa fissa per un arco temporale assegnato, supporremo di calcolare il prezzo della copertura selezionando un portafoglio di opzioni europee con "prezzo" di esercizio K fissato (dato dall'insolazione annua) e che differiscono per il tempo di esercizio. Ne determineremo la durata del meccanismo di incentivazione sia pari a venti anni, sia pari a un portafoglio di $N = 20$ opzioni put europee con tempi di esercizio variabili da uno a venti anni. Il valore di tale portafoglio è dato da

$$X_1 = \sum_{k=1}^{20} V e^{-r(s_k - t)} E_t [\max\{K - H_{s_k}, 0\}].$$

Nella tabella 10 sono riportati i prezzi (in euro) dei portafogli di opzioni put riferimenti alle tre località esaminate, calcolati utilizzando il modello proposto mediante tecniche di simulazione Monte Carlo su 20000 traiettorie generate con il metodo delle variabili antitetiche per la riduzione della varianza. La ipotesi che la costante di valorizzazione dell'energia sia $V = 0.5$ euro/kWh/m². La scelta dei valori adottati per il calcolo del prezzo delle opzioni è stata effettuata prendendo come riferimento la valorizzazione dell'energia elettrica prodotta per via fotovoltaica proposta nel "Nuovo Conto Energia 2005".

4 Conclusioni

Per favorire lo sviluppo delle FER è necessario che il sistema finanziario venga ad ammodernarsi significativamente. Dotare gli investitori di strumenti finanziari adeguati è un passo importante che assicura stabilità e redditività che energetiche del Paese, garantisce il sistema creditizio ed i finanziamenti necessari.

⁷ La componente di rischio sistemático dipende dalla covarianza tra il payoff dell'opzione e il rendimento del portafoglio di mercato [23]. Una condizione sufficiente è che la covarianza tra le variazioni del livello di insolazione ed il rendimento del portafoglio di riferimento sia trascurabile.

ogati investimenti nel settore delle fonti rinnovabili. La politica energetica comunitaria nell'ultimo decennio è stata interamente finalizzata a migliorare la competitività del sistema industriale, garantendo la sicurezza degli approvvigionamenti energetici, nel rispetto e nella salvaguardia dell'ambiente. Favorire la ricerca e lo sviluppo nel settore delle fonti rinnovabili costituisce uno strumento importante di politica energetica perché le FER consentono da un lato di ridurre la dipendenza dall'estero, dall'altro di contenere le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. Recentemente, la Commissione Europea, nel Consiglio di marzo 2007, ha posto un obiettivo prioritario e vincolante relativo alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili: al 2020 il contributo delle FER nel totale dei consumi energetici dell'Unione Europea dovrà essere del 20%. L'obiettivo è stato ribadito nel gennaio di quest'anno con il "Pacchetto cambiamenti climatici ed energia" nel quale viene confermata la quota del 20% (attualmente il contributo delle rinnovabili è pari all'8,5%). Per l'Italia è stato proposto un valore inferiore rispetto alla media europea e pari al 17%. È un obiettivo comunque importante, certamente non facile da raggiungere soprattutto se il nostro Paese non dimostri di essere in grado di gestire adeguatamente quei processi di innovazione tecnologica e di innovazione nel settore imprenditoriale e creditizio che inevitabilmente dovranno essere avviati e sviluppati con consapevolezza e responsabilità. È una priorità assoluta e necessaria per poter garantire al settore delle energie rinnovabili un adeguato grado di crescita.

Riferimenti bibliografici

- [1] A. EYDELAND, K. WOJNYNIEC, *Energy and power risk management*, Wiley, 2003.
- [2] J. HULL, *Options, futures e altri derivati* (6th edizione), Prentice Hall, 2006.
- [3] NOMISMA ENERGIA, *Le nuove fonti rinnovabili per l'energia elettrica in Europa*, Bologna, 2007.
- [4] F. GANGALE, NM. CAMINITI, *Le politiche e le misure del settore elettrico*, ENEA, 2005.
- [5] *Vademecum della borsa elettrica italiana*, Pubblicazione GME.
- [6] H. GEMAN, A. RONCORONI, "Understanding the fine structure of electricity prices", *Journal of Business*, 2003, 79.
- [7] C. DE JONG, "The Nature of power spikes: a regime switch approach", *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 2006, 10(3).

- [8] C. MARI, "Regime-switching characterization of electricity price dynamics", *Physica*, 2006, 371, 552-564.
- [9] R. WEHON, "Modeling and forecasting electricity loads and prices", *Finance*, 2006.
- [10] T.D. MOENT, Y. NING, X. CAI, "Predicting price spikes in electricity markets using a regime-switching model with time-varying parameters", *Energy Economics*, 2006, 28: 62-80.
- [11] C. MARI, "Random movements of power prices in competitive markets: a hybrid model approach", *Journal of Energy Markets*, 2008, 1(2), 1-12.
- [12] A. EYDELAND, H. GEMAN, "Pricing power derivatives", *RISK*, September.
- [13] *I mercati per l'ambiente*, Pubblicazione GME.
- [14] *Vademecum mercati per l'ambiente*, Pubblicazione GME.
- [15] *Il nuovo conto energia* (edizione n.2), Pubblicazione CSE, 2008.
- [16] S. JEWSON, A. BRIX, *Weather derivative valuation*, Cambridge, 2005.
- [17] M. CAO, A. LI, J. WEI, "Precipitation modeling and contract valuation at a frontier in weather derivatives", *Journal of Alternative Investments*, 2004, 93-99.
- [18] J. TINDALL, *Weather derivatives: pricing and risk management applications*, Institute of Actuaries of Australia, 2006.
- [19] *Il programma ENEA sull'energia solare a concentrazione e la temperatura*, Pubblicazione ENEA, 2005.
- [20] *Lo sviluppo del fotovoltaico in Italia e le tecnologie proposte dall'ENEA*, Dossier ENEA, 2007.
- [21] E.S. SCHWARTZ, "The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging", *Journal of Finance*, 1990, 45, 933-973.
- [22] H. GEMAN, *Commodities and commodity derivatives*, Wiley, 2005.
- [23] L. TRIGEORGIS, *Real Options*, The MIT Press, 1996.