



Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale
in Sviluppo Economico e
dell'Impresa

Tesi di Laurea

Il mercato delle emissioni
EU ETS: analisi statistica

Relatore

prof. Claudio Pizzi

Giulia Vian

vian.giulia@gmail.com

Matricola 816561

Anno Accademico

2013-2014

INDICE

Indice	i
Elenco delle tabelle	iii
Elenco delle figure	iv
Introduzione	1
1 I cambiamenti Climatici ed il fenomeno dell'aumento dei Gas Serra	4
1.1 Introduzione	4
1.1.1 L'impatto dell'uomo: l'aumento della temperatura	5
1.2 I gas serra	7
2 Il protocollo di Kyoto	16
2.1 Introduzione	16
2.2 Il protocollo di Kyoto	16
2.2.1 I meccanismi di funzionamento del protocollo di Kyoto	18
2.3 Implementazione del protocollo di Kyoto in Europa	20
2.3.1 Situazione europea nella realizzazione degli obiettivi di Kyoto	21
2.3.2 Impegni ambientali promossi dall'Unione Europea	23
2.3.3 Impegni Europei post-Kyoto	26
2.3.4 Raggiungimento degli obiettivi europei	27
3 Il Mercato delle emissioni	30
3.1 Introduzione al meccanismo cap-and-trade	30
3.2 Meccanismi cap-and-trade	34
3.2.1 Mercati cap-and-trade nel mondo	36
3.2.2 Mercato ETS nei paesi emergenti : Caso Cina e Corea	40
3.3 Il mercato europeo EU ETS	42
3.3.1 Le direttive europee per l'istituzione del mercato EU ETS	42
3.3.2 Il Mercato EU ETS: Gli attori coinvolti	47
3.3.3 I titoli Scambiati	51
3.3.4 L'allocazione delle quote	53
3.3.4.1 L'allocazione a titolo gratuito	58
3.3.5 Attività di Trading e verifica finale delle emissioni	58

3.3.6	Le fasi del mercato	60
3.3.7	Le piattaforme di scambio europeo	61
3.4	Andamento del mercato EU ETS	65
4	Analisi statistica del mercato delle emissioni	69
4.1	Introduzione	69
4.2	Panoramica della letteratura scientifica presente	70
4.3	Analisi statistica: metodologia	73
4.4	Analisi delle variabili	79
4.4.1	EUA <i>European Union Allowance</i>	80
4.4.2	Variabili settore energetico	88
4.4.3	CO1 Comdty Brent OIL	89
4.4.4	UK Natural Gas Futures	93
4.4.5	Electricity spot price	98
4.4.6	Stock Market: DAX Index, EUROSTOXX 50 Index	101
4.5	Modelli econometrici	111
4.5.1	Modello di regressione lineare multivariato	111
4.5.1.1	Analisi sotto periodo: Modello 2008	118
4.5.1.2	Analisi sotto periodo: Modello Gennaio 2009 - Ottobre 2011	120
4.5.1.3	Analisi sotto periodo: Modello Novembre 2011 - Novembre 2013	123
4.5.1.4	Conclusioni ed interpretazione economica	125
4.5.2	Individuazione dei effetti di causalità alla Granger	128
	Conclusioni	130
	Glossario	134
	Bibliografia	136

ELENCO DELLE TABELLE

1.1	World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of CO ₂	10
1.2	World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of CH ₄	12
1.3	World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of N ₂ O	14
2.1	Tetti massimi di emissione, anno base 1990	20
2.2	Principali produttori di Gas Serra, fonte YearBook Enerdata 2011	24
3.1	Mercati ETS nel Mondo: RGGI e NZ ETS.	37
3.2	Mercati ETS nel Mondo: KAZ ETS e Tokyo ETS	38
3.3	Impianti operanti nel mercato EU ETS, fonte direttiva comunitaria 2009/29/CE	48
4.1	Statistiche descrittive delle serie	80
4.2	Statistiche descrittive serie EUA	82
4.3	Test Box-Ljung serie stazionaria EUA: Lag 1-10	83
4.4	Statistiche descrittive serie CO1	90
4.5	Statistiche descrittive serie FN1	94
4.6	Statistiche descrittive serie Electricity Sport Price	99
4.7	Statistiche descrittive serie Euro Stoxx 50	103
4.8	Statistiche descrittive serie Indice DAX	107
4.9	Variabili Esplicative	112
4.10	Coefficienti di correlazione, serie stazionarie 2008-2013	112
4.11	Tabella riassuntiva modelli	126
4.12	Risultati test di Causalità alla Granger	129

ELENCO DELLE FIGURE

1.1	Temperatura globale 1850-2012, fonte European Environment Agency 2013.	6
1.2	Riscaldamento globale del pianeta, 1901-2012, fonte IPCC 2013. Zone bianche rappresentano aree dove non vi erano dati a sufficienza per effettuare stime robuste.	8
1.3	Schema di aumento livello del mare nel periodo 1901-2010, IPCC Report 2013.	9
1.4	Atmospheric Concentration on CO ₂ (ppm) in 1750-2011.	11
1.5	Atmospheric Concentration on CH ₄ (ppm) in 1750-2011.	13
1.6	Atmospheric Concentration on N ₂ O(ppb) in 1750-2011	14
1.7	Atmospheric Concentration Halocarbons	15
2.1	Distribuzione dei progetti CDM nel mondo, fonte UNFCCC	19
2.2	Pil ed Emissioni di Gas Serra, Fonte AEA, DG ECFIN, Eurostat	22
2.3	Andamento e revisioni di emissione gas GHG Europa, fonte European Environment Energy 2013	28
3.1	Three Pillars of Climate Policy	31
3.2	Emission markets and control, IETA association	42
3.3	Principali Mercati di scambio in Europa, elaborazione Nord Pool [42]	62
3.4	Market share EU ETS, elaborazione su dati ICE Gennaio 2014	64
3.5	Volumi del mercato del carbonio europeo 2005-2011	65
3.6	Andamento dei prezzi EUA e CER periodo 2008-2013 fonte Word Bank	66
4.1	Rappresentazione della serie European Union Allowance (EUA)	81
4.2	Correlogrammi serie LogEUA	82
4.3	Istogramma residui Modello ARIMA (4,0,0)	84
4.4	Diagnostica residui Modello ARIMA (4,0,0)	85
4.5	Q-Q Plot residui Modello ARIMA (4,0,0)	86
4.6	Residui al quadrato del modello	87
4.7	Rappresentazione della serie CO1 (<i>CO1 Comdty Futures</i>)	89
4.8	Istogramma residui Modello ARIMA (1,0,0)	91
4.9	Diagnostica residui Modello ARIMA (1,0,0)	91
4.10	Q-Q Plot residui Modello ARIMA (1,0,0)	92
4.11	Rappresentazione della serie FN1 (<i>FN1 Natural Gas</i>)	95
4.12	Correlogrammi serie LogFN1	96

4.13	Istogramma residui Modello ARIMA (2,0,2)	96
4.14	Diagnostica residui Modello ARIMA (2,0,2)	97
4.15	Rappresentazione della serie Electricity Spot Price (<i>ENWSSPAV Index</i>)	99
4.16	Rappresentazione della serie Euro Stoxx 50	102
4.17	Correlogrammi serie Euro Stoxx	103
4.18	Diagnostica residui Modello ARIMA (5,0,0)	104
4.19	Istogramma residui Modello ARIMA (5,0,0)	105
4.20	Q-Q Plot residui Modello ARIMA (5,0,0)	105
4.21	Rappresentazione della serie Dax 30	108
4.22	Diagnostica residui Modello ARIMA (1,0,3)	109
4.23	Test di Normalità	116
4.24	Residui del modello stimato tramite OLS e bande GARCH(1,1)	118
4.25	Residui del modello stimato tramite OLS e bande GARCH(1,1)	123

INTRODUZIONE

Gli effetti dell'uomo sull'ambiente pongono un obbligo imperativo da parte delle istituzioni ed attori internazionali di perseguire impegni volti alla lotta contro il cambiamento climatico. Inquinamento, riduzione della biodiversità, surriscaldamento globale, maggiore frequenza di calamità naturali sono solo alcuni dei fenomeni in atto, campanello d'allarme di un impegno globale che non deve essere più posticipato. Per questo motivo nel 1997 è stato siglato il protocollo di Kyoto nel quale è stato creato un nuovo meccanismo finalizzato alla lotta ai cambiamenti climatici: il mercato delle quote di emissione. Mediante questo mercato i soggetti coinvolti devono rispettare i limiti di emissione imposti, dotandosi di appositi permessi di emissione commercializzabili. Creando un mercato di scambio di CO₂ i policy maker hanno fornito alle aziende coinvolte la possibilità di trarre guadagno dalla commercializzazione di una nuova tipologia di bene, incoraggiando inoltre investimenti in rinnovamento tecnologico finalizzati ad uno sviluppo *low-carbon*. Il mercato europeo (*EU ETS*) è il primo e più ampio mercato mondiale delle emissioni di gas serra operante. Operativo soltanto dal 2005, in soli 8 anni il suo volume di affari ha raggiunto quota 180 milioni di dollari americani e copre il 45% delle emissioni europee relative a circa 12 mila impianti industriali attivi nel territorio comunitario. Conoscere il comportamento del mercato, definire i principali *price driver* e fattori influenzanti è molto importante per gli operatori del mercato che gestiscono l'acquisto e la vendita di quote nel loro portafoglio.

Lo scopo di questo lavoro è quello di studiare la struttura del mercato delle

emissioni europeo, analizzando lo sviluppo dei prezzi dei permessi di emissione contrattati nel mercato EU ETS durante il periodo 2008-2013. A differenza di altri lavori, in questa tesi viene analizzato un periodo di 5 anni, dall'inizio della seconda fase di mercato al primo anno della terza, durante il quale sono intervenuti molteplici cambiamenti normativi e shock finanziari. Per questo motivo vengono eseguite molteplici analisi finalizzate a studiare gli andamenti del mercato *EU ETS* in sottoperiodi più brevi, sottoposti in maniera minore alle alte variazioni di volatilità del sistema.

Nella prima parte della tesi si è voluto introdurre il fenomeno del riscaldamento globale, individuandone le cause principali e i possibili effetti futuri, studiati dai più autorevoli enti internazionali, tra i quali figura l'Intergovernmental Panel on Climate Change, insignito del premio nobel per la pace nel 2007.

Nel secondo capitolo vengono presentati i principali accordi internazionali realizzati a partire dagli anni '90. Viene analizzato il Protocollo di Kyoto, grazie al quale è stato istituito il principio di scambio dei permessi di emissione di gas inquinanti. Viene posta una particolare attenzione all'implementazione del protocollo in Europa, presentando una panoramica delle più importanti direttive europee emanate negli ultimi anni e fornendo un'analisi del livello di raggiungimento attuale degli ambiziosi obiettivi stimati.

Nel terzo capitolo viene presentato il meccanismo di scambio delle quote di anidride carbonica *cap & trade* finalizzato al rispetto di un livello massimo di emissioni e determinazione del prezzo per le emissioni di gas serra. Prima di procedere all'analisi del mercato europeo vengono descritti i più importanti mercati operanti del mondo. In questo capitolo viene inoltre descritto dettagliatamente il mercato *EU ETS*, ne vengono analizzate le direttive costituenti, gli attori coinvolti e la sua evoluzione. Vengono analizzate le varie fasi di mercato, le piattaforme di commercializzazione dei permessi e le modalità di contrattazione.

Nell'ultimo capitolo, dopo aver illustrato la letteratura scientifica più recente

volta ad analizzare la dinamica del mercato delle emissioni europeo, i principali *price driver* e i fattori che lo hanno influenzato, si procede alla presentazione e all'analisi delle variabili di interesse. Per ognuna di esse viene individuato un modello statistico adatto a cogliere la dinamicità della serie. Successivamente vengono proposti diversi modelli econometrici per cercare conferma della presenza di legami tra l'andamento dei prezzi dei permessi di emissioni (*European Union Allowance*) ed alcune variabili indicative dell'andamento del mercato energetico e dell'economia europea.

CAPITOLO 1

I CAMBIAMENTI CLIMATICI ED IL FENOMENO DELL'AUMENTO DEI GAS SERRA

1.1 INTRODUZIONE

L'attività dell'uomo sul nostro pianeta ha lasciato impronte molto profonde che, solamente negli ultimi 30 anni, sono stata analizzate e considerate con il dovuto interesse. Inquinamento, riduzione delle biodiversità e il surriscaldamento del pianeta, sono fenomeni in atto, che sembrano inarrestabili. Nel 1988, la comunità internazionale è stata chiamata a cercare una soluzione per mitigare i *cambiamenti climatici*¹. La World Meteorological Organization (WMO) e l'United Nations Environment Programme (UNEP) hanno istituito l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), un organismo autorevole in grado di fornire ai policy maker mondiali documentazioni scientifiche (elaborate da tecnici e ricercatori qualificati) nell'ambito dello studio dei cambiamenti climatici, delle conseguenze climatiche su sfera globale e delle proposte di mitigazione. L'IPCC è composto da membri di organizzazioni internazionali e non, al suo interno lavorano tre gruppi di lavoro (*Working Group*), una *Task Forces* e i gruppi *Focal Point*, questi ul-

¹Il termine cambiamenti climatici viene definito, nell'articolo n°1 del testo della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici come "a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods". [47]

timi coordinano studi e ricerche, promuovono l'IPCC all'interno di ogni nazione aderente.

Il più recente documento ufficiale dell'IPCC è identificato nel quarto rapporto di valutazione pubblicato nel 2007. Questo documento di valutazione, redatto dal comitato intergovernativo nel 2007, dimostra come la concentrazione nell'atmosfera di anidride carbonica e di altri gas, come il metano e protossido di azoto, sia aumentata principalmente a causa della maggior influenza dell'uomo sull'ambiente (l'industrializzazione ed il progresso tecnologico). Prove scientifiche di questi cambiamenti sono state ottenute attraverso l'analisi in laboratorio di campioni di carote di ghiaccio antartiche, le quale registrano la concentrazione atmosferica di anidride carbonica delle ultime migliaia di anni.

L'incremento dell'uso di combustibili fossili da un lato e i progressi nel campo dell'agricoltura dall'altro, sono stati considerati come le attività di maggior impatto negli ultimi 200 anni per il cambiamento climatico [54].

1.1.1 L'impatto dell'uomo: l'aumento della temperatura

Il *forzante radiativo*, calcola quanto un elemento influenza il livello di energia contenuta nel sistema terrestre. Nello specifico, i forzanti positivi individuano i fattori che contribuiscono ad emettere energia che produce calore all'interno del sistema, quelli negativi, invece, contribuiscono ad abbassare la temperatura, come i gas aerosol (solfati, nitrati e polveri). Gli studi hanno dimostrato come l'azione dell'uomo, dalla rivoluzione industriale ad oggi, sia stata la causa principale del riscaldamento del pianeta, con un forzante radiativo pari a $+1.6Wm^{-2}$ ²

Dall'analisi della figura 1.1, si può notare come gli ultimi 40 anni, abbiano registrato temperature medie globali, superiori alla media di quelle presenti in epoca pre-industriale. I dati calcolati dai centri nazionali americani della NASA (National Aeronautics and Space), ottenuti tramite un'analisi dei valori medi registrati

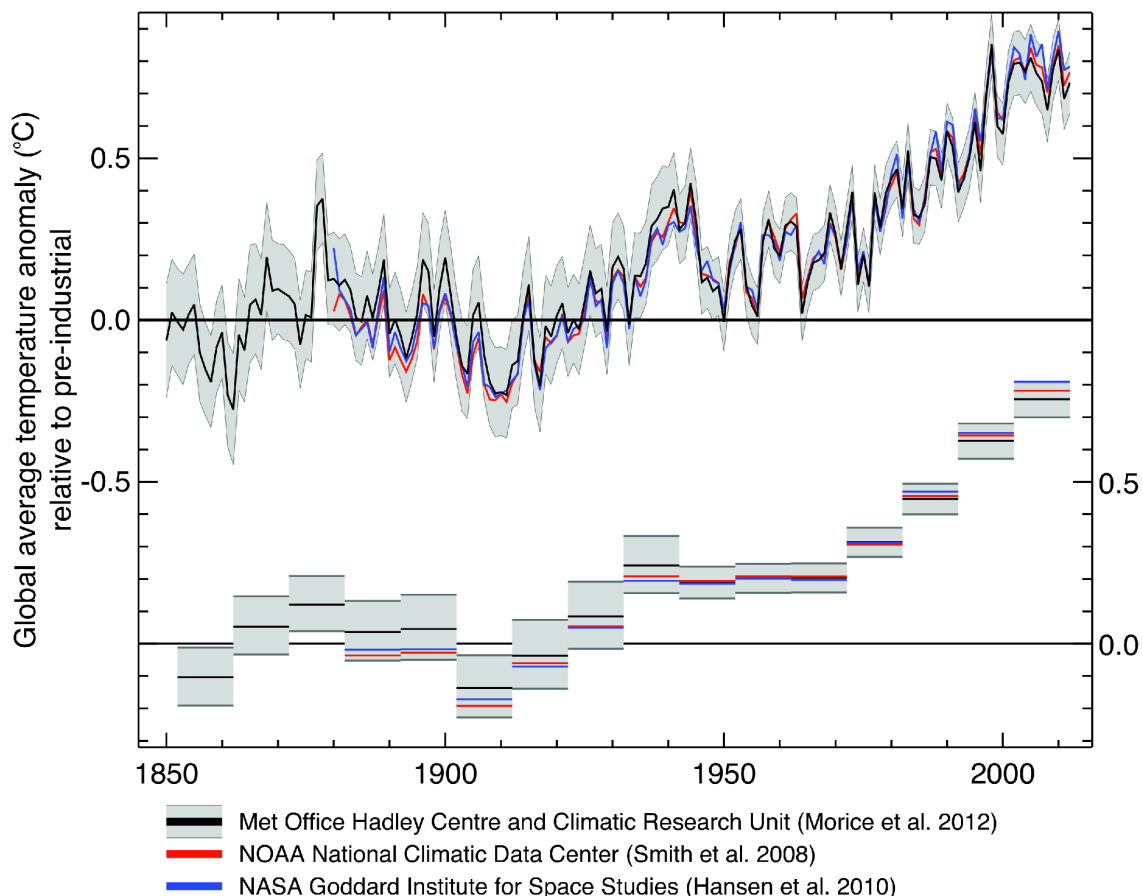
²L'unità di misura del forzante radiativo adottata dal sistema internazionale è il Watt per metro quadrato Wm^{-2} .

nelle superfici ricoperte da terra o acqua nel globo, dimostrano un aumento della temperatura medio pari a $0.85^{\circ} C$ (con un intervallo di confidenza al 95%).

Figura 1.1: Temperatura globale 1850-2012, fonte European Environment Agency 2013.

Global Temperatures (1850-2012)

annual average and 10-year average



I rilevatori di monitoraggio presenti negli oceani, hanno registrato un aumento della temperatura dei mari fino a profondità superiori ai 3000 m, infatti, le acque terrestri hanno assimilato più dell'80 % del calore in aumento nell'ecosistema. L'aumento della temperatura delle acque ha contribuito in maniera amplificata a due fenomeni:

- lo scioglimento dei ghiacci delle calotte artiche e antartiche;

- l'innalzamento del livello del mare ad un tasso medio di 1.8 mm all'anno.

Si stima, che la massa di ghiaccio dell'Antartide abbia manifestato una riduzione drastica, dovuta allo scioglimento rapido delle nevi. La temperatura delle regioni artiche è inoltre aumentata a ritmi doppi rispetto a quelli medi globali presenti negli ultimi 100 anni. I dati registrati dai satelliti hanno individuato, fin dal 1978, una riduzione dell'estensione annuale della massa ghiacciata pari ad una media del 2.7 %. [54]

Il rapporto intermedio del 2013, realizzato dal Primo Gruppo di lavoro dell'IPCC (Working Group I), ha constatato un aumento più ridotto del riscaldamento della temperatura degli oceani durante gli anni 2003-2010 rispetto agli anni 1993-2002, ma allo stesso tempo, un aumento nel tasso di perdita del ghiaccio presente in Artide e Antartide nel periodo di analisi 2002-2011. La figura 1.2 qui riportata riporta graficamente (con diversi colori) i più recenti risultati sull'aumento delle temperature nel globo dal 1901 al 2012.

Il livello del mare, come indicato precedentemente, è aumentato durante il periodo 1901-2010 di circa 0.19 metri, l'immagine in figura 1.3 ne evidenzia l'aumento.

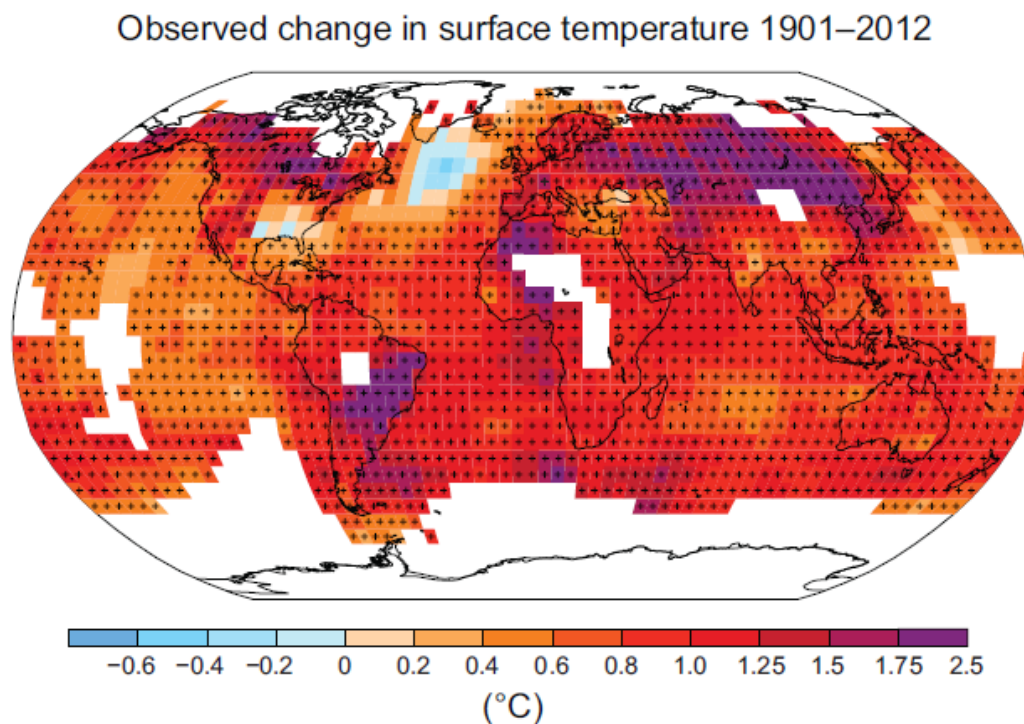
Gli effetti climatici evidenziati nel presente paragrafo sono dovuti a diverse cause che vengono presentate nei prossimi paragrafi.

1.2 I GAS SERRA

Il riscaldamento globale è dovuto in gran parte dalla presenza nell'atmosfera di un numero sempre maggiore di gas serra (*greenhouse Gases*, GHG)³. L'energia solare riscalda la temperatura della terra, la quale irradia nuovamente verso l'esterno parte dell'energia. I gas ad effetto serra, *Greenhouse Gases* agiscono co-

³Il termine *greenhouse Gases* viene definito, nell'articolo n°1 del testo della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici come "gaseous constituents of the atmosphere, both natural and anthropogenic, that absorb and re-emit infrared radiation". [47]

Figura 1.2: Riscaldamento globale del pianeta, 1901-2012, fonte IPCC 2013. Zone bianche rappresentano aree dove non vi erano dati a sufficienza per effettuare stime robuste.



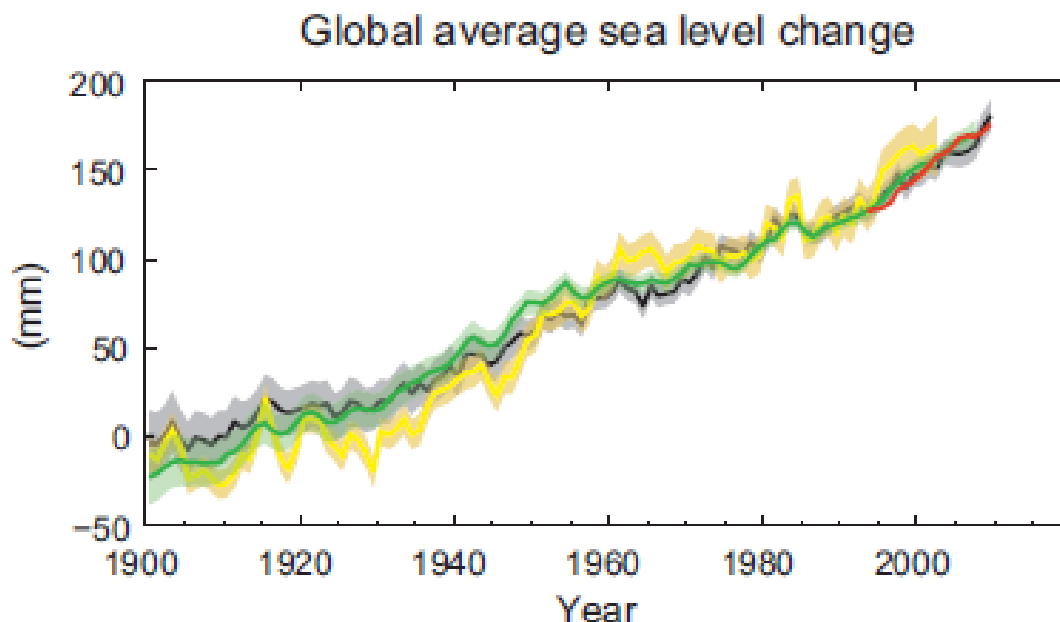
me il vetro in una serra (*Greenhouse*), permettendo ai raggi solari di passare ma impedendo al riscaldamento di fuoriuscire dall'atmosfera.

I gas serra sono costituiti da:

- vapore acqueo H_2O ;
- anidride carbonica CO_2 ;
- metano CH_4 ;
- ossido di diazoto (N_2O);
- gas idrocarburi alogenati (*Halocarbons*).

Il **vapore acqueo** H_2O è il gas più abbondante presente nell'atmosfera, contribuendo in maniera maggiore al suo riscaldamento. Tant'è vero che questo gas è

Figura 1.3: Schema di aumento livello del mare nel periodo 1901-2010, IPCC Report 2013.



responsabile per 2/3 dell'effetto serra naturale. Il vapore acqueo non è prodotto dalle attività dell'uomo, ma è parte integrante del ciclo idrologico della terra. Si stima che, in assenza di questo elemento, la temperatura sarebbe inferiore di $18^{\circ} C$.

L'anidride carbonica CO_2 , è il maggior gas serra emesso dalle attività umane ed è responsabile, per il 60% nei paesi non industrializzati e l'80% in quelli industrializzati, dell'aumento del forzante radioattivo nell'atmosfera. Le concentrazioni di questo gas segue un ciclo, detto appunto ciclo del carbonio. Essa circola nell'atmosfera, nella biosfera terrestre (vegetazione terrestre, regno animale) ed attraverso gli oceani. Il carbonio è contenuto nei carburanti fossili, i quali vengono generati dalle piante in decomposizione e dagli animali fossilizzati nell'arco di migliaia di anni.

L'utilizzo dei combustibili fossili (carbone, petrolio e gas) per produrre energia, la deforestazione e il cambiamento di utilizzo delle terre sono state le mag-

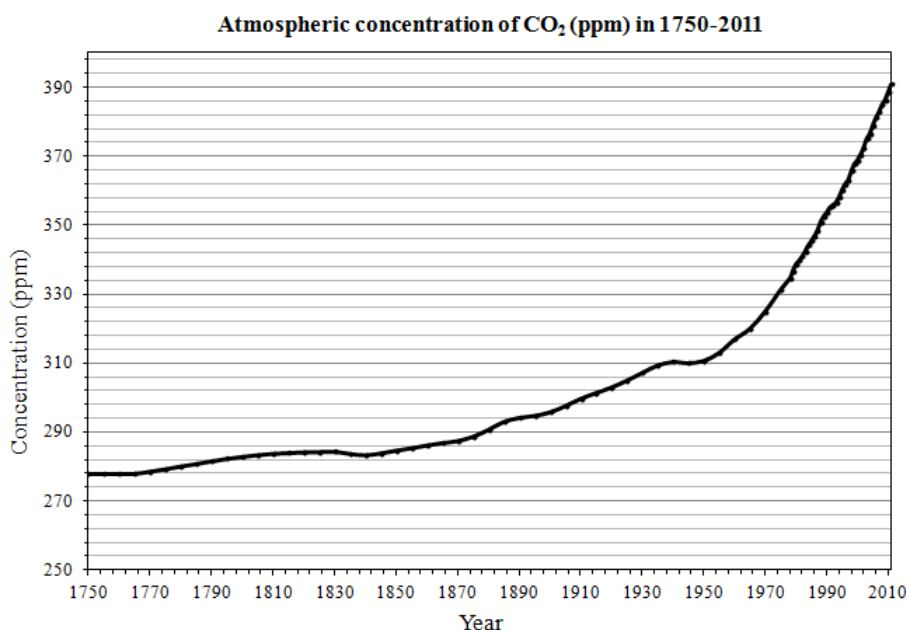
Tabella 1.1: World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of CO₂

	Carbon dioxide (CO ₂),
Pre-industrial levels (1750)	280 ppm
Global abundance in 2011	390.9 ±0.1 ppm
2011 abundance relative to year 1750	140%
2010-11 absolute increase	2.0 ppm
2010-11 relative increase	0.51%
Mean annual absolute increase during last 10 years	2.0 ppm/year

giori cause di aumento delle concentrazione di CO₂ nell'atmosfera. Uno studio dell'organizzazione mondiale meteorologica, figura 1.1, ha dimostrato che nel 2011, rispetto ai dati pre-industriali, sono aumentati i livelli di CO₂ presenti nell'atmosfera del 140%. L'aumento delle emissioni è da ricondurre per il 55% all'uso dei combustibili fossili e per il rimanente 45% al ciclo naturale negli oceani e nella biosfera terrestre. La porzione di CO₂ emessa dai combustibili fossili, che si accumula nell'atmosfera, varia negli anni senza confermare un trend globale. Nel 2011 la media di questo elemento monitorata è stata pari a 390.9 ± 0.1 ppm. L'incremento annuale di 2.0 ppm è più alto del tasso medio di crescita degli anni novanta (pari a circa 1.5 ppm/yr), ma è uguale al tasso di crescita degli ultimi dieci anni. Si può quindi calcolare come ogni anno vengono immessi più di 25 miliardi di tonnellate di CO₂. Nel 2011, è stato calcolato dall'istituto IPCC, in un rapporto del Working Group I, come le emissioni di CO₂ abbiano causato un forzante radiativo pari a 1.68Wm⁻².

La figura 1.4 rappresenta l'andamento della concentrazione di anidride carbonica presente nell'atmosfera negli ultimi 200 anni. Come si può notare, la concentrazione è passata da valori 280 ppm a 390 ppm.

Il **metano** CH₄ rappresenta il secondo responsabile più importante tra i gas serra presenti nell'atmosfera contribuendo, con un valore pari a 18% al forzante radiativo dei restanti gas serra denominati *LLGHGs* (long-lived greenhouse

Figura 1.4: Atmospheric Concentration on CO₂(ppm) in 1750-2011.

gases). Questo gas, chiamato anche idrocarburo gassoso, è generato attraverso la reazione tra batteri. Il metano viene emesso per il 40% da risorse di origine naturale (terreni acquitrinosi, termiti e oceani), mentre l'uomo, con le attività di estrazione mineraria, l'utilizzo dei combustibili fossili, l'allevamento del bestiame, la coltivazione del riso, la combustione delle biomasse e la creazione di discariche, contribuisce per il restante 60% [48] [15]. Anche il metano, come l'anidride carbonica, si sviluppa attraverso un proprio ciclo naturale, della durata di circa 10-15 anni. La quantità di questo gas presente nell'atmosfera varia anche stagionalmente, essendo maggiore in inverno e minore in estate. Ciò che caratterizza il gas CH₄ è la sua capacità di intrappolare energia e calore con un'efficienza molto superiore all'anidride carbonica. Come evidenziato dalla tabella 1.2, nel 2011 il metano presente nell'atmosfera ha superato del 259% il livello dell'epoca pre industriale (pari a circa 700 ppb), attestandosi ad un valore di 1813 ± 2 ppb. L'incremento assoluto rispetto al valore registrato nel 2010 è stato pari a 5 ppb. Nonostante l'aumento della concentrazione di questo gas nell'atmosfera, vale la pena sottolineare come il tasso di crescita sia diminuito di circa 13 ppb

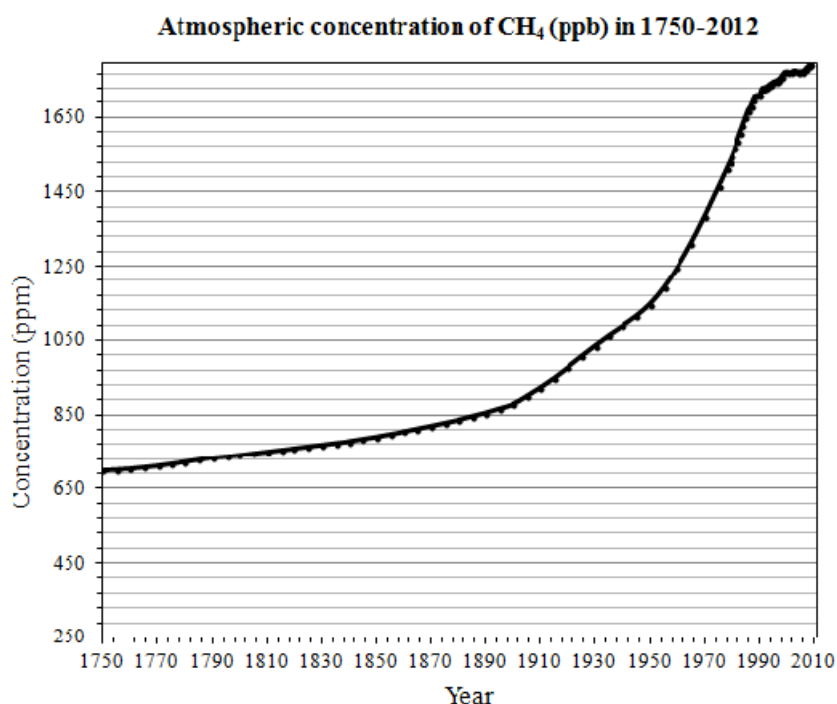
Tabella 1.2: World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of CH₄

	Methane (CH ₄)
Pre-industrial levels (1750)	700
Global Abundance in 2011	1813 ±2 ppb
2011 abundance relative to year 1750	259%
2010-2011 absolute increase	5 ppb
2010-2011 relative increase	0.28%
Mean annual absolute increase during last 10 years	3.2 ppb/yr

annui durante il periodo degli anni '80, attestandosi ad un valore medio durante tutto l'arco temporale 1969-2006. Dal 2007 la concentrazione atmosferica dell'idrocarburo gassoso ha ripreso a crescere, con un tasso pressoché costante negli ultimi 3 anni di analisi (2009-2011).

Come evidenziato dalla figura 1.5, il tasso di crescita del metano è stato variabile nell'arco degli ultimi 200 anni. Nel 1992, i dati medi calcolati in latitudini medio-alte, hanno dimostrato una leggera decrescita. I monitoraggi effettuati dall'autorevole ente interno al World Meteorological Organisation, il *World Data Centre for Greenhouse Gase*, dimostrano come entrambi gli emisferi abbiano registrato un tasso di crescita elevato del gas metano nel 1998, successivamente nell'arco degli anni 1999-2006 il tasso di crescita è stato basso a causa soprattutto del fenomeno di riscaldamento irregolare della superficie marina pacifica chiamato *El Niño*, avvenuto nel biennio 2002/2003.

L'ossido di diazoto N₂O rappresenta il terzo gas serra in ordine di importanza, contribuendo per circa il 6% al forzante radiativo ai *LLGHGs*. Le cause dell'aumento della concentrazione di questo gas nell'atmosfera sono da ascrivere per un 60% a cause naturali e per un approssimativo 40% a cause antropogeniche. L'ossido di diazoto, conosciuto anche come protossido di azoto, viene rilasciato in modo naturale dagli oceani, dal suolo e dalle foreste pluviali, mentre l'attività umana contribuisce alla sua emissione attraverso il trattamento delle biomasse,

Figura 1.5: Atmospheric Concentration on CH₄(ppm) in 1750-2011.

l'utilizzo di fertilizzanti e durante alcune fasi di produzione industriale. La particolarità di questo gas risiede nella sua caratteristica, simile a quella del metano, di assorbire il calore nell'atmosfera in maniera superiore all'anidride carbonica. La concentrazione media di questo gas nell'atmosfera ha raggiunto nel 2011 livelli pari a 324.2 ± 0.1 ppb. Questo valore è superiore al dato monitorato l'anno precedente di circa 1.0 ppb (1.3) e maggiore dei valori pre-industriali (270 ppb) del 120%. Come si può notare dal grafico di figura 1.6, l'incremento medio della concentrazione questo gas ha dimostrato una forte accelerazione negli ultimi 10 anni. Vale la pena sottolineare come il Protossido di azoto giochi un importante ruolo nella distruzione dello strato stratosferico di ozono, il quale protegge la terra dall'irraggiamento dei raggi ultravioletti del sole.

Per concludere l'analisi sui gas serra LLGHG, vale la pena considerare i gas idrocarburi alogenati, in inglese *Halocarbons*. Caratterizzati dalla loro origine

Figura 1.6: Atmospheric Concentration on N₂O(ppb) in 1750-2011

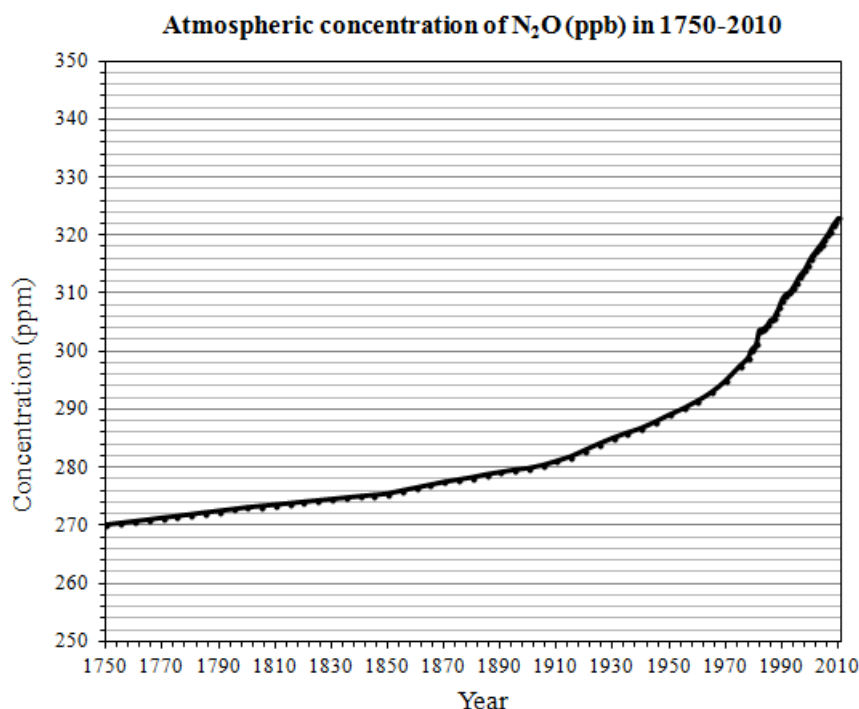


Tabella 1.3: World Meteorological Organization Report November 2012, Global Abundance of N₂O

	Nitrous Oxide N ₂ O
Pre-Industrial Levels (1750)	270
Global Abundance in 2011	324.2±0.1 ppb
2011 abundance relative to year 1750	120%
2010-2011 absolute increase	1.0 ppb
2010-2011 relative increase	0.31%
Mean annual absolute increase during last 10 years	0.68 ppb/yr

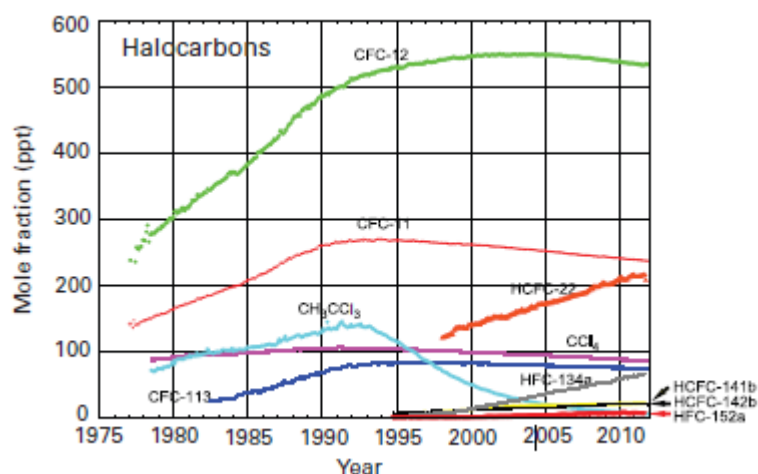
prettamente antropogenica. Questi gas, emessi nell'atmosfera soprattutto nel XX secolo, si qualificano per la loro lunga durata di vita nell'atmosfera. I principali sono:

- **CFC Clorofluorocarburi** sono tra i maggiori responsabili della diminuzione dello strato di Ozono;
- **HFC Idrofluorocarburi** sono gas utilizzati soprattutto negli impianti refrigeranti;

- **SF₆ Esafluoro di Zolfo** è un gas utilizzato nell'industria chimica, negli isolanti elettrici ed apparecchiatura ad alta tensione;
- **PFC Perfluorocarburi** sono gas prodotti nella lavorazione dell'alluminio.

Come è visibile nel grafico di figura 1.7, alcuni di questi gas, CFC fra tutti, ebbero un aumento sostanziale nel corso degli anni 1970-1990 per poi manifestare una lenta, ma continua, diminuzione negli ultimi decenni. Il Protocollo di Montreal del 1987, sulla lotta all'esaurimento dell'Ozono, ed i successivi emendamenti di aggiustamento, hanno consentito il blocco dell'aumento della concentrazione atmosferica di alcuni di questi gas favorendo, invece, l'aumento dell'uso di altre tipologie di gas come HFC e SF₆. Il grafico evidenzia una tendenziale crescita della concentrazione atmosferica del gas HFC, ma non analizza il gas SF₆, i quali valori, secondo le stime dei dati calcolati dal WMO in 20 stazioni di analisi, sono raddoppiati rispetto a quelli del 1990. [48].

Figura 1.7: Atmospheric Concentration Halocarbons



CAPITOLO 2

IL PROTOCOLLO DI KYOTO

2.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo si vuole introdurre l'accordo grazie al quale è stato possibile istituire il mercato delle quote di emissione. Viene illustrato il funzionamento del Protocollo di Kyoto per poi soffermarsi all'analisi della sua implementazione in Europa mediante le direttive degli ultimi anni. Nell'ultima parte del capitolo verrà realizzata un'analisi sugli impegni europei ed il raggiungimento degli obiettivi imposti fino ad oggi.

2.2 IL PROTOCOLLO DI KYOTO

Gli stati industrializzati, riconoscendo di essere stati i principali responsabili dell'aumento dei livelli di gas serra emessi nell'atmosfera nel corso di 150 anni di attività industriali, negli anni '90, si sono riuniti per definire accordi a favore della tutela e salvaguardia del pianeta. Il "Summit della Terra" del 1992 fu il primo incontro mondiale tra capi di stato riuniti attorno ad un tavolo per discutere la tematica ambientale. Il 9 maggio 1992 ebbe luogo a New York la Convenzione quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), nella quale parteciparono la Comunità Europea e rappresentanti di altre 153 Paesi. Essa venne ratificata dalla Comunità Europea nel 1993 ed attuata a partire dal 21 marzo 1994. Gli Stati contraenti decisero di incontrarsi annualmente per discutere e programmare impe-

gni per contrastare il riscaldamento globale. Questi incontri sono chiamati Conferenza delle Parti (*COP*). Durante la Conferenza delle parti del Dicembre 1997, svolta a Kyoto, venne adottata l'omonimo Protocollo, il quale è entrato in vigore solamente nel 2005 a seguito della ratificazione della Russia. Le regole dettagliate per l'implementazione del protocollo furono adottate nella COP 7 a Marrakesh nel 2001. Il primo periodo di impegno (*Commitment Period*) ed applicazione del protocollo di Kyoto è iniziato nel 2008 e concluso nel 2012. Nel Dicembre 2012 a Doha, è stato approvato l'emendamento sul secondo periodo di applicazione del Protocollo, chiamato "*Doha Amendment to the Kyoto Protocol*". L'emendamento ha incluso nuove disposizioni tra le quali:

- nuovo periodo di impegno 2012-2020 per le nazioni Annex I, che desiderano farne parti;
- revisione della lista di Gas Serra monitorati;
- revisione ed aggiornamento di articoli del Protocollo di Kyoto.

Il protocollo di Kyoto ha regolamentato le emissioni di 6 gas serra (GHG):

- Biossido di Carbonio(C_2);
- metano(CH_4);
- protossido di azoto (N_2O);
- idrofluorocarburi(HFC);
- esaluro di zolfo (SF_6).

Durante il primo periodo di impegno, 37 paesi industrializzati si sono adoperati a ridurre le emissioni dei gas sopracitati del 5% rispetto i valori degli anni '90. L'Unione Europea si è imposta la riduzione delle emissioni dell'8%. Durante

il secondo periodo di impegno 37 Paesi si sono assunti il compito di diminuire le emissioni del 18% al di sotto dei livelli del 1990 negli otto anni dal 2013 al 2020.

I paesi impegnati nel rispetto degli obblighi di emissione sono stati suddivisi in Paesi *Annex I*, Paesi *Annex II* e Paesi *Non Annex I*. Dell'Annex I fanno parte i paesi sviluppati appartenenti all'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OECD) e le nazioni dell'Est Europa con economia di transizione. Fanno parte dell'Annex II solamente le nazioni appartenenti all'OECD. I paesi Non Annex I, invece, sono quelli in via di sviluppo senza obblighi di riduzione. Vi sono inoltre 49 Paesi considerati dalle Nazioni Unite "last developed Country" (LDC), paesi in via di sviluppo che godono di particolari limitazioni dovute alle loro scarse possibilità di intervenire nei confronti dei cambiamenti climatici.

2.2.1 I meccanismi di funzionamento del protocollo di Kyoto

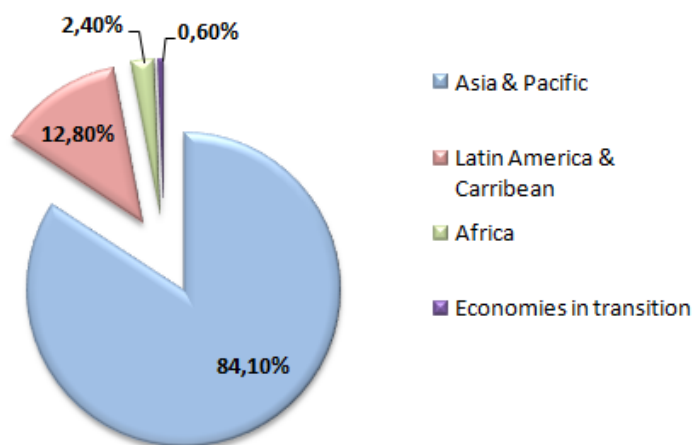
La maggior parte delle Nazioni sottoscrittrici nel Protocollo si impegnano a perseguire obblighi nazionali specifici. Tuttavia, il Protocollo ha individuato tre strumenti finalizzati alla riduzione delle emissioni GHG, questi vengono chiamati "meccanismi flessibili":

- **Joint implementation;**
- **Clean Development Mechanism;**
- **Emission trading scheme.**

Il meccanismo *Clean Development Mechanism* (CDM), definito nell'articolo 12 del Protocollo, consente agli stati industrializzati di realizzare nei paesi Non Annex I progetti per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, ottenendo in questo modo dei crediti di emissione chiamati *Certificatd Emission Reduction* (CER) equivalenti ad una tonnellata di CO₂. [14]. Questi progetti di investimento sono sottoposti ad una rigida procedura regolamentata che va dall'approvazione iniziale del progetto alla certificazione. I crediti possono essere utilizzati per raggiungere

gli obiettivi della normativa sullo scambio di emissioni di cui si parlerà a breve. L'UNFCCC ha stimato che al 2014 circa 2540 progetti sui 7490 registrati abbiano generato crediti CER, pari ad un ammontare di circa 1,451 milioni. [57]. Nella figura 2.1 si può notare la distribuzione dei progetti CDM realizzati nel mondo. La maggior parte dei CER sono generati da progetti di investimento realizzati in Asia, seguita da America Latina, Africa e Paesi in via di transizione economica dell'Est Europa. Il meccanismo *Joint Implementation*(JI) fa riferimento a proget-

Figura 2.1: Distribuzione dei progetti CDM nel mondo, fonte UNFCCC



Fonte: UNFCCC, 30 Aprile 2014

ti congiunti realizzati tra Paesi sottoposti al vincolo di emissione allo scopo di ottenere *Emission reduction units* (ERU). Come per i progetti CDM, anche i progetti JI seguono una procedura rigida e regolamentata definita durante la COP di Montreal del 2005. I progetti JI vengono realizzati all'interno di Paesi industrializzati, ed i crediti ottenuti sono rappresentativi di una tonnellata di CO₂, e possono essere utilizzati per assolvere gli impegni di riduzione delle emissioni. I crediti ERU vengono detenuti principalmente dalla Federazione Russa, Ucraina, Polonia, Germania, Bulgaria e Romania. Il 90% dei progetti sono presentati infatti dal Russia e Ucraina. Al 2014 l'UNFCCC stima che siano stati emessi 853 Milioni di ERU.

Il terzo meccanismo, specificato all'articolo 17 del Protocollo, è l'*Emission Trading Scheme* (ETS). Il commercio delle quote di emissione consente a uno stato, che risparmia permessi di emissione, di rivenderli in un mercato apposito. Poiché l'anidride carbonica (*carbon dioxide*) è il gas serra principale questo mercato viene chiamato "carbon market", ossia mercato del carbonio. All'interno del mercato di emissione le quote di gas serra vengono contrattate come *assigned amount units* (AAU). Il commercio delle dei permessi di emissione di gas serra sarà oggetto di studio approfondito nei prossimi capitoli.

2.3 IMPLEMENTAZIONE DEL PROTOCOLLO DI KYOTO IN EUROPA

Quando il protocollo di Kyoto fu siglato, nel 1998, gli originari 15 stati membri dell'Unione Europea accettarono il target generale di riduzione delle emissioni pari al 8% dei livelli monitorati negli anni novanta. Questi stati inoltre concordarono un accordo chiamato "*Burden Sharing Agreement*", definendo singoli target nazionali, per raggiungere gli obiettivi stabiliti (Direttiva Europea 2002/358/CE) [24]. I tetti massimi riduzione delle emissioni accordati per ogni nazione furono:

Tabella 2.1: Tetti massimi di emissione, anno base 1990

Paesi	Obbiettivi	Paesi	Obbiettivi
Portogallo	- 27%	Grecia	+ 25%
Spagna	+ 15%	Irlanda	+ 13%
Svezia	+ 4%	Finlandia	0%
Francia	0%	Paesi Bassi	- 6%
Italia	- 6,5%	Belgio	- 7,5%
Regno Unito	- 12,5%	Austria	- 13%
Danimarca	- 21%	Germania	- 21%
Lussemburgo	- 28%		

Dal 2003, nuovi stati sono entrati a far parte nell'Unione Europea, e molti dei nuovi aderenti hanno adottato delle norme interne di regolamentazione delle

quote, nel rispetto dei limiti imposti nel Protocollo di Kyoto, il quale è stato ratificato dall'Unione Europea nel 2005. Il tetto massimo di emissione dei gas serra, è stato determinato sulla base delle emissioni presenti durante il periodo di emanazione del Protocollo di Kyoto, fa riferimento ad un determinato livello di sviluppo economico ed industriale nazionale. Per questo motivo vi sono grandi differenze tra i livelli limite imposti tra le varie nazioni e le condizioni di sviluppo attuali. La Commissione Europea ha il compito e responsabilità di implementare gli obblighi di Kyoto attraverso adeguate politiche e misure. Per questo motivo ha istituito il Programma Europeo per il Cambiamento Climatico (*European Climate Change Programme*). Le aziende europee vengono incoraggiate, attraverso appositi incentivi ad aumentare l'energia proveniente da fonti alternative, le biomasse ne sono un esempio, altre misure sono rivolte invece al settore delle costruzioni ed a quello dei trasporti.

2.3.1 Situazione europea nella realizzazione degli obiettivi di Kyoto

Nel Ottobre del 2012, la Commissione Europea ha realizzato una relazione sui progressi realizzati nel perseguimento degli obblighi di Kyoto nell'Unione Europea. Secondo l'istituto Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) [23], l'Unione europea nel 2012 avrebbe ridotto le proprie emissioni di anidride carbonica del 17%, dimostrando di poter raggiungere l'obiettivo del 20% per il 2020.

L'UE dal 2004 ha progressivamente ridotto in maniera lenta le proprie emissioni, uno sguardo speciale va all'anno 2009 durante il quale è stata registrata una straordinaria diminuzione del 7,3% delle emissioni, dovuta alla recessione economica globale. Gli stati entrati a far parte dell'Unione nel 2004 hanno dimostrato un lieve aumento delle emissioni tra il 2009-2012. Mantenendo e rispettando,

tuttavia, le loro politiche energetico-ambientali, si stima che questi stati adempiranno agli obiettivi prefissati di riduzione al 2020, individuati nella strategia Europa 2020.

Si può effettuare un confronto tra i valori relativi alla situazione economica ed ambientale dell'Europa pre-annessione (12 stati nel 2004 e 2007) e post annessione.¹

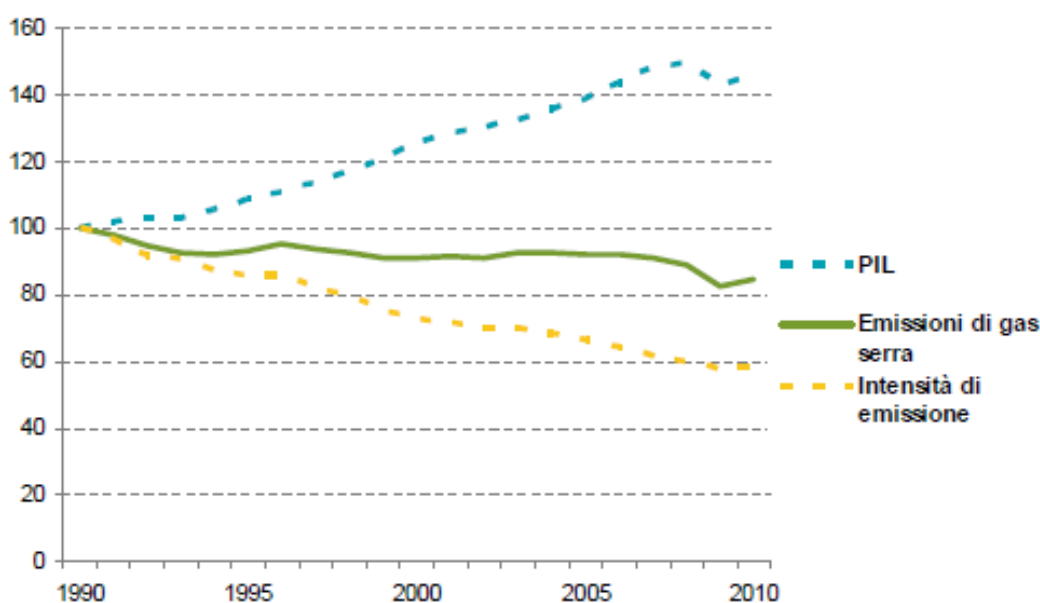


Figura 2.2: Pil ed Emissioni di Gas Serra, Fonte AEA, DG ECFIN, Eurostat

Il Grafico in figura 2.2 mostra l'aumento delle emissioni di gas serra in relazione all'aumento del Pil negli stati europei. Negli ultimi 20 anni il Prodotto interno lordo dell'Unione Europea a 27 stati è cresciuto del 46%, i gas serra in circolazione sono diminuiti del 15%, ugualmente nell'Unione a 15 Stati la crescita è stimabile

¹Attraverso la delibera del 2004, il Consiglio Europeo ha espresso parere favorevole all'annessione di 12 Stati, i quali hanno firmato il trattato di adesione ad Atene nel 2003 ed hanno aderito all'Unione Europea il 1°Maggio 2004. Gli stati che hanno aderito all'Unione Europea nel 2004 sono: Polonia, Cipro, Malta, Slovacchia, Ungheria, Slovenia, Estonia, Lituania, Lettonia, e Repubblica Ceca. Il 1°Gennaio 2007 hanno aderito all'Unione Europea Bulgaria e Romania.

al 41%, con riduzione delle emissioni dell'11%. Germania e Regno Unito sono le nazioni maggiormente responsabili nella generazione di gas serra. Attraverso opportune politiche di miglioramento dell'efficienza nella produzione di energia, una liberalizzazione del settore energetico, un rinnovamento economico ed il passaggio dall'utilizzo di combustibili fossili per la generazione di elettricità a tecnologie *low-carbon*, questi due Stati sono stati in grado di ridurre le proprie emissioni di 483 milioni di tonnellate di Anidride Carbonica dai valori base del 1990. In Spagna, nell'ultimo ventennio, le emissioni sono invece aumentate del 20%, complici la crescita del settore dei trasporti, e lo sviluppo del comparto industriale ed energetico. L'indice di intensità di carbonio (*carbon intensity*) degli Stati membri, calcolato attraverso il rapporto tra emissioni di gas ad effetto serra e Pil reale, si è ridotto in tutti gli stati membri dal 1990 al 2010. I valori maggiori di riduzione si registrano in Estonia, Slovacchia e Romania, Lituania e Bulgaria con riduzioni superiori al 60%. Le emissioni pro capite maggiori nell'Unione Europea (27 Stati), sono state registrate in Lussemburgo, Regno Unito, Germania, Danimarca, Francia, Belgio e Svezia.

Nell'anno 2010, a seguito di un brusco calo della crescita economica, manifestato nel 2008/2009, la produzione e, di conseguenza, le emissioni sono tornate lentamente a crescere in molte nazioni europee. I settori che hanno dimostrato una più alta ripresa sono quello dell'edilizia, del manifatturiero e della produzione di energia termoelettrica. I settori economici che emettono maggiori gas ad effetto serra sono il settore energetico e dei trasporti responsabili per il 70% , seguiti da quello agricolo, industriale e dei rifiuti.

2.3.2 Impegni ambientali promossi dall'Unione Europea

Come visibile dal grafico di figura 2.2, l'Unione Europea è il 3°paese emettitore mondiale di gas serra. Il rapporto redatto dall'istituto Enerdata del 2011 stima infatti come le emissioni europee siano circa 3936 MtCO₂, pari al 13,1% del livello

mondiale. Questo fa sì che le politiche europee negli ultimi anni continuino ad implementare concreti interventi finalizzati al perseguimento degli obiettivi di Kyoto e post Kyoto.

Tabella 2.2: Principali produttori di Gas Serra, fonte YearBook Enerdata 2011

Produttori	MtCO ₂	%
Cina	7678	25,55 %
USA	5270	17,53%
Europa	3936	13,10%
India	1828	13,10%
Russia	1719	5,72%
Giappone	1125	3,74%

Il Consiglio Europeo ha individuato nuovi target, all'interno del **piano clima-energia** impegnandosi al raggiungimento del target 20:20:20.

Entro il 2020 gli stati europei si sono impegnati a:

- ridurre le emissioni del 20%;
- ridurre l'utilizzo dell'energia del 20%, con un incremento l'efficienza energetica;
- aumentare la porzione dell'elettricità generata da fonti rinnovabili del 20%.

All'interno del pacchetto sono contenuti anche altri 6 obiettivi: una revisione del mercato europeo delle quote di carbonio attraverso un sistema di aste, applicazione di limiti alle emissioni statali in settori non regolamentati dal sistema europeo ETS (*Emission Trading System*), procedure di stoccaggio del CO₂, obblighi di utilizzo delle energie rinnovabili, limiti di emissione per le nuove auto prodotte e limitazione delle emissioni nel ciclo di vita dei combustibili.

La programmazione, tramite la strategia sostenibile "**Europa 2020**", approvata dal Consiglio nel 2010, punta ad obiettivi più grandi prevedendo una riduzione delle emissioni del 30%, a condizione che altri paesi sviluppati si impegnino

a perseguire equiparabili azioni entro i propri limiti di potenzialità. La strategia definisce obiettivi climatici ed energetici come la limitazione dei gas di Kyoto del 80-95% entro il 2050 rispetto ai valori del 1990.

All'interno del piano generale di sviluppo sostenibile europeo sono da annoverare ulteriori iniziative. La direttiva IPCC del 2009 obbliga le aziende industriali ed agricole, maggiormente inquinanti, ad adottare interventi interni per la riduzione dell'inquinamento da essi provocato per ottenere la concessione di apposite autorizzazioni.

La Commissione Europea ha presentato un programma chiamato "**Road Map 2050**", nel quale individua un piano di sviluppo sostenibile, attraverso una serie di tappe-obiettivi basati su una progressiva riduzione della dipendenza dalle fonti fossili. È previsto per il 2050 un abbattimento delle emissioni del 80% su dati 1990 da realizzare attraverso 3 tappe intermedie: una riduzione del 25% delle emissioni entro il 2020, una del 40% entro il 2030 e di infine una riduzione del 60% entro il 2040. La limitazione annua stimata è crescente, iniziando dal 1% ed arrivando al 2% annuo. La pianificazione strategica adottata dall'Unione Europea prevede una stima dei costi-benefici generali, degli investimenti necessari, delle emissioni future globali e settoriali ed, infine degli scenari dello *sviluppolow-carbon* in ogni settore economico.

Al fine di raggiungere questi ambiziosi risultati, la Commissione Europea sottolinea l'importanza del sistema ETS (Emission Trading System), il mercato delle emissioni delle quote di carbonio, che dovrebbe promuovere ed incentivare nuovi investimenti nello sviluppo tecnologico.

All'interno della pianificazione sostenibile per il 2050 si possono enucleare ulteriori interventi:

- Roadmap per un utilizzo efficiente delle risorse;

- Libro bianco sul futuro del trasporto ;
- Roadmap Energia 2050.

La Roadmap per l'uso efficiente delle risorse, individua una strategia di sviluppo economico basato su una gestione sostenibile delle risorse materiali e naturali disponibili. Il libro bianco sul futuro del trasporto è un progetto finalizzato alla creazione di un mercato dei trasporti europeo più trasparente e integrato che riduca le emissioni di CO₂ del 60%.

La Roadmap Energia per l'energia, presentata nel 2011 e integrata con la direttiva 2012/27/UE, presenta un piano di riduzione della dipendenza energetica, a favore di uno sviluppo che poggi le basi su un approvvigionamento maggiore di energia generata da fonti rinnovabili per ridurre le emissioni del 80% entro il 2050. Attraverso il conseguimento degli obiettivi prefissati, come la strategia Energia 2020, gli investimenti in infrastrutture e fonti rinnovabili si prevede una decarbonizzazione di tutto il settore energetico.

2.3.3 Impegni Europei post-Kyoto

L' *United Nation Framework Convention on Climate Change* (Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sulla lotta ai cambiamenti climatici), organizza incontri annuali dal 1992, tra gli stati che intendono impegnarsi per la salvaguardia dell'ambiente e la lotta al riscaldamento climatico. In questi incontri, i quali prendono il nome di Conferenze delle Parti (COP), vengono ridefiniti ogni anno obiettivi e strategie climatiche comuni vincolanti. Le conferenze della COP 17^e e COP 18^o di Doha e Durban hanno definito l'impegno Europeo per la 2^o fase del Protocollo di Kyoto ed intrapreso importanti procedure per la definizione di un nuovo e delicato accordo globale il quale debba entrare in vigore dopo il 2020 e

da condursi durante la COP 20 del 2015 in Francia. Solamente un limitato gruppo di attori politici rappresentanti il 15% delle emissioni globali hanno assunto gli impegni per la prosecuzione post 2012 degli obblighi stabiliti nel Protocollo di Kyoto. I restanti attori sono favorevoli alla definizione di un diverso accordo nel 2015. L'Unione Europea è l'unico attore mondiale ad aver avviato progetti di riduzione per gli stati membri, attraverso il pacchetto clima-energia 20-20-20, e ad aver deciso di ammettere il settore aereo all'interno della regolamentazione delle emissioni tramite il mercato di scambio EU ETS.

2.3.4 Raggiungimento degli obiettivi europei

L'Agenzia Europea per l'ambiente (AEA) realizza ogni anno un report sul perseguimento degli impegni europei di Kyoto (2008-2012), il piano Clima Energia 2020 (Trends and projections in Europe 2013). Nel recente report viene evidenziato come l'Unione Europea stia raggiungendo e superando i livelli di riduzione, imposti nel protocollo di Kyoto. Nel periodo 2008-2012, le emissioni medie degli Stati europei (EU-15)² sono state ridotte del 12,2%, pari a -236 MtCO₂ emissioni annue. La riduzione annua, nei settori non regolamentati dal mercato di scambio delle quote di carbonio è stata pari a 95 MtCO₂, pari al 2,2% rispetto i valori degli anni '90. È importante prestare attenzione agli effetti delle attività "carbon sink", ossia l'assorbimento delle emissioni di CO₂ mediante la crescita delle superfici coperte da foreste, le quali attività hanno contribuito ad una riduzione di 64 MtCO₂ annue (1,5% EU-15) nel periodo 2008-2011. Le aspettative di riduzioni annue delle emissioni nei paesi EU-15, mediante l'utilizzo di meccanismi flessibili di Kyoto, sono pari a 81 MtCO₂. Nella figura 2.3 vengono riportati gli andamenti e le previsioni relative alle emissioni di gas GHG europee. [6]

Se manterranno gli impegni prefissati e gli standard finora raggiunti, l'AEA

²l'acronimo EU-15 indicare i paesi appartenenti all'Europa prima del 2004 e sottoscrittori del protocollo di Kyoto

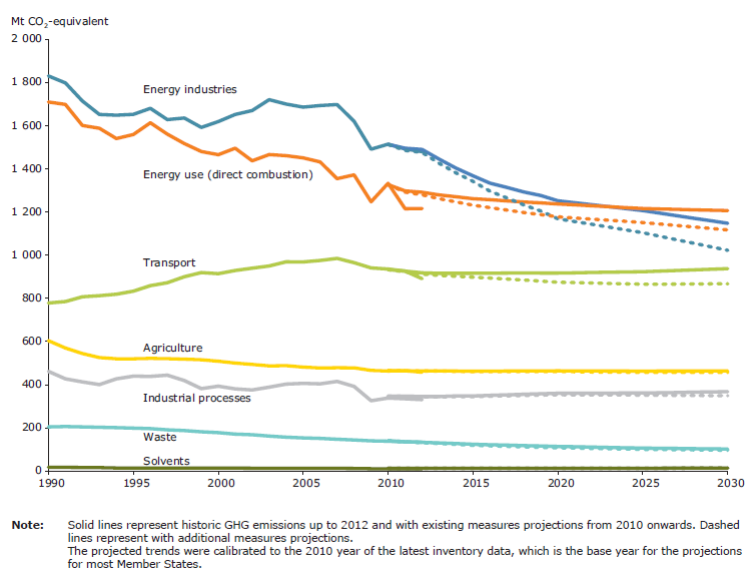


Figura 2.3: Andamento e revisioni di emissione gas GHG Europa, fonte European Environment Energy 2013

stima che maggior parte delle nazioni europee (EU-26³) riusciranno a raggiungere i target nazionali prestabiliti. Alcune di queste nazioni saranno in grado di ridurre le emissioni ricorrendo principalmente alle attività domestiche tra le quali figurano gli investimenti nel settore dei trasporti o industriale.

Nel report *“Trends and Projections in Europe 2013”* [6] il giudizio sul perseguimento degli obblighi intrapresi nel piano clima-energia 20:20:20 è positivo. La riduzione dei gas GHG nell’atmosfera, nel periodo 2011-2012, è stata pari all’1%. Mantenendo questi livelli più del 20% delle emissioni verranno ridotte prima del 2020.

Rispetto gli impegni di utilizzo delle fonti rinnovabili (Renewable Energy Directive, RED), l’Europa nel periodo 2011-2012 ha raggiunto quota 10,8%, rendendo l’obiettivo del 20% plausibile entro il 2020. È necessario che gli stati europei duplichino l’uso delle energie generate da fonti rinnovabili, in confronto ai valori registrati nell’arco temporale 2005-2011, avvalendosi di adeguati interventi legislativi e predisponendo maggiori incentivi.

³l’acronimo EU-26 raggruppa i paesi appartenenti all’Unione Europea, con l’aggiunta di Islanda, Liechtenstein, Norvegia e Svizzera

Tutti gli Stati europei, ad esclusione di Croazia e Slovenia, hanno definito obiettivi in merito all'implementazione dell'efficienza energetica (Energy Efficiency Directive, EED). Importanti risultati di progressiva riduzione del consumo di energia sono stati ottenuti da Bulgaria, Danimarca, Francia e Germania mediante investimenti nei principali settori energetici ed industriali. Nonostante taluni Stati non dimostrino risultati positivi nel perseguimento di alcune politiche, (a titolo di esempio la Spagna nel rispetto dei target nazionali di riduzione delle emissioni GHG e nell'efficienza energetica), nessuna nazione europea fallisce nei tre ambiti di applicazione del pacchetto Europa 20:20:20. [6]

CAPITOLO 3

IL MERCATO DELLE EMISSIONI

3.1 INTRODUZIONE AL MECCANISMO CAP-AND-TRADE

Per rispettare gli obiettivi di riduzione delle quote di anidride carbonica in atmosfera, nel rispetto dei vincoli imposti a seguito della sigla degli accordi internazionali, è necessaria una lenta ma decisa manovra verso uno sviluppo economico con un basso impatto ambientale. Uno sviluppo economico che poggi su fondamenta di investimenti in tecnologie a basso uso di carbone, "*low-carbon Technology*", con una ridotta emissione dei Greenhouse Gas (GHG). I progetti finalizzati alla riduzione degli effetti del cambiamento climatico, si concentrano sull'ammontare delle emissioni di GHG, e quindi sulle attività antropogeniche legate al loro forte incremento.

Per favorire la trasformazione ad una economia *low-carbon*, sono necessari dei piani di sviluppo a basso impatto ambientale. Processi orientati alla creazione di una piattaforma comune favorevole alla realizzazione di adeguate politiche e investimenti *low-carbon*. Il report redatto dall'economista Nicholas Stern nel 2006, conosciuto come *Stern Review*, ha definito i tre pilastri (3.1) di interventi fondamentali che i policy maker devono implementare per sviluppare economie *low-carbon*. I tre pilastri sono:

- Definizione di un prezzo per le emissioni di carbonio;

- Supporto agli investimenti in nuove tecnologie a sostegno di un nuovo modello di sviluppo economico;
- Sviluppo di una programmazione politica ben definita, mediante una regolamentazione condivisa da attori pubblici e privati, che sfrutti le sinergie positive eliminando le barriere di mercato.

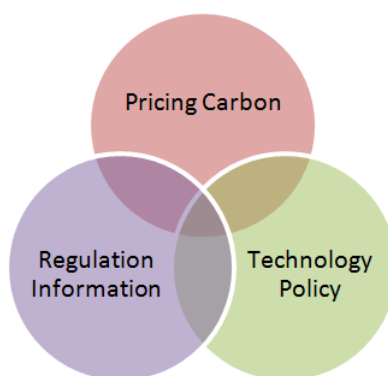


Figura 3.1: Three Pillars of Climate Policy

La definizione di un prezzo di mercato delle emissioni di carbonio rappresenta un importante strumento di lotta all'aumento della concentrazione di GHG nell'atmosfera. Il primo grande tentativo di determinazione dei prezzi delle emissioni è stato fatto attraverso la creazione del piano di commercio delle emissioni in Unione Europea. In questo piano è stata stimata una riduzione delle emissioni da parte di settori sottoposti alla normativa di regolamentazione di circa il 2,5-5% nel 2005 [31]. L'importanza della definizione di un prezzo alle emissioni deriva dall'assunto già verificato del legame tra il prezzo dell'energia e il suo consumo. È comprovato da studi scientifici, eseguiti dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OECD), come 1 punto percentuale di aumento del prezzo dell'energia faccia ridurre nel breve e lungo termine il consumo di energia per unità di produzione e quindi l'inquinamento; la definizione di un prezzo nel carbonio determina quindi conseguenze dirette nelle emissioni. L'incentivo all'utilizzo di sostituti a basso consumo di fonti fossili è stato uno dei

più importanti contributi alla riduzione delle emissioni introdotti negli anni iniziali del mercato europeo EU-ETS. Il settore dell'elettricità fornisce un esempio importante: l'utilizzo di gas naturale invece del carbone, per la creazione di energia, può ridurre le emissioni del 50% per unità di energia elettrica prodotta [45]. Nel settore della produzione di energia, la definizione del prezzo delle emissioni rende la produzione di energia basata sull'utilizzo di combustibile fossile costosa, al punto da favorire lo sviluppo di investimenti in tecnologie alternative. La teoria riportata nella *Stern Review* suggerisce, quindi, la definizione del prezzo del carbonio per una riduzione delle emissioni future in virtù del legame tra prezzo del carbonio e prezzo dell'energia.

Il secondo pilastro è rappresentato dallo sviluppo di nuove tecnologie. Governi nazionali, attraverso opportuni investimenti e finanziamenti alla ricerca e sviluppo, devono implementare nuove tecnologie condivisibili per creare sinergie efficienti tra settori pubblici, centri di ricerca ed attori privati. Quanto maggiori saranno le risorse che gli investitori e le imprese dedicheranno allo sviluppo e miglioramento dei prodotti *low-carbon* tanto più promettenti saranno le prospettive del mercato futuro. Importante è la creazione di un mercato comune, che permette di ridurre la dipendenza dall'utilizzo di fonti inquinanti.

L'ultimo pilastro sottolinea l'importanza della definizione di una regolamentazione, di un sistema informativo e di strumenti di misurazione atti a implementare politiche di riduzione delle emissioni abbattendo le barriere presenti nel mercato. Hasset e Metcalf nel libro "*Energy Conservation Investments*" [38] individuano tra le barriere allo sviluppo di una realtà *low-carbon* l'inadeguatezza informativa, il limitato interesse, lo scarso accesso a prodotti *low-carbon* e l'insufficiente credito a favore in investimenti per lo sviluppo di progetti basati su di energie efficienti. Karsten Neuhoff, nel suo libro *Climate Policy*, rimarca il ruolo chiave dei governi nazionali nella creazione di framework, indispensabili per incoraggiare politiche di efficienza energetica, politiche di riduzione dell'inquinamento ed ac-

cordi di cooperazione internazionale. La creazione del mercato delle quote di carbonio rappresenta solo una delle tante opzioni messe in atto per contrastare i cambiamenti climatici. In ogni paese vengono incentivati vari tipi di meccanismi atti a ridurre le emissioni GHG, innumerevoli sono i progetti impartiti da settori privati, governi o organismi internazionali.

Nel settore del trasporto, da molti anni i governi nazionali impongono limitazioni specifiche alla produzione e vendita di veicoli. Lo scopo è quello di dotarsi di una infrastruttura di produzione meno inquinante, di controllare l'inquinamento dei veicoli, di aumentare l'efficienza d'uso dei carburanti ed infine cercare di ridurre la dipendenza dal petrolio. Il settore delle costruzioni, invece, è sottoposto solo recentemente ad una normativa di standard di risparmio nelle emissioni, mentre, il settore energetico ha una regolamentazione molto più dettagliata. Basti citare, come negli Stati Uniti, ad esempio, già negli anni '70 venne emendata "*The Clean Air Act*", stabilendo un rigido controllo nelle emissioni inquinanti degli impianti di produzione energetica tramite il carbone [59]. Anche tutti gli altri settori inquinanti stanno perseguendo un processo di riduzione crescente. I governi internazionali sono impegnati nella legiferazione di direttive al fine di ridurre le emissioni di GHG nei settori agricoli, forestali, della gestione dei rifiuti ed in altri settori industriali.

In alcuni Stati, la gestione delle discariche si deve adattare a specifiche direttive finalizzate al monitoraggio della sicurezza interna, il controllo dell'inquinamento e la riduzione delle emissioni. In un numero sempre crescente di discariche viene installato un meccanismo per il controllo del metano. Nel settore agricolo, nel 1991 l'Unione Europea ha introdotto una direttiva che regola l'utilizzo di determinati fertilizzanti nei terreni coltivabili al fine di prevenire l'accumulo di gas serra, come l'Ossido di Azoto. Sempre più fondi pubblici sono invece destinati alla ricerca nell'ambito della geo-engineering. Si tratta di progetti di alterazione del clima, piuttosto che progetti di mitigazione antropogenica del-

le emissioni. I principali approcci seguiti hanno ad oggetto: l'aumento dell'albedo della superficie della terra e l'aumento della riduzione naturale dell'anidride carbonica nell'atmosfera.

I meccanismi messi in atto dai governi nazionali si possono raggruppare in due gruppi: politiche "**market-based**", e politiche "**Command and Control**". Tutti i meccanismi sopra citati si possono riassumere in interventi "command and control". Queste politiche includono tutte quelle azioni attivate da un governo, come le direttive in ambito tecnologico, di processi industriali, tassazione, definizione di standard, supporto alla ricerca e sviluppo al fine di ridurre l'impronta umana nell'ambiente. Queste linee di governo definiscono obiettivi specifici perseguiti dagli attori interessati.

La politica di definizione del prezzo delle emissioni di carbonio, la quale ha favorito la nascita dei mercati di scambio delle emissioni di gas serra, è una politica "market based". Questa strategia trae nel libero scambio di mercato, ritenuta la forma più efficiente di gestione dell'economia da Adam Smith, i maggiori vantaggi. Gli obiettivi principali di riduzione delle emissioni sono raggiunti attraverso la definizione di un prezzo nel carbonio, determinato mediante il libero incontro di domanda ed offerta di permessi ad inquinare sottoposti a determinati attori i quali devono rispettare alcuni tetti massimi di emissione, tutto ciò promuove uno sviluppo efficace ed efficiente nei settori pubblici e privati dove vengono individuate vie *low-cost* allo sviluppo di nuove tecnologie.

3.2 MECCANISMI CAP-AND-TRADE

Governi europei, dopo gli accordi negoziati nei vari incontri internazionali, hanno siglato alcuni impegni di riduzione delle emissioni. Questi limiti di emissione dei gas serra GHG vengono chiamati in lingua inglese "*cap*". I limiti *cap* si applicano ad un insieme di emissioni aggregate emesse da alcune tipologie di settori

industriali sottoposti al programma di riduzione. I governi sottopongono un insieme finito di permessi, chiamati “*allowance*” eguali al tetto massimo di emissioni coperti dal *cap*. Le aziende sottoposte alla regolamentazione devono rendere un numero di concessioni *allowance* pari alle tonnellate delle loro emissioni, ma sono anche liberi di commercializzare tra di loro questi permessi, cosicché si crei uno scambio tra chi ne dispone in eccesso e chi ne vuole far richiesta aggiuntiva. Attraverso il meccanismo di offerta e domanda di *allowance* si viene a determinare il prezzo dei permessi di emissione. L'ammontare di offerta è determinato dal numero di *allowance* attribuite dal governo (*the Emission Cap*). La domanda, invece, corrisponde alle emissioni residue che le aziende sottoposte al programma, dopo aver implementato progetti di riduzione degli agenti inquinanti, stimano di voler emettere. La domanda è sottoposta ad una variazione durante il tempo, che dipende da fattori, quali la crescita economica e la domanda di energia. L'analisi del legame tra domanda di mercato, prezzo del carbone e mercato energetico verrà affrontata nei prossimi paragrafi oggetto di analisi econometrica del mercato delle emissioni europeo.

Si può riassumere come i sistemi cap-and-trade poggino le loro fondamenta su quattro componenti:

- L'autorità governativa determina un limite massimo di emissioni inquinanti cap e definisce un corrispettivo volume di concessioni allowance;
- Le concessioni vengono distribuite alle aziende gratuitamente o attraverso aste;
- Le concessioni vengono commercializzate liberamente nel mercato;
- Le emissioni durante l'arco di tempo della loro validità vengono monitorate, al termine le singole aziende devono corrispondere al governo un nu-

mero di concessioni corrispondenti al volume emesso e possono depositare le rimanenti *allowance* non utilizzate, per il periodo seguente.

Come già riportato nel capitolo precedente è necessario ricordare come gli stati in via di sviluppo non siano sottoposti a normative e meccanismi di cap-and-trade, essi partecipano al progetto internazionale di riduzione dei cambiamenti climatici solamente attraverso il programma chiamato “Clean Development Mechanism”. Gli impianti sottoposti al controllo partecipano al meccanismo di commercio delle quote di carbonio vendendo ed utilizzando crediti (CER) realizzati mediante progetti di riduzione delle emissioni ai paesi già sviluppati.

3.2.1 Mercati cap-and-trade nel mondo

Nel mondo operano varie tipologie di sistemi cap-and-trade, chiamati “Emission trading schemes” (ETS). Essi differiscono per tipologia, numero di paesi, attori interni coinvolti, struttura di funzionamento, volume di affari e scopi. Alcuni di questi schemi, sono realizzati da stati sottoposti agli impegni di Kyoto, altri invece si applicano a nazioni che non hanno ratificato il protocollo come ad esempio Stati Uniti e Australia.

Queste differenze strutturali sono visibili nelle tabelle 3.1 e 3.2 dove viene eseguita una breve descrizione di alcuni dei più importanti schemi attivi ed operanti nel mondo. Il mercato europeo EU ETS sarà oggetto di una dettagliata analisi nei capitoli successivi.

Una doverosa attenzione deve essere prestata, anche, ad altre tipologie di schemi operanti come quelli volontari attivi in Giappone, Svizzera, agli schemi nazionali interni come il “*California’s Cap-and-Trade Program*” e “*Québec Cap-and-trade System*” ed a quelli che si stanno realizzando nei paesi emergenti come Cina e Corea.

Tabella 3.1: Mercati ETS nel Mondo: RGGI e NZ ETS.

	RGGI - Regional Greenhouse Gas Initiative	NZ ETS NEW ZELAND
Nazioni e Regioni partecipanti	Nazioni Stati Uniti d'America: Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Rhode Island, Vermont	Nuova Zelanda
Settori Regolamentati	Generatori di energia elettrica alimentati da carburanti fossili con capacità superiore ai 25 MW	Fase 1: settore forestale; Fase 2: settore trasporti; Fase 3: impianti energetici, processi industriali, estrattivi; Fase 4: settore agricolo; gestione dei rifiuti.
Emissioni Regolate	Emissioni di Anidride Carbonica CO ₂	6 Gas Serra regolamentati da Kyoto: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ .
Periodo di Attività	2009-2020	Fase 1: 2008-2009; Fase 2: 2009-2010; Fase 3: 2010-2012; Fase 4: 2013-2020.
Obiettivi di riduzione	Ogni stato prevede una riduzione del 2,5% annua dal 2015-2020; Riduzione pari al 10% dei livelli del periodo 2009-2014 entro il 2018.	Riduzione delle emissioni del 10-20% per il 2020, riduzione del 50% entro il 2050.
LIMITI DI EMISSIONI NEL MERCATO	Stabilizzazione delle emissioni fase iniziale 2009-2014. Programma 2014 RGGI ha stabilito un livello limite pari a 91 milioni di tonnellate americane (short ton) di emissioni entro il 2020.	Non vi sono limiti massimi. Il settore Elettrico non è stato incluso nel mercato. Le aziende possono emettere un ammontare pari alle autorizzazioni che detengono.
Modalità di allocazione	89 % allocate tramite aste quadrimestrali, 1% allocazioni a prezzo fisso, 10% gestita dai singoli stati	Nella fase 1 le concessioni sono gratuite, nella fase 2 vengono emesse attraverso aste, nella fase 3 vengono concesse liberamente nel settore dei processi industriali, nella fase 4 solo 90% delle concessioni sono libere per il settore agricolo.
Unità di analisi	1 short ton CO ₂ (equivalente a 0,90 metric ton)	1 metric ton CO ₂
Periodo di adattamento	Primo periodo Gennaio 2009-Dicembre 2011, secondo periodo Gennaio 2012 - Dicembre 2014	1 anno
Offset	Crediti accettati da programmi realizzati nelle centrali di produzione elettrica delle nazioni appartenenti al mercato.	Uso illimitato di Crediti CERs (CDM Credits), RMUs (Forestry Credits), ERUs (JI Credits) e AAUs (Assigned Amount Units).

Tabella 3.2: Mercati ETS nel Mondo: KAZ ETS e Tokyo ETS

	KAZ ETS Kasakhstan Emis- sion Trading Scheme	Tokyo -ETS
Nazioni e Regioni partecipanti	Kazakhstan	Area metropolitana di Tokyo : Tokyo, Saitama, Kyoto
Settori regolamentati	Settore Agricolo, trasporti, petrolio, gas, industri estrattiva, metallurgica, settore chimico e settore energetico.	Insallazioni industriali e strutture che utilizzano più di 1500 Kl di petrolio all'anno
Emissioni regolamentate	Emissioni Di Anidride Carbonica CO2	Emissioni di Anidride Carbonica CO2
Periodo di attività	Fase Pilota 2013; Fase 2: 2014-2020.	Fase 1: 2010-2014 Fase 2: 2015-2019
Obbiettivi di riduzione	Riduzione del 7% delle emissioni rispetto ai valori del 1990 entro il 2020. Riduzione 25% livelli del 1992 entro il 2050.	Riduzione del 25% rispetto i livelli degli anni 2000 entro il 2020
Limiti di emissioni nel mercato	Limite di 147 MTCO2e nel 2013	Fase 1: 2010-2014 Fase 2: 2015-2019
Modalità di allocazione	Allocazione libera determinata sulla base di emissioni storiche.	Fase 1: riduzione del 6% delle emissioni rispetto l'anno base. Fase 2: riduzione programmata del 17%.
Unità di analisi	1 metric ton CO2	1 metric ton CO2
Periodo di adattamento	Fase pilota della durata di 1 anno	Fase pilota iniziale della durata di 5 anni
OFFSET	Uso di offset del mercato interno KAZ ETS	Uso illimitato dei crediti offset derivanti dalle diminuzioni registrate nel settore industriale metropolitano

All'incontro mondiale tenuto a Copenaghen, nel 2009, il paese del Sol Levante ha stabilito di ridurre le proprie emissioni del 25% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2020, lo stato intende perseguire questo risultato attivando un piano attraverso vari mercati del carbonio. Dal 2005 in Giappone è attivo uno schema volontario che ha coinvolto 389 organizzazioni ed ha raggiunto importanti obbiettivi di riduzione, a questo schema si sono aggiunti due nuovi progetti volontari destinati, attraverso il finanziamento e supporto alle piccole imprese e società civile, all'ot-

tenimento di crediti di emissione. Attraverso la fusione, nel 2013, di questi due schemi, è stato creato il J-Credit-Scheme.

In Svizzera nel 2011 venne deciso di interrompere gradatamente la dipendenza dall'energia nucleare, pianificando uno sviluppo più sostenibile tale da permettere una riduzione delle emissioni del 20% entro il 2020 rispetto ai livelli del 1990. Dal 2013 è attiva "*The Swiss CO₂ Act*", volta alla creazione congiunta di un commercio volontario di emissioni, una tassazione, un piano di compensazione del carbonio ed altre misure ambientali. Il mercato delle emissioni svizzero è attivo dal 2008 e coinvolge aziende che superano determinati livelli di inquinamento, ma è offerta la possibilità per talune aziende di entrare nel programma in modo volontario. Vengono distribuiti i permessi di emissione *allowance* liberamente ed per mezzo di aste. [30]

Il mercato cap-and-trade californiano è molto recente. In quanto attivo solo dal 2012 è arduo procedere ad analisi e commenti sulla sua performance. I settori sottoposti al controllo variano da quello elettrico, al settore industriale che comprende impianti cementifici, raffinerie, trattamento di calcari e acido nitrico. I soggetti coinvolti sono sottoposti al controllo di tutti i sei gas serra di Kyoto. Il limite massimo stabilito nel 2013 (*cap*) è pari a 162 MTCO₂e, il quale rappresenta il 35% delle attuali emissioni californiane. È importante prestare attenzione all'esempio californiano in quanto è in atto un progetto di collegamento chiamato "*linking*" con il mercato delle emissioni canadese del Québec a partire dal 2013. Questi due mercati presentano lievi differenze ma simili caratteristiche tecniche di funzionamento. Mediante in *linking* gli offset domestici vengono resi fungibili in entrambi i mercati indistintamente. Questo progetto di connessione dovrebbe ridurre la volatilità dei prezzi.

Partecipando al piano americano “*Western Climate Initiative*”, congiuntamente alla California, il Québec ha attivato, sin dal 2013, un mercato del carbonio. Questo mercato è sottoposto al controllo di gas di Kyoto, con l’aggiunta del trifluoruro di azoto (NF₃). Vengono monitorate 75 aziende appartenenti ai settori elettrici, industriali e manifatturieri che superano determinati livelli di emissione. Questo programma si impegna a favorire una riduzione del 20% delle emissioni a livello nel 1990 entro il 2020.

3.2.2 Mercato ETS nei paesi emergenti : Caso Cina e Corea

La Cina ha dimostrato una crescita economica sostenuta negli ultimi 20 anni, divenendo una delle potenze economiche più influenti al mondo. La crescita economica ed il costante sviluppo del settore industriale ha portato ad una domanda sostenuta di materie prime, ed energia, che ha causato un livello di emissioni di gas GHG molto elevato. Questi preoccupanti dati relativi all’inquinamento hanno costretto la Cina, sotto pressione delle istituzioni internazionali, ad attuare piani politici ed iniziative a favore di uno sviluppo più sostenibile per contrastare il riscaldamento globale. Nel suo 12° programma di pianificazione economica quinquennale (2011-2015), si è impegnata a ridurre entro il 2015 su valori base al 2010 del 17% delle emissioni CO₂ per unità di prodotto interno lordo (chiamato in termini economici “*carbon intensity*”). Affianco ai molteplici iniziative locali ed ai progetti volti alla creazione di un mercato nazionale, sono in via di sviluppo 6 schemi regionali per il commercio delle quote di carbone. La Municipalità di Beijing è la prima ad aver attivato un progetto pilota, prevedendo dei limiti massimi e coinvolgendo circa 450 aziende [60]. Le altre aree che hanno attivato i piani sono Shanghai, Guandong, Tianjin, Shenzhen e Hubei. Il mercato di Shanghai è molto sviluppato, coinvolge 191 aziende appartenenti ad alcuni tra i settori più inquinanti come quello siderurgico e dell’aviazione.

La Repubblica di Corea è stata la prima nazione appartenente agli stati non inclusi nell'Annex I, ad istituire in modo obbligatorio un mercato ETS ed un mercato volontario per il controllo delle emissioni di gas serra. La nazione ha dichiarato di voler ridurre le emissioni del 30% rispetto i valori 2013 presenti entro il 2020. Il mercato, istituito dal 2012 ma attivo dopo una fase pilota solo dal 2015, coprirà tutti i gas regolamentati da Kyoto monitorando il 60% delle emissioni di gas serra nazionali.

Sostenuti da forti politiche internazionali, i mercati internazionali cap-and-trade sono in forte espansione e coinvolgono un numero crescente di nazioni, rendendolo un fenomeno globale. I motivi dell'introduzione del mercato ETS nelle agende nazionali si possono ritrovare nella nuova attenzione rivolta al fenomeno del cambiamento climatico e nella volontà di trarre un vantaggio economico nella istituzione di mercati di scambio. Le nazioni vedono nella determinazione del prezzo del carbonio una opportunità, attraverso le sue ricadute positive sull'efficienza industriale, e sviluppo tecnologico. I mercati, descritti in questo paragrafo, si stanno adattando alle differenti capacità nazionali, agli obblighi internazionali ed alla situazione economica mondiale. Nel seguente figura 3.2 viene riportata una elaborazione realizzata dall'istituto IETA (International Emissions Trading Association) che si occupa dell'analisi dei mercati internazionali sulle emissioni di gas serra. Il grafico mostra la crescita dei mercati a partire dal 2002. La linea verde rappresenta la proporzione di emissioni CO₂ derivanti dai settori energetici ed industriali che sono state monitorate ottenendo una stima quantitativa e di prezzo. La linea blu, indica la proporzione di emissioni di CO₂ derivanti dai medesimi settori verificate attraverso il sistema di prezzamento del mercato ETS. La differenza tra le due linee è dovuta alle diverse politiche nazionali ed alle emissioni non regolamentate dei mercati ETS. Nella figura vengono indicati, attraverso delle frecce, i mercati di scambio e i permessi di emissione attualmente

presenti.

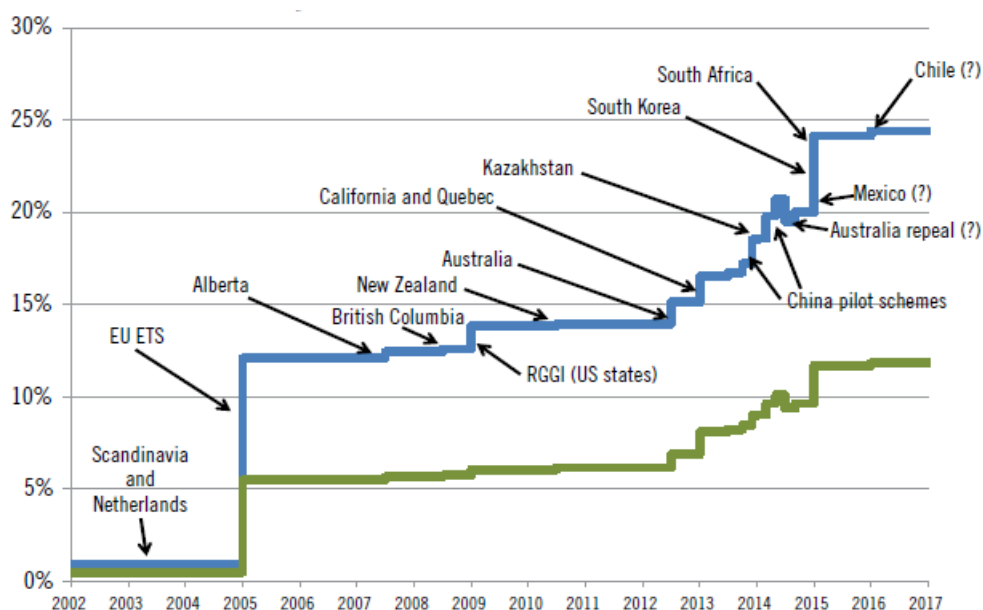


Figura 3.2: Emission markets and control, IETA association

3.3 IL MERCATO EUROPEO EU ETS

3.3.1 Le direttive europee per l'istituzione del mercato EU ETS

Il sistema di commercio delle quote di carbonio, rappresenta, uno dei meccanismi predisposti dal Protocollo di Kyoto per contrastare il cambiamento climatico globale definiti nell'articolo n°17. Sebbene il meccanismo di mercato per il controllo dei Gas Serra (GHG), sia stato istituito e predisposto mediante la decisione della Commissione Europea 93/389/CEE del 1993, solo nel 2003 grazie alla Direttiva della Commissione Europea n°87, viene istituito formalmente il meccanismo "cap and trade" europeo: il Mercato EU ETS (*European Union Greenhouse Gas Emission Trading System*). In questa direttiva vengono individuate le caratteristiche generali di funzionamento del mercato attraverso l'istituzione di Mercati Nazionali per la compravendita di emissioni, vengono individuati i limiti massimi di emissione per ogni impianto regolamentato dal protocollo di Kyoto e le modalità di assegnazione delle quote. Il sistema di monitoraggio verrà spiegato in maniera

dettagliata nel paragrafo successivo.¹

La Direttiva 101 del 2004 [27], chiamata *linking Directive*, integrando la direttiva 2003/87/CE del 2003, ha istituito un legame di scambio tra il mercato EU ETS ed i meccanismi flessibili del Protocollo di Kyoto. Questa norma è stata molto significativa poiché ha permesso, grazie al collegamento tra i due sistemi di regolamentazione, la possibilità di utilizzare specifiche porzioni di crediti generati dai meccanismi dell'attuazione congiunta (JI) e meccanismi di sviluppo pulito (CDM), al fine di soddisfare i loro obblighi nel mercato europeo ETS. Il limite di utilizzo delle quote è determinato dai Piani Nazionali di Allocazione, e le quote derivanti da progetti JI e CDM devono essere richieste in maniera straordinaria rispetto alle azioni che il soggetto economico richiedente può avviare per ridurre le emissioni inquinanti. Questo ultimo principio, definito in termini percentuali solo recentemente, ha come scopo quello di incentivare progetti di rinnovamento tecnologico e produttivo interni da parte dei soggetti sottoposti alla normativa preferibilmente al loro ricorso ad investimenti in progetti alternativi a costi più convenienti in paesi meno sviluppati. [14]

Una Delibera della Commissione Europea del 2006 richiede a Grecia, Lettonia, Lussemburgo, Lituania, Irlanda, Germania, Slovacchia, Regno Unito, Malta e Svezia un utilizzo dei crediti CER e ERU, derivanti da meccanismi flessibili del Protocollo di Kyoto, limitata ad un massimo del 7% dei loro livelli di emissione.

Nel 2004 venne creato un sistema standardizzato comune di registrazione, chiamato CITL, Community Independent Transaction Log. In questo modo i Registri Nazionali delle quote di emissioni (NAP National Allocation Plans) degli

¹Direttiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 ottobre 2003 che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio

Stati Europei vennero implementati in un unico sistema per favorire uno scambio più trasparente e regolamentato.

La Direttiva del 2008 [28] della Commissione Europea ha incluso, tra i settori regolamentati nella normativa, il settore dell'aviazione a partire dal 2012. Questa annessione è importante per un doppio motivo: in quanto prima apertura del mercato EU ETS alla regolamentazione del settore dei trasporti ed in quanto inclusione nel mercato EU ETS di un settore con alte emissioni di CO₂.²

Le più recenti normative che valgono la pena di essere analizzate sono quelle del 2009 [29], 2011 [34] e 2012. La Direttiva del 2009 regola il mercato EU ETS per il periodo successivo al 2012, annette il nuovo settore delle centrali elettriche nella normativa permettendo un ampliamento i settori coinvolti dalla disciplina ed istituisce un sistema di allocazione tramite aste dal 2013. Il meccanismo di allocazione delle quote non rimane più gratuito, ma gestito da apposite aste, i quali incassi sono destinati al finanziamento di misure per lo sviluppo tecnologico energetico ed ambientale. L'Unione Europea, per il 2020, si è impegnata a regolamentare il 70% delle quote di emissione generali nei settori non a rischio delocalizzazione ed il 100% di quelle del settore elettrico attraverso il sistema delle aste. I settori a rischio delocalizzazione in seguito all'assoggettamento al mercato delle emissioni, i quali sono classificati sulla base di appositi parametri,

²Direttiva 2008/101/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di includere le attività di trasporto aereo nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissioni dei gas a effetto serra

godono di allocazioni completamente gratuite.³ Al fine di ridurre le emissioni europee del 21% per il 2020 (ai livelli del 2005), nella direttiva 2009/29/CE viene prevista una sempre maggiore riduzione comunitaria delle quote di carbonio pari al 1,74% a partire dal secondo periodo 2008-2012 conformemente agli impegni nazionali ed ai piani di allocazione intrapresi durante suddetto periodo. Solamente nel 2011, tramite una decisione della Commissione Europea, sono stati individuati i parametri di calcolo dell'ammontare di quote assegnabili gratuitamente ai settori ad elevato rischio di rilocalizzazione delle emissioni di CO₂.

La Commissione Europea, con la proposta di decisione del luglio 2012 e la relazione del novembre 2012 [35], ha avviato alcuni progetti di modifica strutturale dei meccanismi di assegnazione delle quote nella fase 2013-2020. Viene proposta una modifica del calendario delle aste di allocazione al fine di compensare alcuni squilibri strutturali verificati in questi ultimi anni. Le instabilità del mercato si manifestano nello squilibrio domanda-offerta, dal 2008 l'offerta di quote di emissioni è progressivamente aumentata, superando la richiesta di quote. Questa situazione di instabilità strutturale ha effetti tendenziali che inficiano il corretto

³ Il termine *Carbon Leakage* individua una situazione nella quale, per ragioni di costi imposti dalle politiche climatiche nazionali, le aziende trasferiscono la produzione in altri paesi dove vi sono minori obblighi e limitazioni sulle emissioni di gas GHG. [18] Decisione della Commissione europea del 24 Dicembre 2009 (notificata con il numero C(2009) 10251) che determina, a norma della direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, un elenco dei settori e dei sottosettori ritenuti esposti a un rischio elevato di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio: "L'Unione sostiene un accordo internazionale ambizioso per la lotta ai cambiamenti climatici finalizzato a contenere l'aumento della temperatura mondiale entro i 2°C. Se altri paesi industrializzati e altri grandi produttori di emissioni di gas serra non aderissero al suddetto accordo internazionale si potrebbe verificare un aumento delle emissioni di tali gas nei paesi terzi in cui l'industria non sarebbe vincolata nello stesso modo per quanto riguarda le emissioni di carbonio (fenomeno della rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, carbon leakage), con ripercussioni negative sull'integrità e sui benefici ambientali delle azioni intraprese dall'Unione. Per far fronte al rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, la direttiva 2003/87/CE stabilisce che, in base all'esito dei negoziati internazionali, l'Unione debba assegnare a titolo gratuito il 100% delle quote determinate in conformità delle misure di cui all'articolo 10 bis, paragrafo 1, della direttiva 2003/87/CE ai settori o sottosettori che si ritiene siano esposti ad un rischio elevato di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio. "

funzionamento del mercato EU ETS e il suo sviluppo futuro.⁴

Il settore del Trasporti Aereo presenta un alto tasso di inquinamento e rappresenta il 3% delle emissioni totali di gas GHG europee. Si è resa necessaria, pertanto, al fine di non compromettere gli sforzi realizzati da tutti gli altri settori economici, per ridurre il loro impatto sull'ambiente, un'inclusione di questo settore all'interno delle normative ed principali accordi internazionali finalizzati alla limitazione dei cambiamenti climatici globali. L'Unione Europea ha deciso di includere il settore dell'aviazione ICAO (*International Civil Aviation Organization*), e dal 1 Gennaio 2012 queste attività sono incluse nel mercato europeo delle quote di carbonio. [28]⁵

Le quote emesse dal settore aereo vengono monitorate dall'istituto EUROCONTROL (Organizzazione Europea per la sicurezza della navigazione aerea), i livelli base di riferimento per monitoraggio del settore, sono quelli degli anni 2004-2006, che considerano pertanto la significativa crescita del settore negli ultimi 15 anni. Infatti le emissioni del settore sono più che raddoppiate rispetto ai valori del 1990. [16]

Le quote di emissione in questo settore vengono distribuite gratuitamente e mediante asta per una percentuale rispettivamente pari al 82% e 15%. Il restante 3% viene detenuto in speciali riserve disponibili ad una successiva distribuzione a nuovi attori economici. L'allocazione libera di quote segue un processo di monitoraggio delle attività degli operatori aerei negli anni 2010 in termini di numero di voli cargo, passeggeri trasportati e distanza percorsa.

L'annessione al sistema europeo delle emissioni delle aviazioni internazionali,

⁴Proposta di decisione del Parlamento Europeo e del Consiglio recante deroga temporanea alla direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità. Strasburgo, Novembre 2012.

⁵Direttiva 2008/101/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di includere le attività di trasporto aereo nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissioni dei gas a effetto serra. "A partire dal 2012, per evitare distorsioni della concorrenza e migliorare l'efficacia ambientale, dovrebbero essere incluse le emissioni prodotte da tutti i voli in arrivo e in partenza da un aerodromo comunitario."

per i voli in partenza e arrivo nel territorio Europeo, è stata criticata da molte nazioni e nonostante le molte proposte di deroga presentate è tuttora mantenuta.

3.3.2 Il Mercato EU ETS: Gli attori coinvolti

Il mercato EU ETS rappresenta il classico mercato di scambio delle emissioni chiamato sistema "cap and trade". I vari operatori sottoposti alle normative europee, le quali rispettano gli accordi internazionali finalizzati alla lotta al cambiamento climatico, ottengono quote di emissione di anidride carbonica e la commercializzano in questo mercato. Come enucleato nel capitolo precedente, l'Unione Europea si è impegnata da raggiungere i target di riduzione delle emissioni definiti negli accordi di Kyoto e post-Kyoto. Per rispettare questi obiettivi le aziende sottoposte allo schema di mercato EU ETS devono cercare di ridurre le proprie emissioni del 21% rispetto i valori del 2005 entro il 2020. [8]. La Commissione Europea, in un rapporto del Febbraio 2012 ha stimato come nel 2020 le aziende operanti all'interno del mercato di scambio potranno emettere un massimo di 1,777 milioni di MTCO₂e. L'obiettivo di lungo termine è la riduzione delle emissioni domestiche europee del'80-90% sotto i livelli del 1990 entro il 2050. Il Mercato EU ETS copre il 50% delle emissioni di CO₂, ed il 40% delle emissioni dei Gas Serra (GHG) attraverso il controllo di 11 mila e 500 impianti situati nel territorio Europeo ⁶, questi impianti sono posseduti da oltre 5 mila aziende. La direttiva costitutiva del 2003 riporta un elenco di categorie sottoposte al controllo delle emissioni di gas serra individuabili in 4 macro-settori: attività energetiche, produzione e trasformazione di metalli ferrosi, industrie dei prodotti minerari ed altre attività. Nel corso degli ultimi anni, questo elenco è stato ampliato. A partire dal 1 gennaio 2012 vengono regolamentati tutti i voli che arrivano o partono da una base situata all'interno del territorio di uno stato nel quale opera il mercato EU ETS. Il sistema copre le emissioni di Anidride Carbonica CO₂ in tutti

⁶Partecipano al mercato EU ETS oltre agli stati europei EU 27 anche Norvegia, Liechtenstein e Islanda.

gli impianti e, di protossido di azoto nelle aziende nelle quali vengono prodotti specifici acidi e le conseguenti emissioni.

In alcuni settori la partecipazione al mercato avviene solo con il superamento di un livello minimo di emissioni. I Governi nazionali possono limitare le applicazioni a determinati piccoli installatori. Di conseguenza, piccoli emettitori che producono meno di 25 mila tonnellate di biossido di carbonio equivalente, ed impianti di combustione (ad esclusione degli impianti a biomassa) con una potenza termica nominale inferiore ai 35 MW, non sono sottoposti alla normativa. Dal 2013 la lista di operatori coinvolti è stata estesa ai settori che producono alluminio, calce viva, acido nitrico, idrogeno, carbonato e bicarbonato di sodio e a tutti quelli impianti che si occupano della cattura, trasporto e stoccaggio di CO₂ [1]. La direttiva n°29 del 2009 [29], riportata nella tabella 3.3, presenta l'elenco dettagliato delle installazioni. Solamente i settori produttori di alluminio monitorano anche la produzione di perfluorocarburi (PFC).

Nella tabella 3.3 sono riportati i settori monitorati dalla normativa europea:

Tabella 3.3: Impianti operanti nel mercato EU ETS, fonte direttiva comunitaria 2009/29/CE

Settori di Attività	Gas Monitorati
Combustione di carburanti in impianti di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW (tranne negli impianti per l'incenerimento di rifiuti pericolosi o urbani)	Biossido di carbonio
Raffinazione di petrolio	Biossido di carbonio
Produzione di coke	Biossido di carbonio
Arrostimento o sinterizzazione, compresa la pelletizzazione, di minerali metallici (tra cui i minerali solforati)	biossido di carbonio
Produzione di ghisa o acciaio (fusione primaria o secondaria), compresa la relativa colata continua di capacità superiore a 2,5 tonnellate all'ora	Biossido di Carbonio

Produzione o trasformazione di metalli ferrosi (incluse le ferro-leghe), ove siano in funzione unità di combustione di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW. La trasformazione comprende, tra l'altro, laminatoi, riscaldatori, forni di ricottura, impianti di forgiatura, fonderie, impianti di rivestimento e impianti di decapaggio	Biossido di Carbonio
Produzione di alluminio primario	Biossido di carbonio e perfluorocarburi
Produzione di alluminio secondario ove siano in funzione unità di combustione di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW	Biossido di carbonio
Produzione o trasformazione di metalli non ferrosi, compresa la fabbricazione di leghe, l'affinazione, la formatura in fonderia, ecc., ove siano in funzione unità di combustione di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW (tra cui i combustibili utilizzati come agenti riducenti)	Biossido di carbonio
Produzione di clinker (cemento) in forni rotativi la cui capacità di produzione supera 500 tonnellate al giorno oppure in altri tipi di forni aventi una capacità di produzione di oltre 50 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Produzione di calce viva, calcinazione di dolomite, magnesite in forni rotativi con capacità di produzione superiore a 50 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Fabbricazione del vetro, tra cui le fibre di vetro, con capacità di fusione superiore a 20 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Fabbricazione di prodotti ceramici mediante cottura, in particolare tegole, mattoni, mattoni refrattari, piastrelle, gres, porcellane, con capacità di produzione superiore a 75 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Fabbricazione di materiale isolante in lana minerale a base di vetro, roccia o scorie con capacità di fusione superiore a 20 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Essiccazione o calcinazione del gesso o produzione di pannelli di cartongesso e altri prodotti a base di gesso, ove siano in funzione unità di combustione di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW	Biossido di carbonio
Fabbricazione di pasta per carta a partire dal legno o da altre materie fibrose	Biossido di
Fabbricazione di carta o cartoni con capacità di produzione superiore a 20 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Produzione di nerofumo, compresa la carbonizzazione di sostanze organiche quali oli, bitumi, residui del cracking e della distillazione, ove siano in funzione unità di combustione di potenza termica nominale totale superiore a 20 MW	Biossido di carbonio
Produzione di acido nitrico	Biossido di carbonio e protossido di azoto
Produzione di acido adipico	Biossido di carbonio e protossido di azoto
Produzione di gliossale e acido gliossilico	Biossido di carbonio e protossido di azoto
Produzione di ammoniaca	Biossido di carbonio

Produzione di prodotti chimici organici su larga scala mediant ecracking, reforming, ossidazione parziale o totale o processi simili, con una capacità di produzione superiore a 100 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Produzione di idrogeno (H ₂) e di gas di sintesi mediante reforming o mediante ossidazione parziale, con una capacità di produzione superiore a 25 tonnellate al giorno	Biossido di carbonio
Produzione di carbonato di sodio (Na ₂ CO ₃) e di bicarbonato di sodio (NaHCO ₃)	Biossido di carbonio
Cattura dei gas a effetto serra provenienti da impianti disciplinati dalla presente direttiva ai fini del trasporto e dello stoccaggio geologico in un sito di stoccaggio autorizzato a norma della direttiva 2009/31/CE	Biossido di carbonio
Trasporto dei gas a effetto serra mediante condutture ai fini dello stoccaggio geologico in un sito di stoccaggio autorizzato a norma della direttiva 2009/31/CE	Biossido di carbonio
Stoccaggio geologico dei gas a effetto serra in un sito di stoccaggio autorizzato a norma della direttiva 2009/31/CE	Biossido di carbonio
Trasporto aereo Voli in partenza da o in arrivo a un aerodromo situato nel territorio di uno Stato membro soggetto alle disposizioni del trattato ⁷	Biossido di carbonio

⁷“Non sono inclusi: i voli effettuati esclusivamente per trasportare, nell’ambito di un viaggio ufficiale, un monarca regnante o i membri più prossimi della sua famiglia, un capo di Stato, i capi di governo, i ministri del governo di un paese diverso da uno Stato membro, a condizione che tale situazione sia comprovata da un adeguato indicatore attestante lo statuto nel piano di volo; i voli militari effettuati da aeromobili militari e i voli delle autorità doganali e di polizia; i voli effettuati a fini di ricerca e soccorso, i voli per attività antincendio, i voli umanitari e i voli per servizi medici d’emergenza autorizzati dall’autorità competente responsabile; i voli effettuati esclusivamente secondo le regole del volo a vista definite nell’allegato 2 della convenzione di Chicago; i voli che terminano presso l’aerodromo dal quale l’aeromobile è decollato e durante i quali non è stato effettuato alcun atterraggio intermedio; i voli di addestramento effettuati al solo fine di ottenere un brevetto o, nel caso di un equipaggio di cabina, un’abilitazione (rating), qualora questa situazione sia comprovata da una menzione inserita nel piano di volo, a condizione che il volo non sia destinato al trasporto di passeggeri e/o merci o al posizionamento o al trasferimento dell’aeromobile; i voli effettuati al solo fine della ricerca scientifica o verificare, collaudare o certificare aeromobili o apparecchiature sia a bordo che a terra; i voli effettuati da un aeromobile con una massa massima al decollo certificata inferiore a 5 700 kg; i voli effettuati nel quadro di obblighi di servizio pubblico imposti ai sensi del regolamento (CEE) n. 2408/92 su rotte all’interno di regioni ultra periferiche di cui all’articolo 299, paragrafo 2, del trattato, o su rotte per le quali la capacità offerta non supera i 30000 posti all’anno; e i voli che, se non fosse per questo, rientrerebbero in questa attività e sono effettuati da un operatore di trasporto aereo commerciale che opera: meno di 243 voli per periodo per tre periodi di quattro mesi consecutivi, o voli con emissioni annue totali inferiori a 10 000 tonnellate l’anno. I voli effettuati esclusivamente per trasportare, nell’ambito di un viaggio ufficiale, un monarca regnante o i membri più prossimi della sua famiglia, un capo di Stato, i capi di governo, i ministri del governo di uno Stato membro non possono essere esclusi a titolo del presente punto.”, fonte testo di legge direttiva 2009/29/CE.

3.3.3 I titoli Scambiati

Nel mercato EU ETS vengono allocate e scambiate delle quote di emissione. Esse costituiscono un bene immateriale convertibile in moneta e utilizzabile liberamente dal soggetto che ne detiene la proprietà. La direttiva n°87 del 2003 classifica con “quota di emissioni”: “Diritto ad emettere una tonnellata di biossido di carbonio equivalente per un periodo determinato, valido unicamente per rispettare le disposizioni della presente direttiva e cedibile conformemente alla medesima”.⁸ Le quote di emissioni rappresentano dei diritti commercializzabili mediante i quali i soggetti, sottoposti alla normativa, ottemperano ai loro obblighi. Queste concessioni vengono chiamate nel termine inglese *European Union Allowance* con l’acronimo EUA, mentre quelle relative al settore dell’aviazione vengono chiamate *European Union Allowance Aviation* (EUA A). Il settore aereo può utilizzare le quote EUA, ma ciò non è possibile viceversa. La contrattazione delle quote EUA A, è stata interrotta nel 2013 a causa di forti opposizioni e mancati accordi di regolamentazione all’interno del settore. [22] Nel mercato vengono scambiati crediti CER, i quali non derivano dalle allocazioni stanziare nei National Allocation Plan ma traggono origine da progetti Clean Development Mechanism. Gli impianti, sottoposti al rispetto dei limiti di emissione, possono utilizzare quote CER per assolvere i propri obblighi. Crediti realizzati da progetti Joint Implementation sono chiamati con il termine inglese Emission Reduction Units (ERU). Tutti i crediti derivanti da Meccanismi Flessibili, sono, quindi, perfettamente equivalenti alle quotazioni EUA Emission Allowance: 1 EUA è pari ad 1 CER e ad 1 ERU. Essi vengono commercializzati liberamente all’interno del mercato. Crediti provenienti dal nucleare, cambiamenti d’uso di foreste o terreni non vengono accettati.

⁸Direttiva Europea 2003/87/CE del 13 Ottobre 2003 che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio.

I crediti realizzati mediante piani CDM e JI, introdotti nel sistema a seguito della direttiva comunitaria *linking* del 2004 [27], vengono utilizzati anche nel terzo periodo di contrattazione (2013-2020). I progetti JI e CDM garantiscono, ai paesi già sviluppati come l'Unione Europea, di rispettare gli obblighi di emissione previsti e partecipare a progetti di investimento in paesi del terzo mondo. Ciò nonostante, il loro uso viene ridotto, in quanto le normative che regolamentano il mercato EU ETS limitano l'utilizzo di crediti CER ed ERUs, per scoraggiare il ricorso degli operatori a crediti derivanti da progetti low cost in paesi in via di sviluppo e favorire lo sviluppo di investimenti europei *low-carbon*. Gli impianti già operanti devono utilizzare crediti entro un limite del 11%⁹ delle loro quote disponibili nel periodo 2008-2012. Il livello massimo per i nuovi settori coinvolti nella normativa e nuovi impianti operanti nel 3° periodo si è ridotto ad una quota del 4.5% delle loro emissioni verificate nella fase 2013-2020. Il settore dell'aviazione è sottoposto al limite del 1,5%. [17]

Le quote EUA, CER ed ERU sono commercializzate nelle principali piattaforme di scambio mediante vari tipi di contratti: contratti *spot*, opzioni, contratti *futures* e *forward*. Nei contratti *spot* i certificati di emissione vengono commercializzati mediante un acquisto istantaneo del titolo. I contratti *futures* e *forward* rappresentano dei derivati delle quote, a dispetto degli *spot* la consegna del titolo avviene in una data futura di scadenza predefinita. I contratti *forward* sono stati i primi ad essere introdotti nel mercato delle quote di carbonio, e rappresentano tuttora i titoli più commercializzati. La caratteristica principale dei titoli *forward* è la scarsa rigidità normativa. La scadenza di questi contratti è il dicembre di ogni anno. Le opzioni possono avere forma di *futures* e *forward*, ma, a differenza di questi, essi danno la possibilità di acquistare o vendere (chiamate *call* e *put*) alla

⁹Nella fase 2 2008-2012, il Governo britannico ha limitato l'utilizzo di crediti proveniente da progetti JI e CDM per un 8% delle quote libere distribuite. [49]

scadenza solo in modo facoltativo, alle condizioni di prezzo già concordate.

3.3.4 L'allocazione delle quote

Ogni stato membro dell'Unione Europea e partecipante all'EU ETS è dotato di un Piano Nazionale di Allocazione, National Allocation Plan (NAP). Gli stati partecipanti al mercato, mediante il loro Piano Nazionale, individuano gli impianti coinvolti e determinano il quantitativo massimo di quote di emissione EUA da concedere in un determinato arco temporale. Come specificato dall'articolo n°9 della direttiva costitutiva del mercato EU ETS del 2003 [26], il Piano Nazionale è sottoposto al controllo preventivo da parte della Commissione Europea, la quale deve verificare, nel Piano, il rispetto delle procedure con un anticipo di 18 mesi dall'inizio del periodo di riferimento. Entro 3 mesi la notifica del piano la Commissione Europea può rilasciare un'autorizzazione, respingerlo, se questo non rispettasse i metodi di assegnazione ed i criteri di redazione e in tal caso richiederne una correzione. È solo mediante il Piano Nazionale che vengono rilasciati certificati EUA, obbligatori al fine del funzionamento del mercato delle quote di emissione. Nell'elaborazione dei programmi annuali, ogni stato considera le osservazioni dei soggetti interessati, e rende accessibile il programma ai futuri soggetti entranti nel mercato. Il Piano Nazionale, viene comunicato con largo anticipo rispetto alla sua entrata in vigore, per consentire ai soggetti coinvolti di apprendere in maniera anticipata l'ammontare delle loro quote e, valutare apposite strategie aziendali *low-carbon*. Il contingentamento delle quote favorisce, inoltre, l'aumento del prezzo attraverso l'aumento della domanda. Gli impianti coinvolti, a fronte di un aumento del prezzo dovrebbero essere spinti a investire maggiormente in tecnologie più convenienti e verdi. I Piani Nazionali sono stilati da istituti chiamati *Autorità Nazionali Competenti*, i quali gestiscono il Registro Nazionale del mercato di quote di emissione. Infatti, per ogni operatore controllato dalla normativa viene predisposto un apposito conto nel registro, dove vengono

accreditate tutte le quote assegnate nel Piano Nazionale. Nel Registro, possono essere aperti conti anche da parte di soggetti esterni, i quali non vengono obbligati dalla normativa a dotarsi di quote, come a titolo di esempio organizzazioni o persone fisiche. I diversi Registri Nazionali confluiscono in un unico Registro Europeo chiamato *European Union Transaction Log EUTL*. Il registro EUTL contiene tutti i conti deposito dei soggetti operanti, esso deve garantire il corretto funzionamento del sistema nel rispetto degli obblighi di Kyoto e prevenire irregolarità o frodi. Le quote vengono assegnate nel conto deposito comunitario entro il 28 febbraio di ogni anno [14]. La proprietà dei titoli EUA ed EUA A o CER può essere scambiata tra operatori. Ogni titolo è rappresentato da una serie alfanumerica riportata nel Registro Elettronico Europeo. Nel Registro, al termine di ogni anno, viene effettuata una compensazione delle emissioni, e restituito il quantitativo emesso nell'anno solare precedente.

Le allocazioni sono gratuite, o avvengono mediante aste. L'ammontare destinato a ogni operatore viene allocato in misura proporzionale ai valori storici delle emissioni dell'impianto sottoposto. La Direttiva del 2003 [26] (all'articolo 4) delinea gli estremi che devono essere riportati dall'autorizzazione:

- generalità, descrizione e ammontare emissioni dell'attività del gestore nome e indirizzo del gestore;
- generalità sulle modalità, metodi e frequenza di monitoraggio;
- caratteristiche sulla comunicazione;
- impegno vincolante alla restituzione delle quote ogni anno al mese dal termine.

La Direttiva n° 29 del 2009 stabilisce che dal 2013, il principale modo di allocazione delle quote di emissione debba essere quello delle aste onerose. Il meccanismo

delle aste, utilizza il mercato di scambio per determinare un prezzo che non sia aleatorio, ma il risultato dell'incontro tra domanda ed offerta.

Il commercio dei titoli EUA A derivanti dalle quote di emissione del settore dell'aviazione avviene tramite asta onerosa dal 2012. Le aste sui titoli EUA derivanti da tutti gli altri settori, sono iniziate formalmente nel 2013, ma a partire dal 2012 sono state effettuate allocazioni mediante asta già nel corso dello stesso anno, ai fini di consentire un passaggio più graduale dal sistema gratuito a oneroso mediante una fase "pilota". [32]

La gestione delle aste è definita nel *Regolamento Aste*, dove vengono riportati gli estremi di funzionamento del mercato, gestito a livello centralizzato europeo [32]:

- dal lato della offerta, vi sono gli stati europei che detengono un ammontare di quote. Ogni nazione, dispone di un operatore chiamato "Responsabile del collocamento" (*Auctioneer*), che opera all'interno del mercato aste per conto dello stato membro collocando le quote e percependo i proventi.
- dal lato della domanda vi sono soggetti regolamentati dal mercato EU ETS ai quali il Regolamento consente di operare nelle aste.
- Piattaforma d'asta (*Auction Platform*), dove avviene l'incontro tra domanda ed offerta, e viene determinato il prezzo, i titoli scambiati, le modalità e la loro calendarizzazione. La Piattaforma d'Asta è regolamentata dalla direttiva comunitaria sui Mercati Finanziari (Direttiva 2004/39/CE MiFID).
- Ente di vigilanza d'asta chiamato Sorvegliante Unico d'Asta (*Single Auction Monitor*).

All'interno del Regolamento è riportato un elenco di operatori legittimati ad operare all'interno del mercato aste a titolo oneroso:

1. gestori di impianti o operatori aerei sottoposti alla Direttiva, tra le quali imprese appartenenti al medesimo gruppo;
2. imprese d'investimento sottoposte alla direttiva n°39 del 2004, ad esempio le Società intermediarie mobiliari;
3. enti creditizi sottoposti alla direttiva n°48 del 2006, come ad esempio le Banche;
4. rappresentanti di operatori del 1° punto;
5. organismi di proprietà pubblica che controllano operatori del 1° punto;
6. Operatori finanziari sull'energia e commodity autorizzati dalle normative nazionali degli stati membri.

Gli impianti produttori di energia elettrica e quelli che si occupano di cattura, trasporto e stoccaggio di carbonio dovranno dotarsi di quote solamente mediante il sistema di aste. Gli operatori dei settori manifatturiero e dell'aviazione dovranno acquisire quote tramite aste solo per il loro fabbisogno non colmato dall'allocazione gratuita.

La Piattaforma di gestione delle Aste non accetta tutti i soggetti che fanno domanda di ricorso, ma verificando la loro solidità finanziaria, li ammette solamente se:

- sono operatori stabili Europei;
- se gli operatori possiedono un conto in deposito, e di un rappresentante che si possa impegnare per loro conto;
- se gli operatori forniscono tutte le informazioni generali necessari per garantire una trasparenza nei confronti della clientela;

- se gli operatori forniscono tutte le informazioni di natura finanziaria e godono di garanzie;
- se gli operatori possono disporre di clausole contrattuali interne per rispettare le dimensioni massima delle offerte.

La Direttiva comunitaria n° 87 del 2003 all'articolo n°10 specifica i caratteri generali del Regolamento d'aste, il quale deve garantire l'esecuzione delle aste in maniera aperta, trasparente, armonizzata e non discriminatoria. Le stesse aste devono essere svolte con i medesimi criteri garantendo il massimo accesso a vari operatori. Il Regolamento stabilisce la possibilità di creare un numero finito di Piattaforme d'Asta nazionali, che devono essere soggette al controllo centralizzato europeo e da parte degli altri stati.

I proventi realizzati, grazie alla allocazione a titolo oneroso delle quote nelle aste, devono essere utilizzate per assolvere molteplici obiettivi finalizzati alla lotta al cambiamento climatico globale. La Direttiva 2003/87/CE stabilisce che il 50% del guadagno realizzato sia destinato a:

- ridurre i gas serra;
- sviluppare energie rinnovabili e tecnologie pulite per una transizione verso una economia *low-carbon*;
- predisporre misure contro la deforestazione e per aumentare le zone coperte da foreste;
- ridurre CO₂ mediante silvicoltura (forestry sequestration)¹⁰
- finanziare la cattura e lo stoccaggio geologico dell'anidride carbonica;

¹⁰ Forestry sequestration: cattura e stoccaggio di anidride carbonica mediante la silvicoltura. Uno studio condotto dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti nel 2009 stabiliscono come le foreste riescano a raccogliere una quantità elevata di carbone dall'atmosfera grazie la presenza di tronchi, radici, foglie, suolo e la biomassa presente.

- favorire investimenti nelle emissioni del settore dei trasporti;
- favorire la ricerca della efficienza energetica e tecnologie pulite;
- migliorare l'efficienza energetica e isolamento;
- coprire le spese amministrative nella gestione dello schema europeo ETS.

Recenti studi del Ministero dello Sviluppo Economico hanno stimato come le quote allocate mediante le aste nel 2013 siano state il 50% delle quote allocabili nel sistema.

3.3.4.1 L'allocazione a titolo gratuito

Dal 2013 anche il settore manifatturiero deve ricorrere alle aste. Ora dispone di un'allocazione gratuita di quote, in quanto è esposto alla forte competizione proveniente dai paesi in via di sviluppo, dove è presente una normativa stringente riguardo alle emissioni degli impianti manifatturieri. Le allocazioni vengono distribuite sulla base delle tonnellate di CO₂ emesse dall'impianto, in relazione ai parametri di Benchmark, i quali definiti preventivamente sulla base delle emissioni del 10% degli operatori manifatturieri europei più efficienti, nell'arco temporale di riferimento 2007-2008. Un ulteriore parametro di riferimento è il combustibile consumato o le emissioni di CO₂ del processo di produzione. Nel 2013, le quote sono state distribuite per un valore pari all'80%, sulla base del prodotto tra i parametri Benchmark e la produzione storica dell'impianto. Questa percentuale è destinata a scendere fino ad annullarsi nel 2027, anno nel quale le allocazioni saranno solamente a titolo oneroso. [3]

3.3.5 Attività di Trading e verifica finale delle emissioni

Gli impianti che, alla fine di ogni anno, hanno un numero sufficiente di quote per coprire le loro emissioni vendono i loro surplus al prezzo determinato dall'incontro tra domanda ed offerta. Nel rispetto dei limiti imposti, questi operatori

del mercato di scambio delle emissioni possono effettuare una serie di azioni: - accedere a mercati di scambio certificati (Borse Fumi); - ricorrere ai meccanismi flessibili (Joint Implementation, Clean Development Mechanism); - acquistare crediti da altri operatori; - usare un insieme di operazioni miste; - non rispettare i limiti e sostenere le sanzioni relative. È importante effettuare un'accurata distinzione del mercato primario e mercato secondario. Il Mercato primario di scambio delle emissioni è il mercato di assegnazione a titolo oneroso mediante asta delle quote di emissioni ai soggetti sottoposti alla normativa EU ETS. Anche parte delle allocazioni a titolo gratuito vengono commercializzate in questo mercato. Nel Mercato secondario di scambio delle emissioni le quote, dopo essere state allocate mediante asta, vengono commercializzate tra gli operatori attraverso l'acquisto, la vendita e lo scambio di proprietà.

Le quote assegnate, nei vari conti deposito dei soggetti operanti nel mercato di scambio, vengono controllate annualmente mediante operazioni di verifica del rispetto degli impegni di emissione preposti, il cosiddetto "cap". Le quote, che risultano non emesse, possono essere rimesse in circolazione attraverso la vendita diretta, o mediante intermediari a soggetti autorizzati o terzi mediante il mercato di scambio secondario. Il 31 marzo di ogni anno deve avvenire la comunicazione del quantitativo di emissioni prodotte da parte del gestore dell'impianto monitorato. L'ammontare dichiarato, secondo l'articolo 15 della Direttiva 2003, deve essere verificato da una persona appositamente istituita, estraneo all'attività esercitata dall'impianto oggetto di analisi. La verifica viene svolta, dal responsabile dell'ispezione, seguendo le disposizioni delle decisione n°280 del 2004 del Parlamento Europeo e del Consiglio e n°205/166/CE del Febbraio 2005 della Commissione Europea [14]. Le emissioni possono rispettare o meno i limiti imposti. Nel caso il tetto massimo "cap" venga rispettato nel Registro Nazionale, a seguito della verifica, ogni 30 giugno, si procede alla cancellazione delle quote relative all'operatore disciplinato. Il tal caso, queste quote non possono es-

sere più utilizzate. La normativa recente stabilisce come le quote possono anche essere restituite per un pari importo per il periodo di analisi successivo del Protocollo di Kyoto (2008-2012 o 2013-2020). Gli impianti che non rispettano i vincoli di emissione imposti devono pagare delle sanzioni, ovvero multe relative ad ogni singola tonnellata di anidride carbonica CO₂ emessa in aggiunta ogni anno. Nella fase iniziale la contravvenzione era rappresentata da 40€ per tonnellata. Dal 2008 questa somma è diventata 100€.

3.3.6 Le fasi del mercato

Il triennio 2005-2007 costituisce la prima fase di assegnazione, chiamata a che "fase pilota". Durante la fase iniziale, di sperimentazione, le quote sono state assegnate per il 95% in maniera gratuita. L'attenzione è stata posta principalmente sulle emissioni di CO₂. In questa fase pilota, lo scopo principale è stato quello di istituire l'infrastruttura del mercato di scambio e procedere attraverso il processo "learning by-doing" ad una sua sperimentazione. In questo stadio sono stati istituiti i Piani Nazionali di Allocazione (NAP), è stato definito il prezzo delle quote, l'infrastruttura di monitoraggio, l'infrastruttura di verifica e controllo. Conseguentemente, è stato sottoposto il controllo delle emissioni di CO₂ solo ai grandi impianti emittenti dei settori dell'energia ed industriali. Sebbene questa sia stata una fase pilota, durante i primi 3 anni sono state monitorate più di 10 mila installazioni in 25 paesi europei coprendo il 30% delle emissioni europee.

La seconda fase, corrisponde al primo periodo "commitment" del Protocollo di Kyoto: il quinquennio 2008-2012. Sono state utilizzate, per il funzionamento del mercato, tutte le informazioni generate nella fase pilota. In questa fase sono state ampliate le nazioni regolamentate del mercato ed i gas serra controllati. Sono entrati a far parte del programma 5 Stati: Bulgaria, Romania, Liechtenstein, l'Islanda e la Norvegia. Le emissioni di protossido di azoto sono state monitora-

te negli impianti produttori di acido nitrico. Durante questo periodo sono stati raggiunti degli obiettivi, quali la riduzione delle emissioni per un 6,5% rispetto i livelli del 2005. Nell'arco temporale 2008-2012, le quote sono state allocate gratuitamente per un 90%. In ogni stato sono stati determinati i limiti (Cap) massimi per l'uso di Certificati CER ed ERU derivanti da progetti JI e CDM per ogni settore e attore economico coinvolto. Entro il 28 Febbraio di ogni anno le quote sono state commercializzate nei vari mercati di scambio EU ETS.

La terza fase (2013-2020), trae origine dai valori registrati nella seconda fase e prevede una riduzione delle emissioni annua ad un tasso del 1,74% al fine di raggiungere il 21% entro il 2020. Le aspettative dell'Unione Europea, durante questo lungo periodo, sono quelle di incoraggiare maggiormente una transizione economica verso uno sviluppo *low-carbon*. In questa fase sono state adottate numerose novità: sono aumentati i settori economici coinvolti (aviazione); si è passati da un'allocazione libera ad un impiego di aste onerose; uso armonizzato dei crediti CER, ERU attraverso la fase II e III. In questa fase va segnalato l'ingresso nel programma della Croazia. Il mercato europeo ha avviato un processo di crescente centralizzazione mediante lo sviluppo di un comune mercato di allocazione e l'unione dei registri Nazionali in un'unica amministrazione centralizzata per assicurare efficienza e trasparenza nelle contrattazioni.

Le caratteristiche del quarto periodo, previsto per il 2021-2028, non sono ancora state regolamentate.

3.3.7 Le piattaforme di scambio europeo

Per effettuare uno scambio di quote è necessario che i soggetti interessati dispongano di un conto presso i Registri Nazionali, i quali, nella Fase 3^a sono confluiti in un unico registro. In ogni conto possono essere allocati EUA, EUA A o crediti

CER ed ERU. La transazione dei permessi può avvenire mediante delle piattaforme di scambio, che svolgono il ruolo di intermediario “*central counter party*” e si prendono a carico del rischio finanziario, garantendo il corretto svolgimento delle transazioni. Nella figura 3.3, vengono rappresentate le principali piattaforme di mercato operanti in Europa.

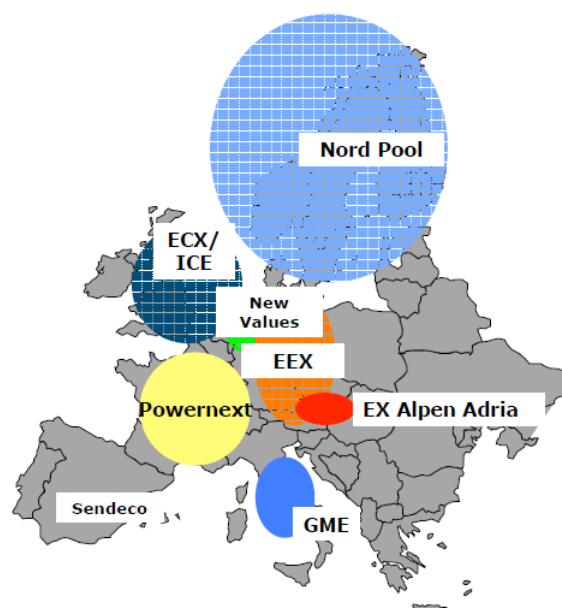


Figura 3.3: Principali Mercati di scambio in Europa, elaborazione Nord Pool [42]

Il mercato di scambio europeo, viene svolto attraverso varie piattaforme di scambio, suddivise in macroaree territoriali. In Austria opera EXAA (Energy Exchange Austria), in Norvegia e nei paesi Nordici Nordpool, in Francia Powernext, in Germania opera principalmente EEX, in Spagna Sendeco2, in Italia GSE (Gestore del Mercato Elettrico). A livello generale europeo opera ECX mediante il mercato ICE Futures Europe Exchange.

European Climate Exchange è stato il più grande mercato di scambio europeo quotato nella Alternative Investment Market della London Stock Exchange. Esso è stato acquistato dall'Intercontinental Exchange (ICE) nel 2010 per 597 milioni di euro. L'ECX, ha creato mercati in Canada (The Montreal Climate Exchange), Au-

stralia (Enverx) e Cina (Tianjin Climate Exchange). Questa piattaforma di mercato ha dominato il commercio di quote dall'inizio della costituzione del mercato nel 2005, commercializzando *Spot, Futures, Options* di quote EUA e CER e ERU. La commercializzazione delle quote CER è iniziata nel 2008. Nel febbraio 2012 l'ICE ha introdotto la quotazione delle quote *futures* dell'aviazione EU Aviation Allowances *futures*. [39]

EEX (The European Energy Exchange) è una piattaforma di mercato con base in Germania, a Lipsia e Francoforte, fondata nel 2002. Questa borsa commercializza quote spot e derivati del mercato dell'energia, gas naturale e diritti di emissione. EEX fa parte del gruppo Eurex. Eurex è uno dei più grandi mercati di scambio mondiale di derivati, opera all'interno della Deutsche Borse e Swiss Exchange. EEX opera nel mercato Spot e derivati, nel mercato primario delle Aste e secondario della compravendita dei titoli commercializzando EUA, EUA A, CER e ERU. [5]

La Powernext è una piattaforma di scambio francese con base a Parigi. In essa vengono eseguite contrattazioni riferite al settore dell'energia, il quale comprende lo scambio delle quote di emissione Powernext collabora con la piattaforma EEX in alcune cooperazioni commerciali, come il progetto PEGAS nella creazione di un mercato comune europeo del gas. [2]

EXAA è la piattaforma di scambio Austriaca, aperta nel 2002 con base a Vienna. In essa avviene il mercato di emissioni e di titoli energetici.

Nord Pool è un mercato che opera principalmente nei paesi del Nord Europa. Nord Pool Market è stato istituito nel 1996 in Norvegia e Svezia. Ha commercializzato le prime quote di EUA nel 2005 e nel 2007 è stata la prima piattaforma a scambiare certificati CER. NordPool è stato acquistato nel maggio 2010 da

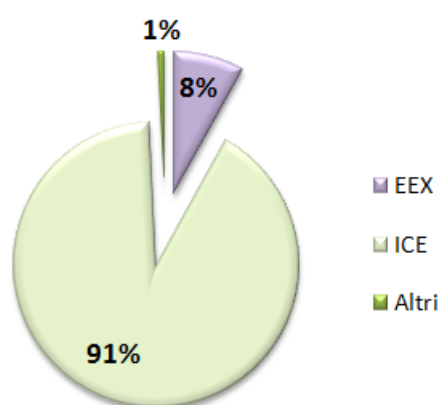
NASDAQ OMX Commodities Europe.

Altri mercati di scambio che trattano un volume di affari più limitato sono: GME italiano, APX Group anglo-olandese e la piattaforma olandese Climex. Gestore del Mercato Elettrico, tramite l'acronimo GME, è il mercato di riferimento italiano istituito nel 2004, nel quale viene gestito il Programma Nazionale di allocazione delle quote EUA e CER. Dal 2010 questo mercato controlla solamente le allocazioni di quote e non il mercato secondario. In Spagna è in attesa di lancio il mercato SendeCO₂.

Le aste onerose ed il commercio dei permessi di emission si concentrano in alcune piattaforme. Le transazioni sono assorbite nelle aste delle borse europee ICE ed EEX, le quali detengono il 99% degli scambi. ICE è la piattaforma principale di scambio dei prodotti a termine. La figura 3.4 mostra la commercializzazione delle quote nelle principali piattaforme.

La commercializzazione delle quote si concentra soprattutto in alcuni mercati: riferimento a figura

Figura 3.4: Market share EU ETS, elaborazione su dati ICE Gennaio 2014



Nel mercato EU ETS un operatore può commercializzare permessi mediante piattaforme regolamentate, oppure tramite piattaforme non regolamentate: il

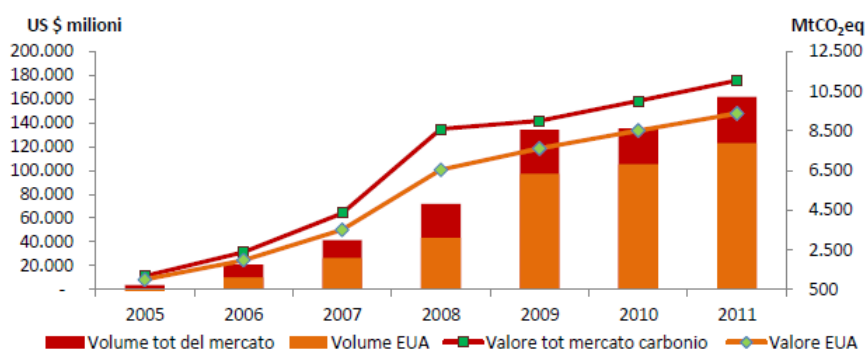
mercato over the counter (OTC). Un impianto può acquistare o vendere quote di emissione ricorrendo a broker individuali o trader, accedendo a servizi personalizzati di consulenza specializzata, o può esercitare direttamente attività di compravendita con un altro impianto nel sistema.

Il ricorso al mercato OTC è progressivamente diminuito a partire dall'istituzione delle allocazioni mediante aste onerose nel 2012, poiché gli operatori hanno iniziato a cercare maggiori garanzie e sicurezze nelle contrattazioni.

3.4 ANDAMENTO DEL MERCATO EU ETS

Sin dalla sua costituzione nel 2005, il mercato EU ETS è diventato il più grande mercato mondiale di scambio di emissioni, sia in termini di volume commercializzato, sia in termini di risultati ottenuti. Nella prima fase operativa di prova, durante il periodo 2005-2008, circa 362 milioni di quote sono state commercializzate, pari circa 7,2 bilioni di euro. Nello stesso periodo le emissioni di gas serra sono diminuite del 2-3% rispetto i valori del 2005. Secondo l'istituto Point Carbon, il quale analizza e opera nel mercato di scambio, il volume di commercio è stato pari a 1 bilione di quote nel 2006, 1,6 bilioni nel 2007, circa 3 bilioni nel 2008 e circa 5 bilioni nel 2009.

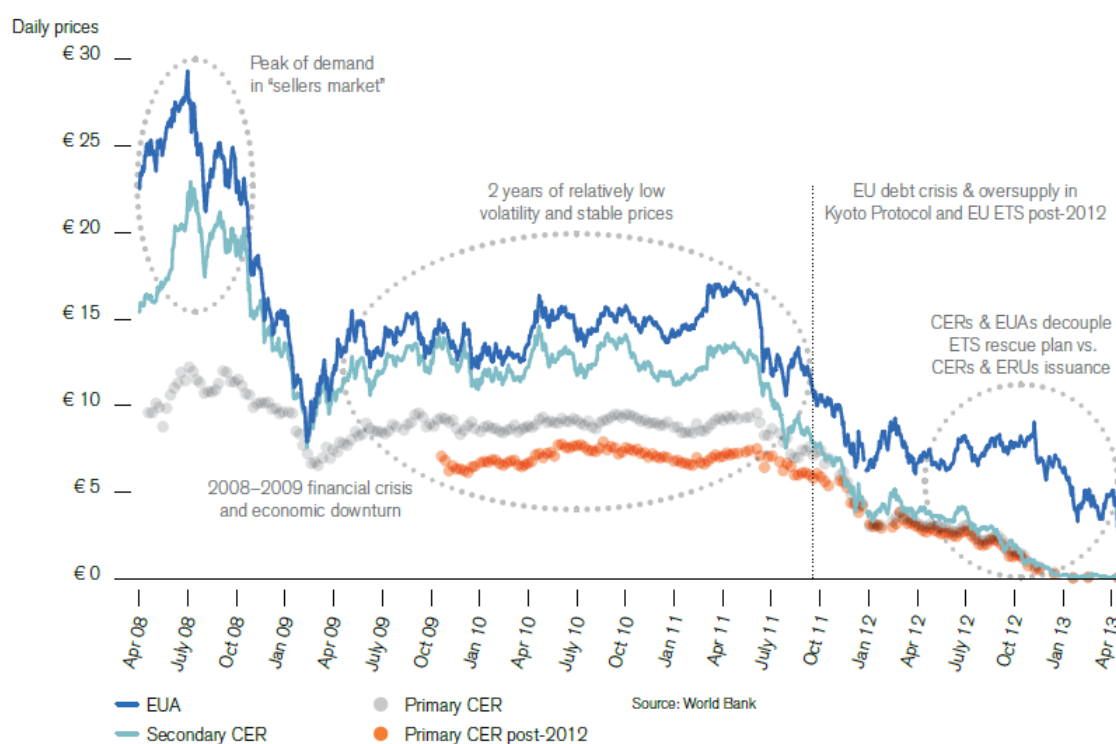
Figura 3.5: Volumi del mercato del carbonio europeo 2005-2011



La figura 3.5, elaborata dalla World Bank, mostra la crescita del valore del mercato del carbonio, accompagnata da quella dei volumi di scambio, misura-

ti in milioni di dollari americani. Il volume degli affari è cresciuto con tassi di crescita vertiginosi. Dal 2005 il commercio di quote è aumentato del 258%. Nel mercato vengono commercializzati principalmente Titoli *Futures* per una quota pari al 72%.

Figura 3.6: Andamento dei prezzi EUA e CER periodo 2008-2013 fonte World Bank



Nel grafico in figura 3.6, vengono riportati gli andamenti dei permessi EUA e CER commercializzati nel mercato Europeo nelle principali aste (EEX e ICE) durante il periodo 2008-2013, vale a dire dall'inizio della seconda fase del mercato all'inizio del terzo periodo. L'andamento di questi titoli è stato molto altalenante. Alla base delle fluttuazioni vi sono molteplici fattori, tra i quali:

- influenza delle decisioni politiche europee;

- instabilità di economiche globali, legami con l'economia reale;
- correlazione con altri settori economici, settore industriali ed energetici;
- fattori climatici;
- fluttuazioni della domanda ed offerta;
- cambiamenti strutturali all'interno del mercato EU ETS.

Conclusa la fase pilota, nel 2008 le quotazioni oscillavano attorno ai 25-30€. All'apertura della seconda fase è stata caratterizzata da un picco massimo della domanda ed alti prezzi, che dal novembre 2008 sono progressivamente diminuiti. Nei primi mesi del 2009 gli effetti della crisi economica si ripercuotono quantitativamente anche in questo mercato, il prezzo passa dai €30 del Luglio 2008, a €6 nel Marzo 2009. Nel periodo successivo, fino all'Ottobre 2011, la volatilità rimane molto bassa ed i prezzi registrano una stabilità attorno ai 10-15€. Dall'Ottobre 2011 i prezzi riprendono a scendere fino a raggiungere i valori attuali. Questa situazione è frutto di una offerta, che ha progressivamente superato la richiesta di quote di emissione.

Dal 2011, in presenza di bassi prezzi, l'Unione Europea sta discutendo proposte di ridefinizione strutturale del sistema ETS, per favorire l'aumento della domanda di quote e conseguentemente, dei prezzi. I recenti prezzi bassi registrati nei permessi commercializzati e nelle aste di tutte le piattaforme di mercato europee delineano uno scenario incerto nell'utilizzo futuro dell'EU ETS come strumento politico finalizzato ad incentivare investimenti *low-carbon* di lungo periodo. Essi vengono valutati positivamente e negativamente, sotto vari punti di analisi. Alcuni analisti ritengono che i bassi prezzi siano un segnale dell'impegno dei paesi europei a ridurre le emissioni del 1,74% annuo nel rispetto dei vincoli comunitari, un risultato positivo, garanzia di buon funzionamento del sistema e di raggiungimento degli ambiziosi target europei per il 2030. Ciò nonostante

gran parte degli analisti e trader finanziari ritengono, invece, che la situazione attuale del mercato EU ETS possa inficiare il suo futuro sviluppo come mezzo di politica ambientale europea. Nel corso degli anni 2011-2012, l'offerta delle quote EUA ed CER ha superato la richiesta, da parte di impianti ed operatori finanziari, di permessi di emissione. Il surplus di certificati, secondo la Banca Mondiale, nel 2013 ha raggiunto quota 1,7 miliardi. Il terzo periodo di contrattazione, nel quale per un breve periodo sono stati commercializzati crediti EUA del settore dell'Aviazione, è iniziato con un eccesso di 1,5/2 miliardi di quote.

Al fine di bilanciare il sistema nel breve e lungo termine, nel Luglio 2012, la Commissione Europea ha proposto di posticipare temporaneamente parte delle Aste previste per il periodo 2013-2015. L'operazione, chiamata *Backloading*, prevede una modifica del calendario di contrattazione di 900 milioni di quote di emissione, posticipandoli al termine della terza fase. [30]. Il *Backloading* è il primo grande intervento di riforma strutturale del mercato, indebolito dalla crisi della domanda di quote da parte dei settori industriali europei, scossi dalla bassa produzione e stagnazione economica. La commissione europea ha individuato anche altri interventi necessari per rafforzare la struttura ETS. Per far crescere i prezzi, l'Unione Europea prevede di inasprire i target previsti al 2030, ritirare in modo permanente delle quote, introdurre meccanismi di stabilizzazione dei prezzi, e sottoporre all'obbligo di acquisto e controllo di quote di carbonio ulteriori settori economici.

CAPITOLO 4

ANALISI STATISTICA DEL MERCATO DELLE EMISSIONI

4.1 INTRODUZIONE

Nel capitolo precedente è stata descritta la struttura del mercato EU ETS. Al termine del capitolo è stato analizzato l'andamento del mercato, evidenziando alcune problematiche che hanno portato alla situazione attuale di surplus della domanda e prezzi bassi. Non vi è alcun dubbio che la crisi economica, accompagnata da un calo della produzione industriale europea e da inefficienze di un mercato relativamente nuovo siano tra i principali fattori che ne hanno finora influenzato l'andamento dei prezzi.

L'individuazione dei fenomeni che spiegano il mercato e la capacità di predire gli andamenti del prezzo EUA sono indispensabili per gli operatori economici e i policy makers. La conoscenza dei fattori che influenzano i cambiamenti del prezzo degli EUA e CER è fondamentale per gli operatori che si avvicinano a grandi investimenti strategici.

In questo capitolo si vogliono individuare ulteriori specifici legami tra il prezzo dei permessi di emissione e alcuni indicatori di natura economica ed energetica. Verrà posto l'interesse sull'analisi statistica univariata del prezzo delle quote EUA e di alcune variabili di possibile interesse. Infine, verranno ricercati alcuni legami tra le diverse serie di dati, allo scopo di definire modelli multiva-

riati, tra prezzo EUA quotato nella borsa ICE e principali *price driver* del mercato energetico e non.

4.2 PANORAMICA DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA PRESENTE

Molteplici studi empirici ([4], [9], [19], [46], [41], [20], [11], [12], [49]) hanno analizzato il prezzo dei permessi di emissione, allo scopo di individuare i fattori che ne influenzino l'andamento. Analisi statistiche degli ultimi anni, effettuate su serie storiche relative al mercato EU ETS, mercato elettrico, stock market o variabili atmosferiche non hanno sempre presentato risultati soddisfacenti circa le aspettative di descrizione della serie EUA. Risultati interessanti circa l'analisi del mercato ETS sono stati evidenziati nei lavori di ricerca che si sono soffermati sullo studio dei prezzi dei carbon credit nella prima fase di allocazione, la fase I (2005-2008). Durante la fase pilota infatti i permessi di emissione sono stati allocati gratuitamente, ed il mercato finanziario delle commodity era più stabile.

La crisi finanziaria, che ha generato una capillare turbolenza economica in tutti i settori, e le instabilità normative di un mercato non ben definito, hanno reso difficile l'analisi delle serie coinvolte nel mercato EU ETS e lo studio di modelli multivariati. La maggior parte dei lavori di ricerca esaminano le concessioni di emissione EUA attraverso un'analisi univariata mediante modelli statistici GARCH, adatti a descrivere la componente eteroschedastica tipica delle serie finanziarie. Chevallier (2009,2012), nei suoi più importanti contributi, ha analizzato i prezzi del carbonio mediante varie tipologie di modelli GARCH e, nel 2012, ha redatto un importante manuale di analisi econometrica del mercato europeo delle emissioni di carbonio e dei meccanismi flessibili previsti dal protocollo di Kyoto (Econometric Analysis of Carbon Market) [13]. Benz e Truck [9] hanno analizzato l'andamento dei prezzi spot del carbonio attraverso modelli Markov-switching e, per cogliere meglio la volatilità del mercato, hanno utilizzato model-

li AR(1) e GARCH (1,1). L'analisi, condotta sui dati relativi al primo anno della fase pilota, ha il pregio di aver definito un buon modello GARCH in grado di catturare le caratteristiche di asimmetria e curtosi.

Secondo Oberndorfer [46] vi è una relazione tra i prezzi del mercato elettrico e i prezzi degli EUA, essa varia tra i diversi paesi sulla base della specifica normativa locale. Egli dimostra che i cambiamenti del prezzo delle emissioni di CO₂ e quelli degli utili azionari delle più importanti aziende europee del settore elettrico sono correlati. Ad esempio, le quotazioni azionarie spagnole presentano una relazione negativa rispetto all'andamento del prezzo del commodity del mercato EU ETS, poiché, in questo stato, vi è una stringente regolamentazione nel mercato elettrico. Nelle aziende tedesche e britanniche questa relazione è positiva, all'aumento del prezzo dei carbon credit aumenta il prezzo delle quotazioni energetiche elettriche e viceversa. Fezzi e Bunn [11] utilizzano un modello a correzione di errore VECM per analizzare il mercato energetico inglese ed il mercato europeo dello scambio di quote durante la fase pilota di allocazione. Essi concludono il loro lavoro indicando come il prezzo del gas influenza il prezzo degli EUA, ed entrambi influenzano il prezzo dell'elettricità. Un aumento dell'1% del prezzo dei permessi di emissione si traduce in un aumento dello 0.32% del prezzo dell'energia elettrica nel lungo periodo.

Il legame con il mercato azionario ed il prezzo delle commodity energetiche è stato oggetto di molti studi. Tra i principali, Alberola [7]; nel 2008 ha studiato le relazioni tra il mercato energetico (considerando titoli di petrolio, gas, elettricità e carbone) e il prezzo dell'European Energy stock concludendo, come il prezzo del petrolio fosse il principale indicatore per lo sviluppo del prezzo dell'energia. Keppler e Mansonet-Bataller [41](2010) hanno realizzato uno studio sul legame tra EUA, prezzi dell'elettricità, variabili energetiche, inserendo anche variabili legate al clima (temperature medie) e all'evoluzione dei mercati finanziari (Eurostoxx 600). Nello studio "*Causalities between CO₂, electricity, and other energy varia-*

bles during phase I and phase II of the EUETS” vengono individuati rapporti di causalità alla Granger tra variabili. Successivamente, Keppler e Mansonet-Betaller effettuano una stima OLS dei coefficienti del modello di regressione lineare multipla sulla base dei rapporti di causalità emersi. Chavallier (2009) nella pubblicazione *Carbon Futures and macroeconomic risk factors* fornisce un’analisi dettagliata delle relazioni tra prezzi dei carbon *futures*, mercato Stock e Bond (Euronext 100, CRB Commodity Index, T-Bill) e variabili energetiche (prezzo elettricità, petrolio e gas naturale) mediante modelli Threshold GARCH. [12]

Nello studio dei legami tra crisi economica e settori emettitori di gas monitorati dal mercato EU ETS possiamo annoverare Declercq (2011) [20], il quale ha analizzato l’impatto della recessione economica sulle emissioni di CO₂ del settore energetico europeo. Declercq considera il prezzo delle emissioni EUA dal periodo 2008-2006 (dalla fonte ECX, European Climate Exchange), il prezzo dei carburanti gas dal 2006 al 2009. Basandosi sull’analisi contro fattuale della domanda di elettricità, del prezzo dei permessi EUA e del prezzo dei carburanti, le simulazioni svolte dimostrano che le emissioni ridotte di 150 milioni di tonnellate possono essere causate dalle conseguenze della recessione economica avvertite nel settore europeo dell’energia.

Un recente lavoro di particolare interesse è quello di Aatola, Ollikainen e Topinen (2012) [4]. Essi hanno cercato di analizzare i determinanti di prezzo nel mercato delle emissioni avvalendosi del modello di regressione mediante il metodo di stima dei parametri OLS e modello VAR, verificando relazioni di causalità tra fattori macroeconomici e non. A differenza di altre ricerche essi hanno adottato dati giornalieri riferiti al periodo 2005-2010, individuando come nel periodo sottoposto alla turbolenza finanziaria sia rimasta una relazione tra i fondamentali di prezzo dell’energia elettrica tedesca, del gas, del carbone e i prezzi EUA.

4.3 ANALISI STATISTICA: METODOLOGIA

Prima di procedere a stimare modelli multivariati, sono state eseguite delle analisi univariate di ogni serie. Sono stati quindi individuati diversi modelli statistici ARIMA, selezionati sulla base della loro capacità di cogliere meglio la dinamica della serie.

Il modello ARMA(p,q) 4.1, permette una rappresentazione di un processo stocastico che presenta una componente autoregressiva AR(p) 4.2 e una componente a media mobile MA(q) 4.3.

$$Y_t - \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} = \phi_0 + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (4.1)$$

$$\phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} \quad (4.2)$$

$$-\theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (4.3)$$

Una variante dei modelli ARMA, utilizzati nello studio di serie non stazionarie, è rappresentata dai modelli ARIMA(p,d,q) (*Autoregressive Integrated Moving Average*), resi stazionari mediante un grado d di differenziazione 4.4.

$$\phi(B)(1-B)^d Y_t = \phi_0 + \theta(B)\varepsilon_t \quad (4.4)$$

tale che B indica l'operatore ritardo $BY_t = Y_{t-1}$.

Per definire il modello adatto alla serie ed effettuare previsioni dei rendimenti si ricorre ad un procedimento proposto da Box e Jenkins nel 1976 composto da cinque fasi principali:

- analisi preliminare;
- identificazione del modello ARIMA;
- stima dei parametri del modello;

- controllo diagnostico;
- utilizzo del modello.

Nella prima fase rientra l'analisi descrittiva della serie univariata, l'individuazione della media, varianza, curtosi ed asimmetria.¹

Le variabili analizzate rappresentano serie di prezzi, nello specifico indici di commodity quotate in borsa. Per analizzare le serie finanziarie sono state applicate delle trasformazioni logaritmiche. La trasformazione logaritmica riduce e stabilizza la variabilità e viene adottata nello studio delle serie finanziarie, dove le differenziazioni logaritmiche permettono il calcolo di "rendimenti" [25].

$$r_t = \log y_t - \log y_{t-1} = \log \frac{y_t}{y_{t-1}}$$

Campbell, Lo e MacKinlay (1997) danno 2 motivazioni dell'importanza dell'uso dei rendimenti a discapito dei prezzi: per la maggior parte degli investitori l'analisi dei rendimenti di un asset da una chiara e immediata visione delle opportunità di investimento; la serie dei rendimenti è più facile da analizzare rispetto la serie dei prezzi in virtù di alcune proprietà statistiche, tra cui la stazionarietà. [56]

L'analisi descrittiva di ogni serie, sia in forma originale che trasformata, viene supportata da una rappresentazione grafica.

¹ Media:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t$$

Varianza:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{\mu})^2$$

Simmetria:

$$sk = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{y_t - \hat{\mu}}{\sigma} \right)^3$$

Curtosi:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{y_t - \hat{\mu}}{\sigma} \right)^4$$

Nella fase di analisi preliminare, è importante verificare la stazionarietà. Essa è una delle proprietà principali di un processo stocastico. Un processo è stazionario se la sua media e variabilità non cambiano in maniera sistematica e se la sua dinamica non presenta variazioni strettamente periodiche [25]. Una serie resa stazionaria mediante un grado di differenziazione si dice integrata di ordine uno $I(1)$. La stazionarietà viene individuata mediante varie tipologie di test, test sulle radici unitarie o test sulla stazionarietà.²

Nella seconda fase l'analisi delle funzioni di autocorrelazione globale (ACF) e parziale (PACF) permette di ottenere informazioni utili all'individuazione del modello ARIMA più appropriato ai dati. La funzione di autocorrelazione globale (ACF) è:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}$$

dove γ rappresenta la funzione di autocovarianza della serie in analisi. La funzione di autocorrelazione parziale (PACF) misura l'autocorrelazione tra Y_t e Y_{t-k} al netto della correlazione con le variabili intermedie [25]:

$$P_k = \text{Corr}(Y_t, Y_{t-k} | Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k+1})$$

Se le serie sono stazionarie le funzioni di autocorrelazione globale e parziale tendono ad annullarsi con una velocità esponenziale al crescere di k , mentre se esse tendono ad annullarsi molto lentamente il processo generatore dei dati è non stazionario.

² I test sulle radici unitarie 4.5 fanno riferimento al seguente sistema di ipotesi:

$$\begin{cases} H_0 : \phi = 1 \\ H_0 : |\phi| < 1 \end{cases} \quad (4.5)$$

L'ipotesi nulla viene rifiutata con valori bassi della statistica test. Test di questo tipo sono:

- ADF Test (*Augmented Dickey-Fuller*);
- PP Test *Phillips-Perron*;

Le ipotesi a cui si riferiscono i test sulla stazionarietà, tra i quali viene ricordato in particolare il Test KPSS, sono invece:

$$\begin{cases} H_0 : |\phi| < 1 \\ H_0 : \phi = 1 \end{cases} \quad (4.6)$$

Per determinare l'ordine del modello $AR(p)$ o $MA(q)$ si possono osservare i correlogrammi. In un processo a Media Mobile l'ACF ha estensione finita mentre la PACF ha estensione "infinita" e tende a zero, sulla base del valore dei parametri θ_j . In un processo Autoregressivo l'ACF ha estensione "infinita" mentre la PACF ha estensione finita e tende a zero sulla base del valore dei parametri ϕ_i . In presenza di entrambe le componenti AR ed MA l'ordine del modello non è facilmente identificabile mediante la semplice analisi dei correlogrammi, è preferibile considerare un modello $ARIMA(p,d,q)$, mediante criteri differenti. Per effettuare la scelta del modello più opportuno, ed evitare il rischio di adottare un numero eccessivo di parametri (*overfitting*) si ricorre all'utilizzo del criterio AIC (*Asymptotic Information Criterion*, Akaike, 1974). L'utilizzo del parametro AIC nella valutazione del modello più adatto dà informazioni sulla qualità del modello considerando la bontà e la qualità di adattamento dello stesso. Nel valutare diversi modelli, si preferisce quello che presenta un valore AIC più basso.

Identificato il modello migliore viene verificata la sua adeguatezza del mediante alcuni test diagnostici:

- analisi grafiche sui residui del modello;
- analisi sulla correlazione seriale dei residui del modello;
- analisi sulla distribuzione dei residui del modello;
- analisi di indipendenza dei residui.

Tra le analisi grafiche eseguite per ogni variabile oggetto di analisi vi sono l'istogramma della distribuzione dei residui, l'ACF dei residui, il grafico dei P-Value della statistica Ljung-Box, e la rappresentazione grafica dei quantili della distribuzione (QQ-PLOT). La serie dei residui del modello individuati viene trattata come una serie storica a se stante e ne viene calcolata l'autocorrelazione empirica. I test presi in considerazione sono ACF, PACF, test Box-Ljung e

test Durbin-Watson. Il test 4.7, noto come test “Portmanteau”, è il test più noto utilizzato per esaminare l’assenza di autocorrelazione dei residui, la statistica test è una somma ponderata dei quadrati delle autocorrelazioni campionarie fino all’ordine p . L’ipotesi nulla è che il valore dei primi m coefficienti di autocorrelazioni sia pari a 0.

$$Q(m) = n(n + 2) \sum_{k=1}^m \frac{1}{n - k} \hat{\rho}_k^2 \quad (4.7)$$

Anche il test Durbin-Watson, utilizzato solitamente per verificare i residui di una regressione, identifica come ipotesi nulla l’assenza di correlazione tra i residui.

Nell’analisi della distribuzione dei residui si effettuano vari tipi di test per verificarne la normalità di distribuzione, ossia che siano distribuiti come una $N(\mu, \sigma^2)$. I test considerati sono *Shapiro-Wilk’s test*, *Jarque-Bera test*, *D’Agostino normality test*. Il test Jarque-Bera(1980) è basato sull’asimmetria e curtosi della distribuzione, la sua statistica test con distribuzione chi-quadro e due gradi di libertà è:

$$JB = \frac{T}{6} \left[skewness^2 + \left(\frac{1}{4} curtosi - 3 \right)^2 \right]$$

L’ipotesi nulla dei test utilizzati è la normalità di distribuzione dei residui.

La verifica che i residui del modello siano indipendenti ed identicamente distribuiti, (i.i.d.), viene analizzata mediante il test BDS, che saggia all’ipotesi nulla la condizione i.i.d.

In caso di mancanza di normalità nella distribuzione dei residui, come è stato riscontrato nelle serie oggetto di analisi, si è cercato di individuare la distribuzione che rappresenti in modo migliore i residui dei modelli oggetto di studio. Le ipotesi di distribuzione verificate sono:

- distribuzione t di Student;
- Generalised Error Distribution (GED);
- Normale Asimmetrica;

che descrivono, rispettivamente la media condizionata e la varianza condizionata.

$$\begin{aligned} Y_t &= \mu + \sigma_t \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &\sim n.i.d. (0,1) \\ (Y_t - \mu) | I_{t-1} &\sim N(0, \sigma_t^2) \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i (Y_{t-i} - \mu)^2 \end{aligned} \tag{4.8}$$

dove $\mu \in R, \alpha_0 > 0 (i = 1, \dots, p)$ In questo modello la varianza condizionata evolve in funzione dei valori passati di $(Y_t - \mu)^2$ in modo autoregressivo. Poiché spesso per modellare un ARCH è necessario un ordine p elevato, è stato proposto un modello GARCH(p, q), il pregio del quale è quello di modellare varianza condizionata σ_t^2 in funzione degli errori passati e dei ritardi di se stessa. Nell'analisi delle variabili finanziarie oggetto di questo lavoro, si è proceduto quindi alla stima di appropriati modelli GARCH, specificando l'opportuna distribuzione dei residui della serie.

4.4 ANALISI DELLE VARIABILI

Le serie analizzate sono giornaliere ma non includono sabati, domeniche e festività, in quanto legate ai giorni di apertura dei mercati finanziari. La fonte dei dati è il database di *Bloomberg*. Tuttavia le serie verranno trattate come se le osservazioni fossero equispaziate temporalmente. Considerando i recenti studi sul mercato europeo ETS, si è deciso di analizzare diverse tipologie di variabili.

Variabile principale oggetto di studio:

- *EUA Emission Allowance Price*, mercato Europeo, piattaforma *ICE Futures Europe*.

Variabili settore energetico:

- *Brent Crude Oil*, quotazione petrolio, *ICE Futures Europe*;

- Natural Gas Futures, piattaforma *ICE Futures Europe*.

Settore Elettrico:

- Electricity spot price, mercato europeo piattaforma *Nordpool Power Exchange*;

Indicatori macroeconomici:

- DAX, piattaforma *Frankfurt Stock Exchange*;
- EURO STOXX 50 piattaforma *futures Eurex Exchange*.

Nella tabella 4.1, vengono riportate le principali statistiche descrittive sulle serie studiate, i valori si riferiscono alla valuta euro.

Tabella 4.1: Statistiche descrittive delle serie

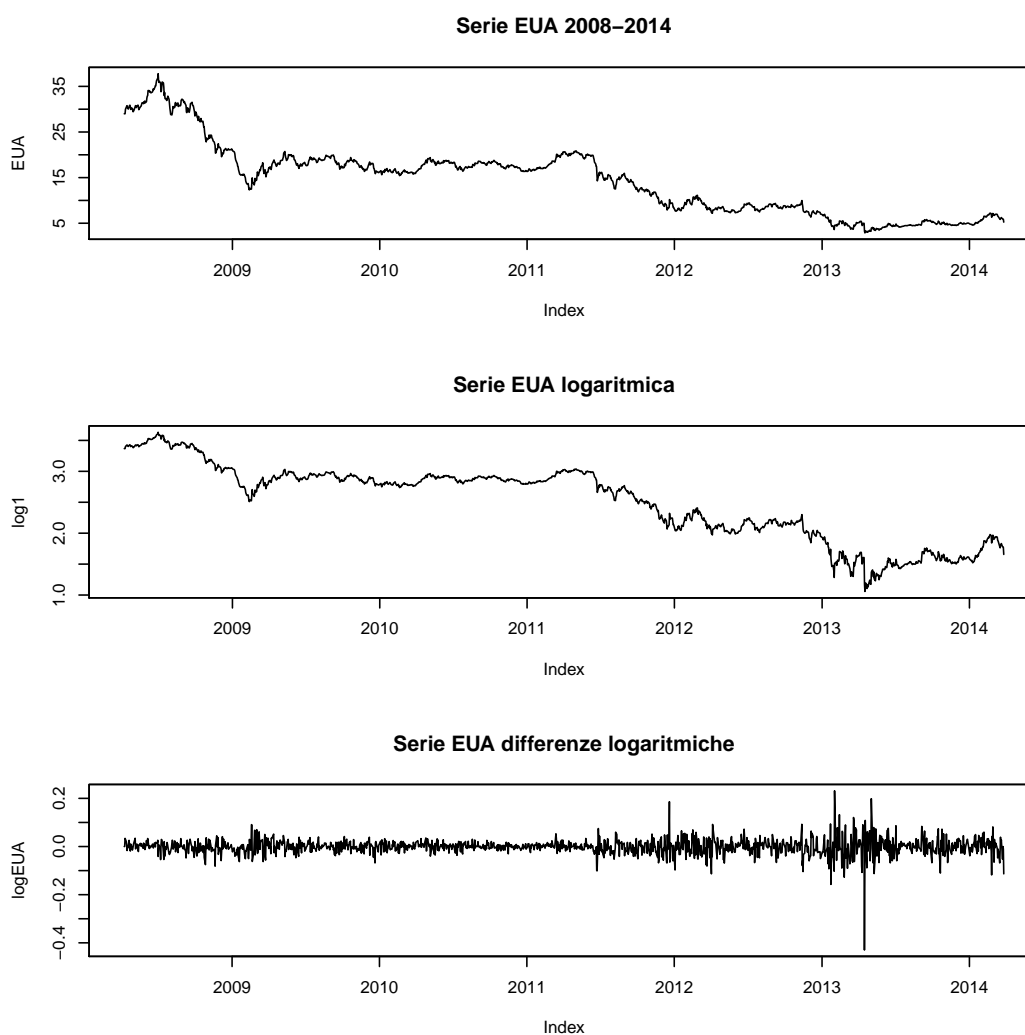
CO1.Comdt.brent.crude.oil	VG1.Index	FN1.Comdty	ENWSSPAV.Index	EUA Comdty	Dax
Min. : 39.55	Min. :1808	Min. :18.25	Min. : 6.27	Min. : 2.880	Min. :3666
1st Qu.: 77.62	1st Qu.:2452	1st Qu.:42.74	1st Qu.: 33.65	1st Qu.: 7.803	1st Qu.:5745
Median :106.03	Median :2711	Median :57.62	Median : 39.20	Median :16.065	Median :6420
Mean : 95.96	Mean :2696	Mean :53.63	Mean : 41.83	Mean :14.505	Mean :6471
3rd Qu.:111.88	3rd Qu.:2879	3rd Qu.:64.87	3rd Qu.: 48.75	3rd Qu.:18.503	3rd Qu.:7207
Max. :146.08	Max. :3865	Max. :85.26	Max. :103.25	Max. :37.780	Max. :9387

4.4.1 EUA *European Union Allowance*

La serie EUA, è rappresentativa della variabile più importante, relativa ai prezzi *forward* del mercato delle emissioni di carbonio contrattate all'interno della piattaforma di mercato ICE. L'unità di trading nella piattaforma di borsa è rappresentata da 1000 permessi di emissione, un permesso si riferisce a 1 tonnellata di CO₂. La serie riporta le osservazioni giornaliere (*last price*) dell'indice borsistico dal 8/04/2008 al 27/03/2014, analizzata mediante il software statistico R. Benz e Trück [9] hanno realizzato un importante studio, nel quale hanno individuato come modello statistico adeguato a definire la serie EUA giornaliera del 2005 un AR(1)-GARCH(1,1). Viene qui proposta un'analisi della serie che mira a definire un modello che ne descriva il meccanismo di generazione per un diverso arco temporale.

Nella figura 4.1 è riportato un confronto tra trasformazioni della medesima serie temporali: la serie con dati originali, la serie logaritmica e quella dei rendimenti logaritmici.

Figura 4.1: Rappresentazione della serie European Union Allowance (EUA)



Visivamente, la serie originaria appare come non stazionaria, e mostra chiaramente la presenza di una componente tendenziale. I prezzi dei permessi di emissione nei primi anni di analisi hanno raggiunto un picco di €35 nel 2008, per poi scendere progressivamente a €5 nel 2014. La causa della drastica riduzione è da ritrovare nell'eccessiva allocazione di quote, nella scarsità della domanda e nel contesto economico europeo nel quale la produzione industriale è diminuita.

Le analisi preliminari descrittive vengono illustrate nella tabella 4.2 utilizzando i valori della serie originale.

Tabella 4.2: Statistiche descrittive serie EUA

Serie EUA	
Media	14.50
Varianza	7.73
Asimmetria	0.59
Curtosi	2.94

Come precedentemente ipotizzato mediante la visione della serie originaria, il test ADF conferma la non stazionarietà, ossia la presenza di radici unitarie.

Augmented Dickey-Fuller Test

Dickey-Fuller = -2.4848, Lag order = 11, p-value = 0.3731

alternative hypothesis: stationary

Le funzioni di Autocorrelazione Globale e Parziale, eseguite sulla serie stazionaria, sono visibili nella figura 4.2.

Figura 4.2: Correlogrammi serie LogEUA

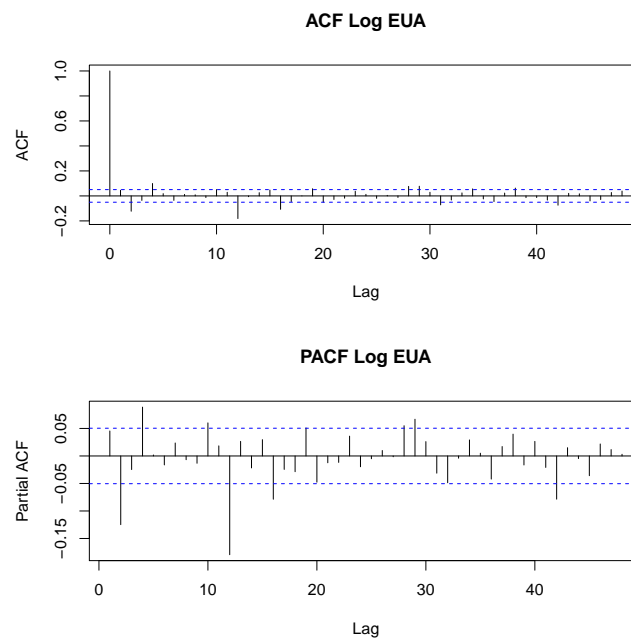


Tabella 4.3: Test Box-Ljung serie stazionaria EUA: Lag 1-10

	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 4	Lag 5	Lag 6	Lag 7	Lag 8	Lag 9	Lag 10
p-value	0,0365	0,0052	3.7e-04	1.9e-05	6.45e-05	1.5e-11	1.7e-11	4.6e-11	8.7e-13	2.3e-12

Viene eseguito quindi il test *Box-Ljung*, che conferma la presenza di correlazione nella serie in diversi lag temporali, i p-value del test dal lag 1 al lag 10 sono riportati nella tabella.

Tra i vari tipi di modelli analizzati, quello prescelto secondo il criterio del minimo AIC (-6108.34) e considerando la significatività dei coefficienti risulta essere un ARIMA (4,0,0), nel quale viene fissato a zero il coefficiente relativo al tempo t-3.

ARIMA(4, 0, 0) with zero mean

Coefficients:

	ar1	ar2	ar3	ar4
	0.0556	-0.1137	0	0.0895
s.e.	0.0255	0.0257	0	0.0257

sigma^2 estimated as 0.001022: log likelihood=3058.17

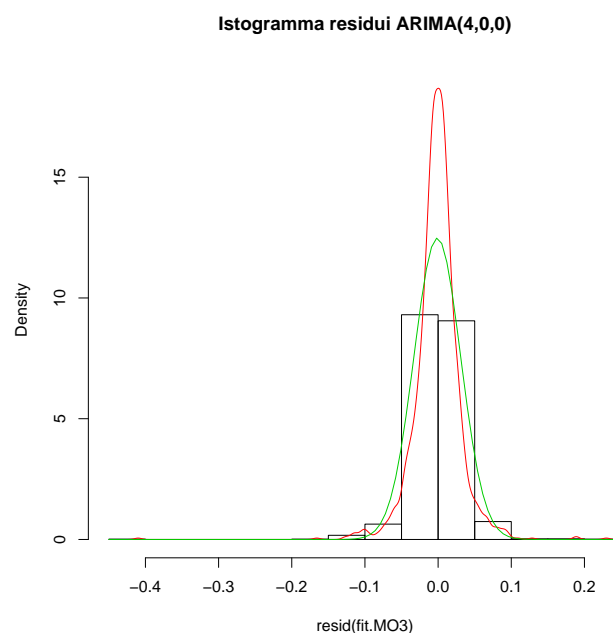
AIC=-6108.34 AICc=-6108.3 BIC=-6081.73

Il modello stimato è pertanto:

$$Y_t = -0.0556Y_{t-1} - 0.1137Y_{t-2} - 0.0895Y_{t-4} + \varepsilon_t \quad (4.9)$$

Rientrano a far parte delle analisi grafiche svolte l'istogramma dei residui modello ARIMA (figura 4.3), nel quale la distribuzione dei residui viene affiancata ad una distribuzione normale, la diagnostica generale di figura 4.4, nel quale si osserva l'ACF dei residui e la statistica *Box-Ljung* che verifica l'assenza di correlazione presente a vari lag temporali.

Figura 4.3: Istogramma residui Modello ARIMA (4,0,0)



Osservando il grafico Quantile-Quantile in rapporto alla distribuzione normale 4.5 e l'istogramma 4.3 emerge la presenza di code "pesanti", tipica di una distribuzione leptocurtica.

I test di normalità *Shapiro-Wilk* e *Jarque-Bera* confermano, con p-value prossimo allo zero, quanto ipotizzato dal grafico Q-Q Plot, ossia la distribuzione non normale dei residui.

Shapiro-Wilk normality test

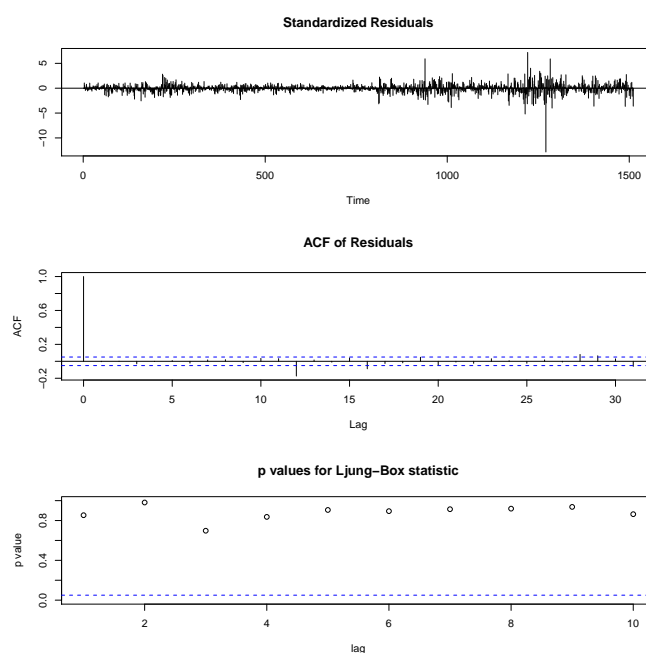
W = 0.8754, p-value < 2.2e-16

Jarque Bera Test

X-squared = 31397.98, df = 2, p-value < 2.2e-16

Viene individuata una distribuzione in grado di descrivere i residui del modello. In questo caso la distribuzione che si adatta meglio alla serie è una *t di student asimmetrica*.

Figura 4.4: Diagnostica residui Modello ARIMA (4,0,0)



Dopo la visione degli ACF e PACF dei residui al quadrato del modello, viene verificata la presenza di eteroschedasticità nei residui, e quindi di effetti ARCH mediante il test ARCH-LM, il quale rifiuta l'ipotesi nulla di mancanza di varianza condizionata nella serie.

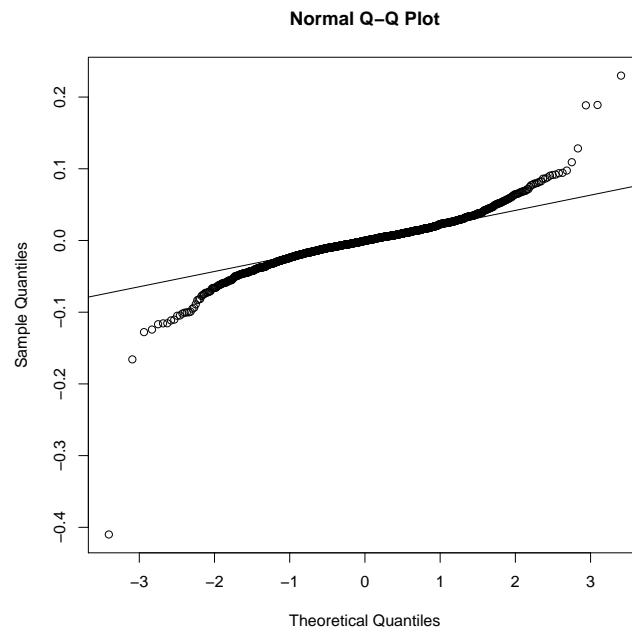
ARCH LM-test; Null hypothesis: no ARCH effects

Chi-squared = 92.3534, df = 12, p-value = 1.732e-14

Essendo violate le condizioni di normalità e di omoschedasticità dei residui del modello, risulta inadeguata la rappresentazione della serie mediante un modello ARIMA(4,0,0). Vengono stimati dei modelli ARCH e GARCH, adatti a cogliere la presenza di varianza condizionata.

Viene stimato un modello GARCH(1,1):

Figura 4.5: Q-Q Plot residui Modello ARIMA (4,0,0)



Coefficient (s):

	mu	omega	alpha1	beta1	skew	shape
	-2.5106e-04	8.1282e-06	1.2055e-01	8.8089e-01	9.6122e-01	5.6014e+00

Error Analysis:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
mu	-2.511e-04	5.228e-04	-0.480	0.6311
omega	8.128e-06	3.423e-06	2.374	0.0176 *
alpha1	1.206e-01	2.283e-02	5.280	1.29e-07 ***
beta1	8.809e-01	2.055e-02	42.873	< 2e-16 ***
skew	9.612e-01	3.672e-02	26.177	< 2e-16 ***
shape	5.601e+00	7.569e-01	7.400	1.36e-13 ***

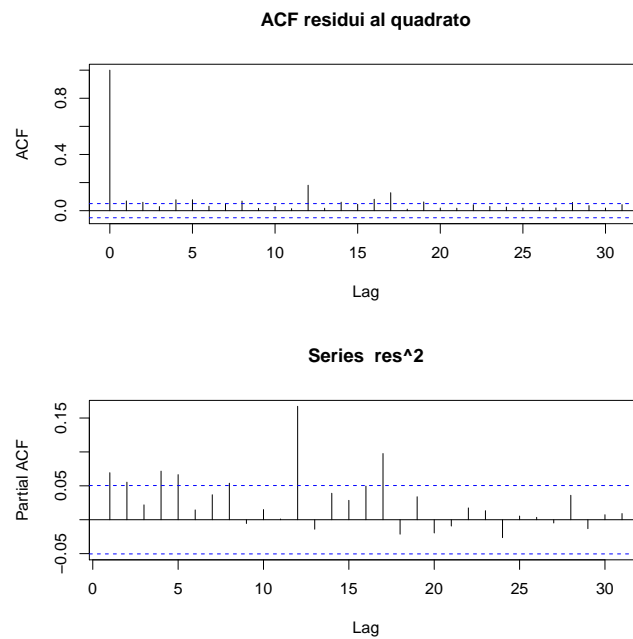
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Log Likelihood:

3469.93 normalized: 2.296446

Standardised Residuals Tests:

Figura 4.6: Residui al quadrato del modello



			Statistic	p-Value
Jarque-Bera Test	R	Chi ²	861.7619	0
Shapiro-Wilk Test	R	W	0.9698994	0
Ljung-Box Test	R	Q(10)	16.97798	0.0748527
Ljung-Box Test	R	Q(15)	23.78988	0.06874861
Ljung-Box Test	R	Q(20)	27.26733	0.1279091
Ljung-Box Test	R ²	Q(10)	3.474711	0.9679501
Ljung-Box Test	R ²	Q(15)	6.001037	0.9797303
Ljung-Box Test	R ²	Q(20)	14.56622	0.8006675
LM Arch Test	R	TR ²	4.129174	0.980991
Information Criterion Statistics:				
	AIC	BIC	SIC	HQIC
	-4.584950	-4.563823	-4.584982	-4.577083

Il modello GARCH (1,1) stimato sui residui del modello ARIMA (4,0,0) e nel

quale è stata imposta una distribuzione dei residui t di student asimmetrica, sembra il più adatto a rappresentare il processo generatore dei dati. Il valore AIC è il minore rispetto a un modello ARCH (1), i parametri del modello GARCH, α e β sono significativi. Anche parametri *skew* e *shape* riferiti alla distribuzione degli errori risultano essere significativi. I test verificano la non normalità di distribuzione e l'indipendenza dei residui.

4.4.2 Variabili settore energetico

Nel mercato ETS il settore energetico ricopre un ruolo cruciale, influenzando la domanda e l'offerta di quote. Infatti, ad esempio, se la correlazione tra il prezzo del Gas europeo e il prezzo dei permessi di emissione è alta, i trader finanziari analizzano il mercato EU ETS per anticipare l'evoluzione del prezzo del gas nel breve termine e viceversa. Il settore industriale ha percepito duramente gli effetti della crisi finanziaria, riducendo drasticamente la produzione, contribuendo al crollo della richiesta di permessi di emissione di gas GHG. Nel corso degli ultimi anni gli impianti operanti nel settore industriale hanno venduto gran parte delle loro quote nelle apposite piattaforme del mercato finanziario spingendo verso il basso il prezzo del carbonio. È importante per gli operatori finanziari e gli soggetti sottoposti al controllo delle emissioni prodotte analizzare l'evoluzione del mercato energetico per poter stimare comportamenti del prezzo del mercato dei permessi di emissione e pianificare strategie industriali opportune.

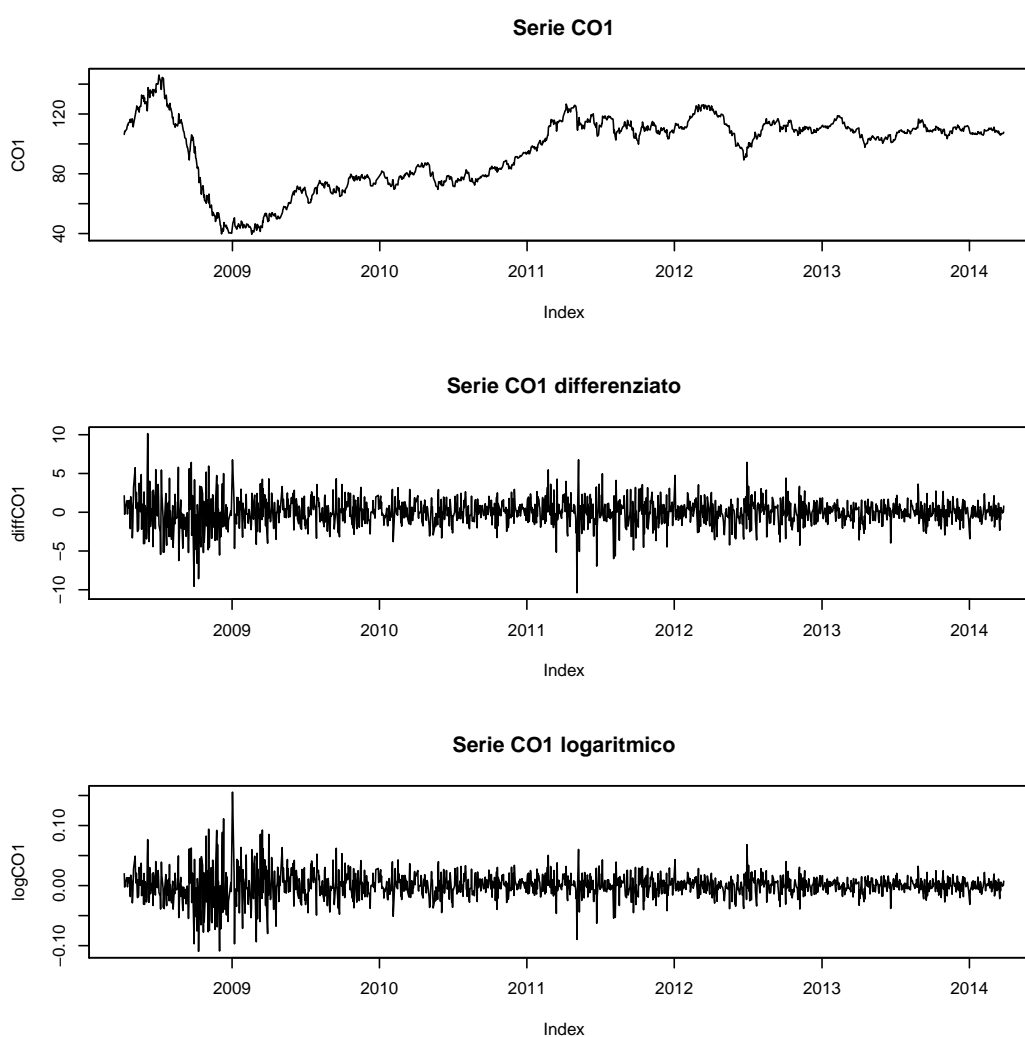
In questa sede si vuole analizzare l'evoluzione di due variabili significative per il mercato EU ETS:

- CO1 Comdty Brent OIL, indice di quotazione del Petrolio nella piattaforma *ICE Futures Europe*;
- FN1 Natural Gas Futures, indice di quotazione Gas Naturale nella piattaforma *ICE Futures Europe*.

4.4.3 CO1 Comdty Brent OIL

L'indice CO1 Comdty Brent OIL è un indice *futures*, contrattato nella borsa europea con valuta dollaro americano \$. L'unità di contrattazione è rappresentata da 1000 Barili ad un prezzo di 0,01 dollari al barile. La serie ricopre le osservazioni dal 8/04/2008 al 27/03/2014. Come precedentemente analizzato in molteplici articoli scientifici, questa variabile rappresenta un benchmark di particolare interesse nel mercato di contrattazione delle quote EUA. Nella figura 4.7 vi è un confronto tra trasformazioni della medesima serie temporali: la serie con dati originali, la serie logaritmica e quella dei rendimenti.

Figura 4.7: Rappresentazione della serie CO1 (*CO1 Comdty Futures*)



Vengono presentate, nella tabella 4.4 le principali statistiche descrittive effettuate sulla serie CO1 non trasformata:

Tabella 4.4: Statistiche descrittive serie CO1

Serie CO1	
Media	95.959
Varianza	22.828
Asimmetria	-0.661
Curtosi	2.557

La serie, analizzata mediante i test ADF, KPSS e PP, risulta non stazionaria. La serie è stata resa stazionaria mediante una differenziazione logaritmica. Viene quindi definito un modello utilizzando la serie storica dei rendimenti.

Dal test di autocorrelazione ACF e PACF non viene individuata una correlazione all'interno delle serie, mentre il test Box-Ljung al lag 1 presenta p-value pari al 0.044, che consente di rifiutare ad un livello di significatività del 5% l'ipotesi nulla di assenza di autocorrelazione dei residui.

Per la serie in analisi è stato stimato un modello ARIMA (1,0,0).

ARIMA(1,0,0) with zero mean

Coefficients:

ar1

-0.0552

s.e. 0.0257

sigma^2 estimated as 0.0004824: log likelihood=3625.5

AIC=-7246.99 AICc=-7246.99 BIC=-7236.35

definito nel seguente modo:

$$Y_t = -0.0552Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.10)$$

La diagnostica del modello è presente nelle figure 4.8 e 4.9.

Figura 4.8: Istogramma residui Modello ARIMA (1,0,0)

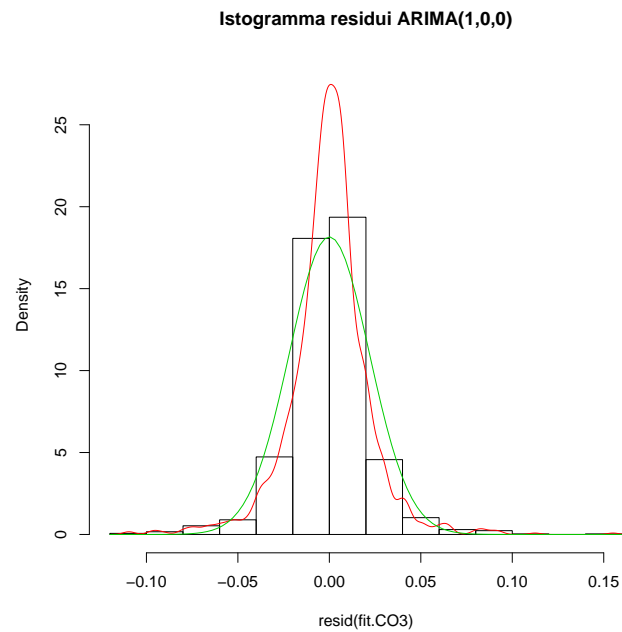
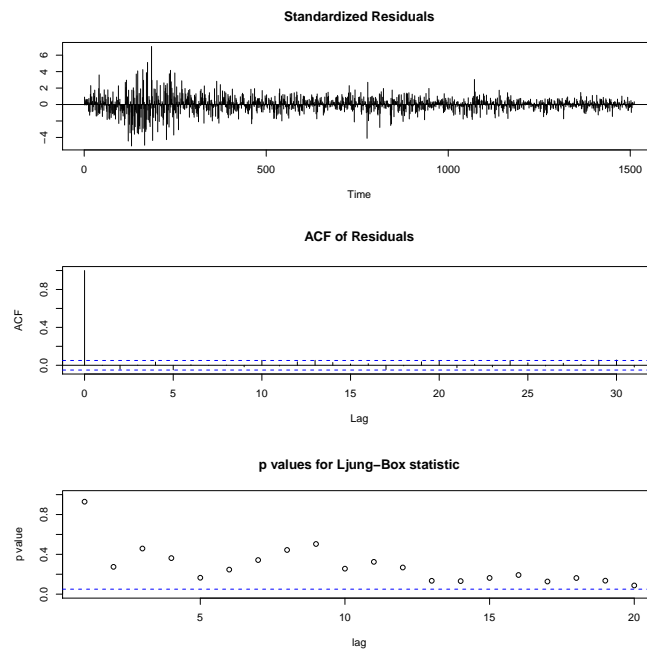


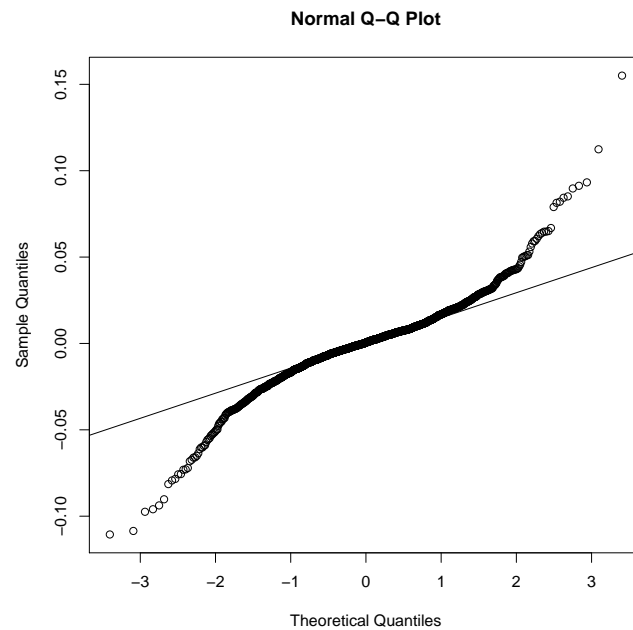
Figura 4.9: Diagnostica residui Modello ARIMA (1,0,0)



I test Jarque-Bera e Shapiro evidenziano una distribuzione non normale dei residui, come visibile dal grafico Q-Q Plot 4.10 la distribuzione è leptocurtica.

La distribuzione dei residui del modello ARIMA(1,0,0) risulta essere una Nor-

Figura 4.10: Q-Q Plot residui Modello ARIMA (1,0,0)



male Inversa Gaussiana, *NIG*. Dai risultati del test ARCH i residui risultano essere eteroschedastici. Si individua la necessità di definire un modello che colga la presenza di eteroschedasticità, e nel quale venga inserita la distribuzione dei residui più adatta.

Viene quindi stimato un modello GARCH(1,1):

Coefficient (s) :

	mu	omega	alpha1	beta1	skew
	9.4249e-05	8.3701e-07	4.6388e-02	9.5204e-01	-1.1276e-01
shape					
					2.1543e+00

Error Analysis:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
mu	9.425e-05	3.929e-04	0.240	0.8104
omega	8.370e-07	7.620e-07	1.098	0.2720
alpha1	4.639e-02	1.051e-02	4.415	1.01e-05 ***

```

beta1    9.520e-01    1.035e-02    91.963    < 2e-16    ***
skew     -1.128e-01    5.285e-02    -2.134    0.0329    *
shape    2.154e+00    5.374e-01    4.008    6.11e-05    ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Log Likelihood:
 3963.234    normalized:  2.622921
Standardised Residuals Tests:

                                Statistic p-Value
Jarque-Bera Test    R    Chi^2  163.2921    0
Shapiro-Wilk Test  R    W      0.9874302  3.672359e-10
Ljung-Box Test     R    Q(10)  5.325044    0.8684345
Ljung-Box Test     R    Q(15)  8.0588      0.9214037
Ljung-Box Test     R    Q(20)  9.335154    0.9786902
Ljung-Box Test     R^2  Q(10)  16.39288    0.08892465
Ljung-Box Test     R^2  Q(15)  17.79928    0.2733649
Ljung-Box Test     R^2  Q(20)  21.07709    0.3926077
LM Arch Test       R    TR^2   16.59641    0.1654197
Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-5.237901 -5.216774 -5.237932 -5.230033

```

Questo modello risulta essere il più adatto a rappresentare la serie dei rendimenti. I coefficienti α e β , *skew* e *shape* sono significativi. I residui non risultano essere autocorrelati, tuttavia non sono distribuiti gaussianamente.

4.4.4 UK Natural Gas Futures

Indice UK Natural Gas Futures, così come l'indice Brent è un indice *futures*, trattato nella medesima piattaforma *ICE Futures Europe*, che ha sede a Londra.

Questo indice viene utilizzato a titolo di esempio della quotazione del gas naturale in Europa. Una unità di trading è espressa in sterlina ed rappresentata da 1000 British Thermal unit giornalieri (Btu)³ dal valore di 300 sterline. La serie ricopre le osservazioni dal periodo 8/04/2008 al 27/03/2014. Il mercato energetico britannico è dotato di un elevato livello di liquidità e si può considerare altamente liberalizzato, mediante il progressivo processo di liberalizzazione partito negli anni '80. Esso è strettamente interconnesso con le politiche e le caratteristiche del mercato energetico europeo; per questo motivo l'indice è un importante riferimento benchmark analizzato dagli operatori finanziari nello studio del mercato EU ETS.

L'andamento di questo indice rispecchia in gran parte l'evoluzione dell'indice petrolifero ICE Brent Crude Oil. La quotazione ha risentito, durante gli anni 2008-2009 degli effetti della crisi, visibile in un repentino abbassamento dei prezzi da quota 80 sterline quota 20 sterline, come visibile nella figura 4.11.

Le principali statistiche descrittive, eseguite sulla serie FN1, sono riportate in figura 4.5 :

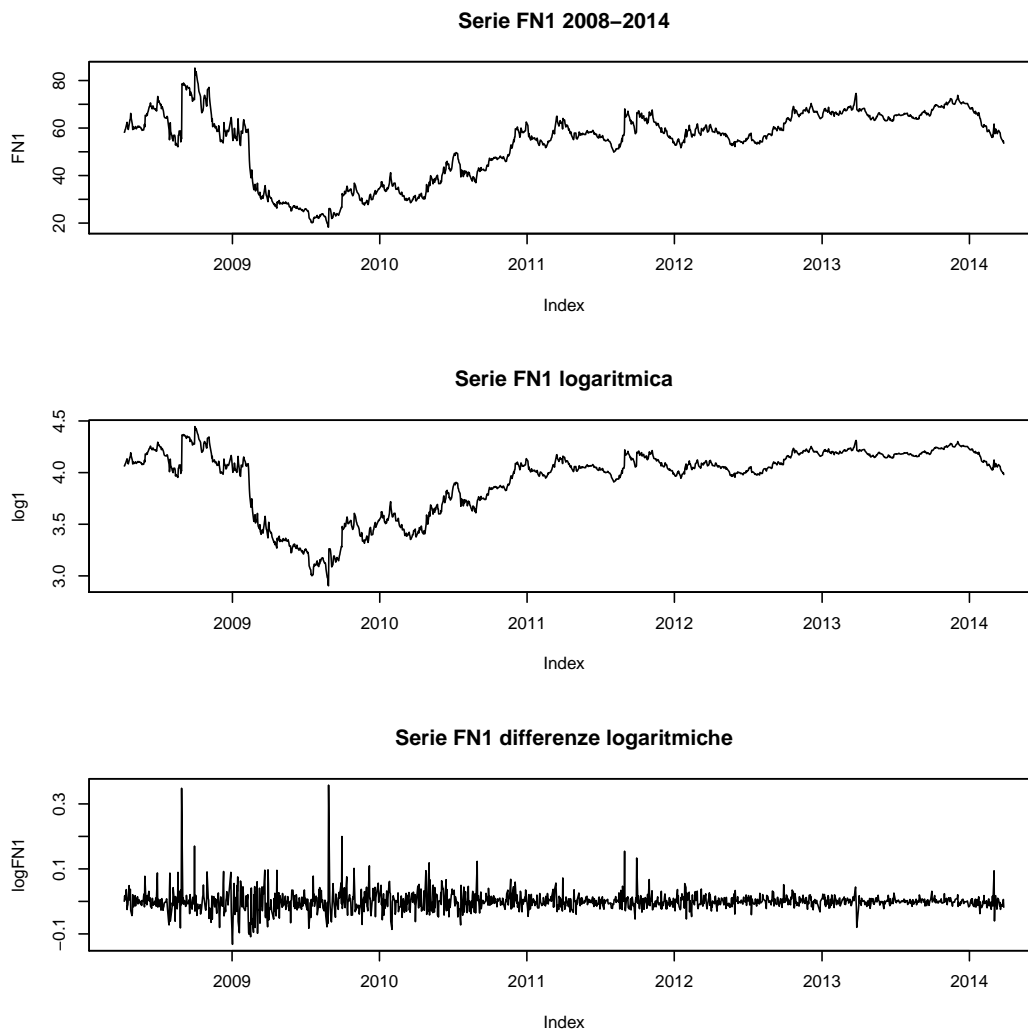
Tabella 4.5: Statistiche descrittive serie FN1

Serie FN1	
Media	53.628
Varianza	206.352
Asimmetria	-0.717
Curtosi	2.426

La serie viene resa stazionaria mediante una differenziazione logaritmica. Viene verificata l'autocorrelazione globale e parziale ACF e PACF visibile nella figura 4.12. Il test Box-Ljung conferma la presenza di autocorrelazione all'interno della serie dei rendimenti logaritmici.

Viene stimato un modello ARIMA (4,0,0) sulla serie dei rendimenti logaritmici.

³Btu è la tradizionale unità di misura dell'energia, essa è rappresentativa di unità termica ed è convertibile in altre unità di misura $3412 \text{ BTUs} = 1 \text{ kWh}$ [58]§

Figura 4.11: Rappresentazione della serie FN1 (*FN1 Natural Gas*)

ARIMA(4,0,0) with zero mean

Coefficients:

	ar1	ar2	ar3	ar4
	0	0	-0.0704	-0.0685
s.e.	0	0	0.0256	0.0256

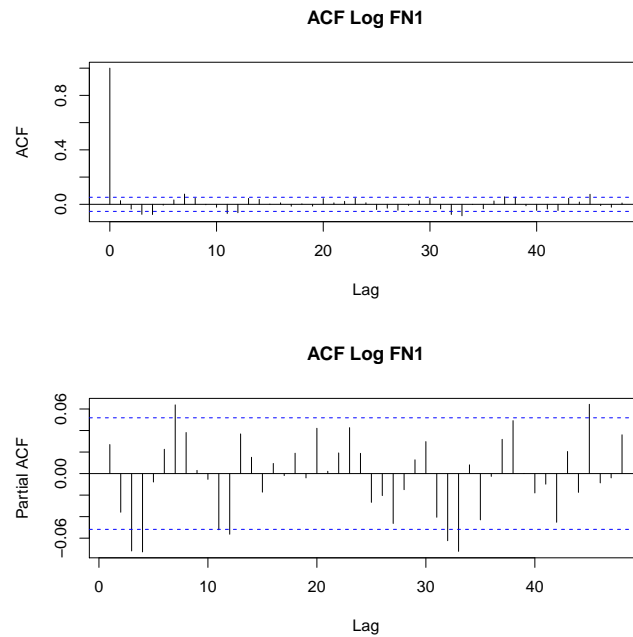
sigma² estimated as 0.0008479: log likelihood=3199.45

AIC=-6392.91 AICc=-6392.87 BIC=-6366.3

definito nel seguente modo:

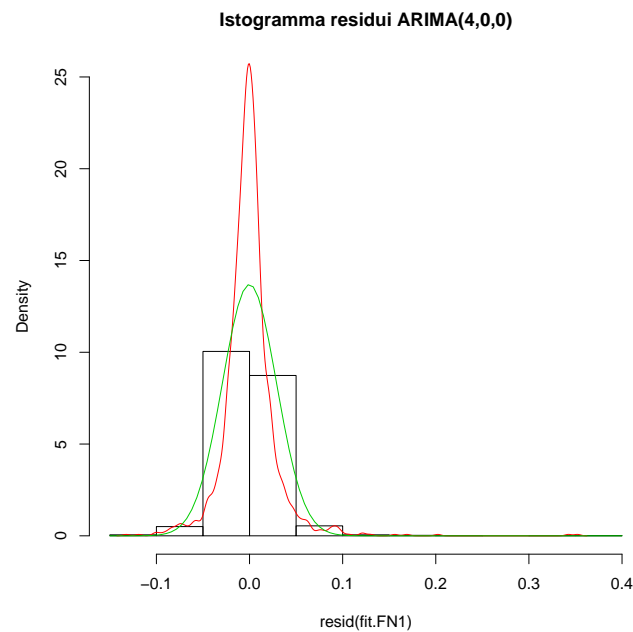
$$Y_t = -0.0704Y_{t-3} - 0.0685Y_{t-4} + \varepsilon_t \quad (4.11)$$

Figura 4.12: Correlogrammi serie LogFN1



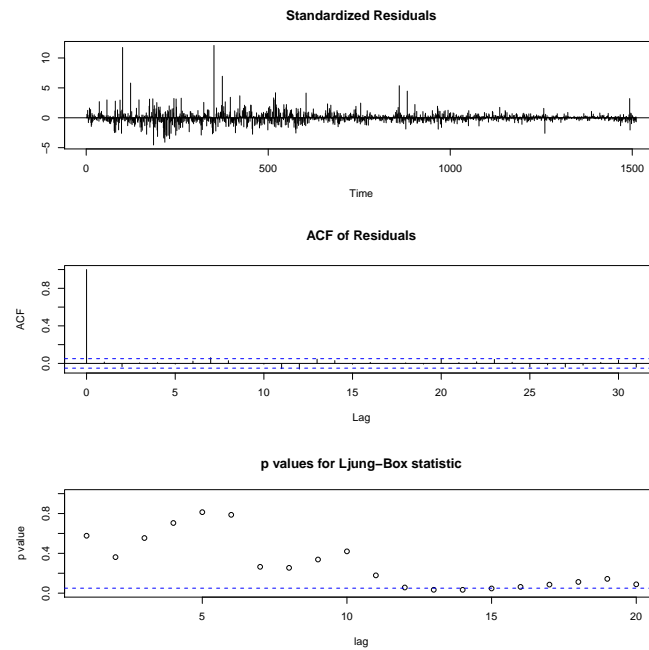
Nelle figure 4.13 e 4.14 è visibile la diagnostica della del modello.

Figura 4.13: Istogramma residui Modello ARIMA (2,0,2)



La distribuzione dei residui non è normale, ma risulta essere una *t di Student*. Il test ARCH effettuato sui residui porta ad accettare l'ipotesi nulla di assenza di

Figura 4.14: Diagnostica residui Modello ARIMA (2,0,2)



effetti ARCH e quindi di assenza di eteroschedasticità nel modello.

ARCH LM-test; Null hypothesis: no ARCH effects

Chi-squared = 7.9717, df = 12, p-value = 0.7873

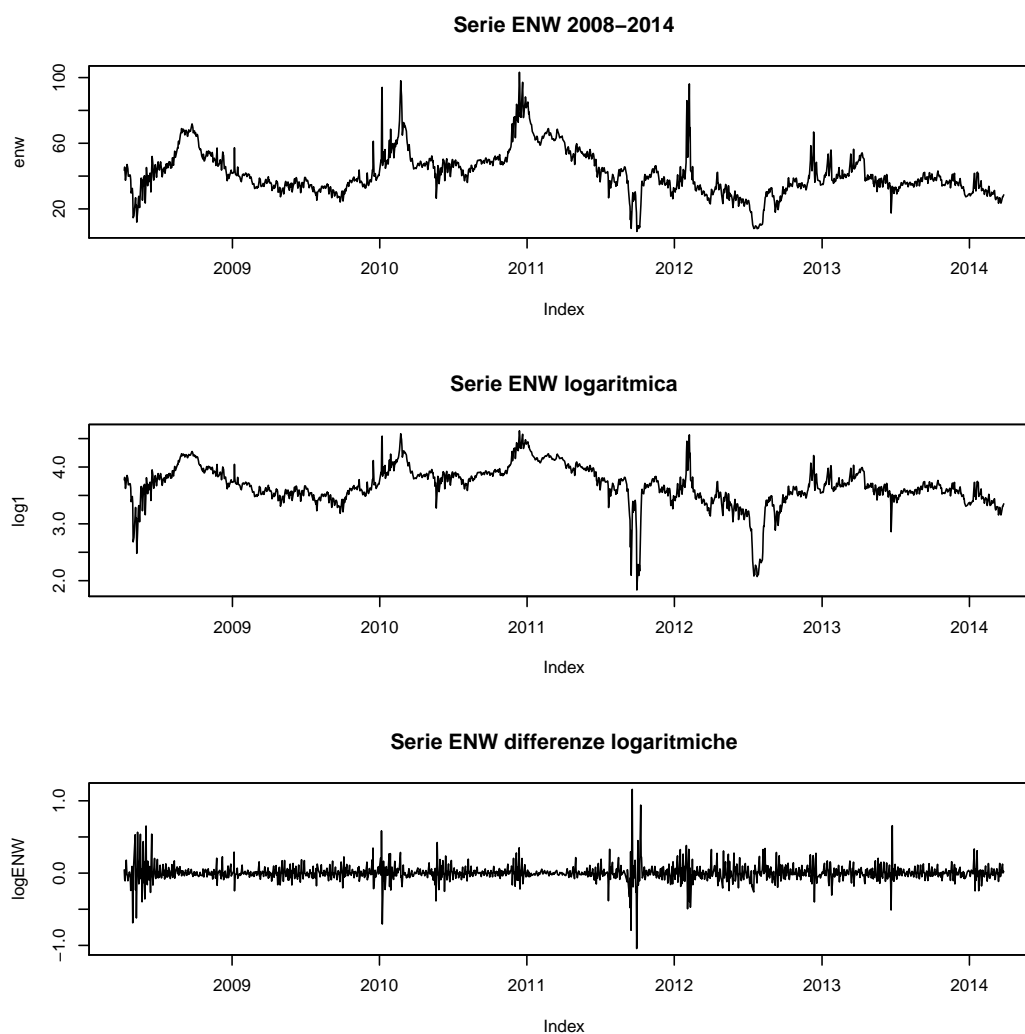
Il modello ARIMA(4,0,0) sembra adatto a rappresentare la serie UK Natural Gas Futures. Tuttavia i test BDS e Terasvirta sembrano individuare una componente non lineare nel modello. Si renderebbe necessaria la stima di modelli non lineari che non vengono trattati in questa tesi.

4.4.5 Electricity spot price

Viene inserito nell'analisi il prezzo spot dell'elettricità. La piattaforma di scambio nella quale viene quotata la variabile è diversa da quella relativa alle variabili energetiche ed il prezzo EUA. Sebbene la fonte della serie in analisi sia differente, essa viene quotata in un area di mercato soggetta alle normative europee, alla rigida regolamentazione, al controllo delle emissioni GHG imposto da Kyoto e dalle successive direttive. La serie Electricity spot price è rappresentativa del prezzo spot dell'energia elettrica nel mercato Nordico, ottenuta dalla piattaforma Nord Pool. Molteplici studi hanno analizzato le relazioni esistenti tra le emissioni ed i prezzi del settore elettrico ed il mercato dei permessi di emissione. Sulla base dei precedenti lavori di ricerca, si può ritenere che essi siano strettamente interconnessi. Il settore elettrico rappresenta uno dei maggiori emettitori di gas serra, i cui impianti di produzione sono sottoposti alla normativa del mercato EU ETS, per il controllo delle emissioni e l'acquisizione di permessi. Il mercato della piattaforma Nord Pool si estende in tutti i paesi nordici, operando anche in Germania. Durante l'arco temporale in analisi (8/04/2008-27/03/2014), nella serie, espressa in euro, non sono visibili marcati trend, ma oscillazioni periodiche, rappresentative soprattutto di effetti ciclici. Questa variabile, infatti, è rappresentativa di una serie di effetti ciclici di particolare interesse che la rendono utile nelle analisi successive di raffronto con il mercato EU ETS. Questa variabile subisce in modo marcato le influenze degli sbalzi termici che si manifestano durante l'anno, che rappresentano gli aumenti di domanda di energia elettrica, e quindi di consumo generale, e, pertanto, di aumento delle emissioni di gas GHG.

Il prezzo spot ha raggiunto picchi durante gli anni 2010, 2011 e 2012 pari a circa 100 euro, e valori minimi riscontrabili negli stessi anni 2011 e 2012 pari a circa 18 euro. L'unità di trading di questa quotazione è rappresentata da euro/mwh, ovvero 1000 Kilowatt ora.

Figura 4.15: Rappresentazione della serie Electricity Spot Price (*ENWSSPAV Index*)



Le principali statistiche descrittive, realizzate sulla serie originale, sono illustrate in tabella 4.6 :

Tabella 4.6: Statistiche descrittive serie Electricity Sport Price

	Serie ENW
Media	41.828
Varianza	182.63
Asimmetria	0.831
Curtosi	4.679

La serie viene resa stazionaria mediante una differenziazione logaritmica. Il

test Box-Ljung conferma la presenza di autocorrelazione all'interno della serie dei rendimenti in specifici lag temporali.

Viene definito un modello ARIMA (5,0,1):

ARIMA(5,0,1) with zero mean

Coefficients:

	ar1	ar2	ar3	ar4	ar5	ma1
	-0.3659	-0.1295	-0.0996	-0.0916	0.2639	0.1596
s.e.	0.0705	0.0317	0.0278	0.0278	0.0280	0.0715

sigma² estimated as 0.01168: log likelihood=1217.74

AIC=-2421.48 AICc=-2421.41 BIC=-2384.24

Il modello ARIMA(5,0,1) non riesce a descrivere in maniera in modo ottimale la dinamica della serie. I residui infatti risultano non essere distribuiti in modo normale. Inoltre permangono delle correlazioni a diversi lag temporali ed è presente dell'eteroschedasticità verificate mediante il test ARCH.

Viene verificata la presenza di trend non lineare all'interno della variabile oggetto mediante il Test di White:

White Neural Network Test

X-squared = 66.9211, df = 2, p-value = 2.887e-15

La serie non risulta essere lineare in media, i modelli ARIMA non riescono pertanto a coglierne in maniera completa le caratteristiche. Viene definito ugualmente un modello GARCH in grado di descrivere la dinamica della varianza condizionata. Al modello *apARCH*(1,1), viene aggiunta una componente ARMA(5,0).

GARCH Model : *apARCH*(1,1)

Mean Model : ARFIMA(5,0,0)

Distribution : nig

Optimal Parameters

```
-----
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
mu	-0.002598	0.001317	-1.9730	0.048497
ar1	-0.140810	0.025393	-5.5453	0.000000
ar2	-0.102743	0.023205	-4.4277	0.000010
ar3	-0.083548	0.022031	-3.7923	0.000149
ar4	-0.123042	0.021625	-5.6899	0.000000
ar5	0.322233	0.023862	13.5037	0.000000
omega	0.000957	0.000810	1.1817	0.237342
alpha1	0.379693	0.058035	6.5425	0.000000
beta1	0.679199	0.043194	15.7242	0.000000
gamma1	0.282992	0.058285	4.8553	0.000001
delta	1.629572	0.295760	5.5098	0.000000
skew	0.095995	0.052188	1.8394	0.065855
shape	0.582622	0.095012	6.1321	0.000000

Questo modello è in grado di cogliere in modo migliore, rispetto ad un ARI-MA(5,0,1), il meccanismo generatore dei dati.

4.4.6 Stock Market: DAX Index, EUROSTOXX 50 Index

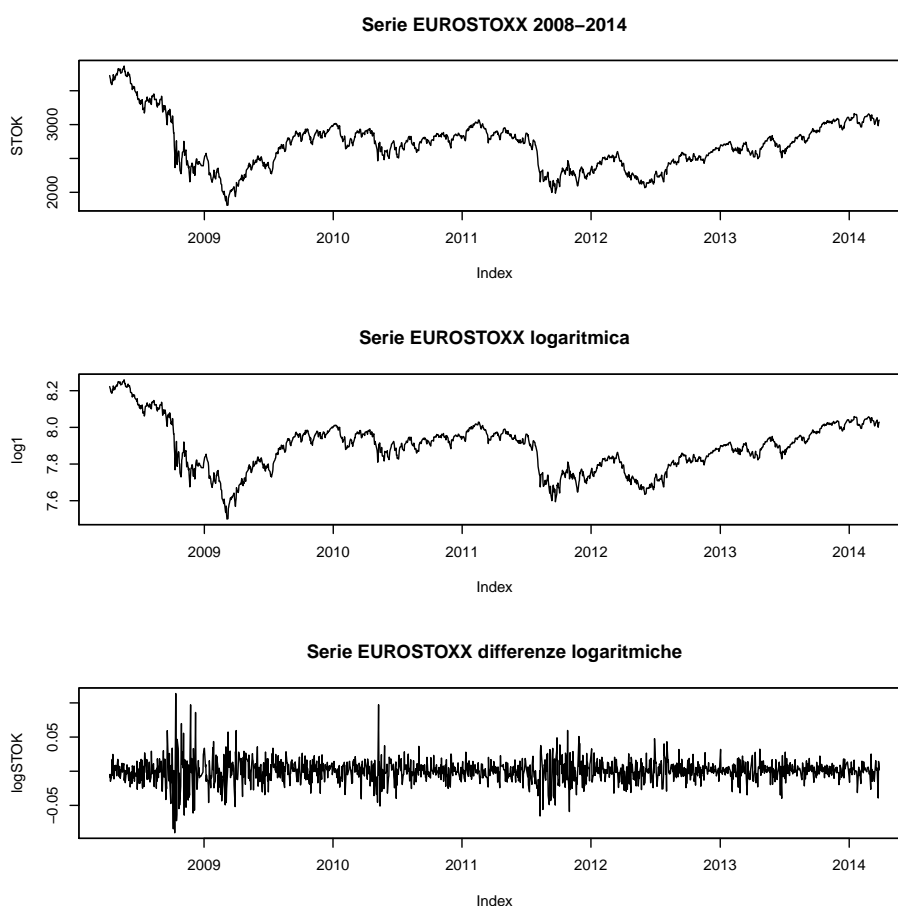
Le variabili inserite in questa sezione, relative allo stock market, vogliono descrivere alcuni indicatori rappresentativi della crescita dell'economia e della produttività industriale europea.

L'indice Eurostoxx 50, contrattato nella piattaforma EUR-Eurex, ha come unità di trading €10. La serie, considerata nel periodo 4/05/2008-27/03/2014, rappresenta uno dei più importanti indici del mercato stock europeo. Essa rap-

presenta l'indice di performance di 50 società appartenenti alla zona euro.⁴ [43] Tra le società contemplate nell'indice rientrano molti impianti soggetti alla regolamentazione del mercato EU ETS.

Dall'analisi dei grafici si può notare come il prezzo dell'Euro Stoxx 50 abbia registrato un valore altalenante negli ultimi 7 anni. Dopo la crisi finanziaria del 2008-2009, durante la quale l'indice ha raggiunto il valore minore degli ultimi 10 anni, esso si è stabilizzato attorno a 3000€, per poi ricadere durante il 2012 a causa della crisi del debito europea ed risollevarsi grazie agli interventi della banca centrale europea. Negli anni 2013-2014 il prezzo è aumentato notevolmente. L'andamento dell'indice è visibile nella figura 4.16.

Figura 4.16: Rappresentazione della serie Euro Stoxx 50



⁴12 paesi europei: Austria, Finlandia, Belgio, Francia, Italia, Germania, Grecia, Irlanda, Lussemburgo, Paesi Bassi, Spagna, Portogallo.

Le statistiche preliminari, eseguite sulla serie non trasformata Euro Stoxx 50, sono illustrate in tabella 4.4.6:

Tabella 4.7: Statistiche descrittive serie Euro Stoxx 50

Serie EUROSTOXX	
Media	2695.532
Varianza	129504
Asimmetria	0.516
Curtosi	3.661

La serie viene resa stazionaria attraverso una differenziazione logaritmica. Il test KPSS eseguito sulla serie trasformata indica, mediante un p-value superiore allo 0.05, la stazionarietà della serie.

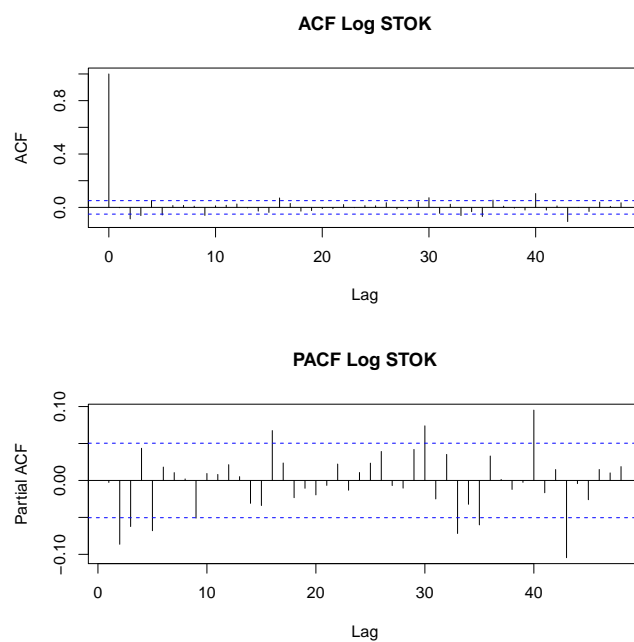
KPSS Test for Level Stationarity

KPSS Level = 0.2162, Truncation lag parameter = 8

p-value = 0.1

Le funzioni di ACF e PACF sono visibili nella figura 4.17;

Figura 4.17: Correlogrammi serie Euro Stoxx



Il modello ARIMA prescelto, secondo il criterio del minimo AIC e della significatività dei coefficienti, risulta essere un ARIMA(5,0,0), coi i coefficienti dei lag $t - 1$ e $t - 4$ fissati a 0 poiché non significativi.

ARIMA(5,0,0) with zero mean

Coefficients:

	ar1	ar2	ar3	ar4	ar5
	0	-0.0907	-0.0675	0	-0.0686
s.e.	0	0.0256	0.0256	0	0.0257

sigma² estimated as 0.0002778: log likelihood=4042.41
 AIC=-8076.81 AICc=-8076.75 BIC=-8044.89

Nelle figure 4.18, 4.19, 4.20 sono visibili, la diagnostica del modello, con i p-value riferiti al test di autocorrelazione dei residui Box-Ljung, l'istogramma dei residui e il grafico Quantile-Quantile. Il test Jarque-Bera verifica la distribuzione non normale dei residui.

Figura 4.18: Diagnostica residui Modello ARIMA (5,0,0)

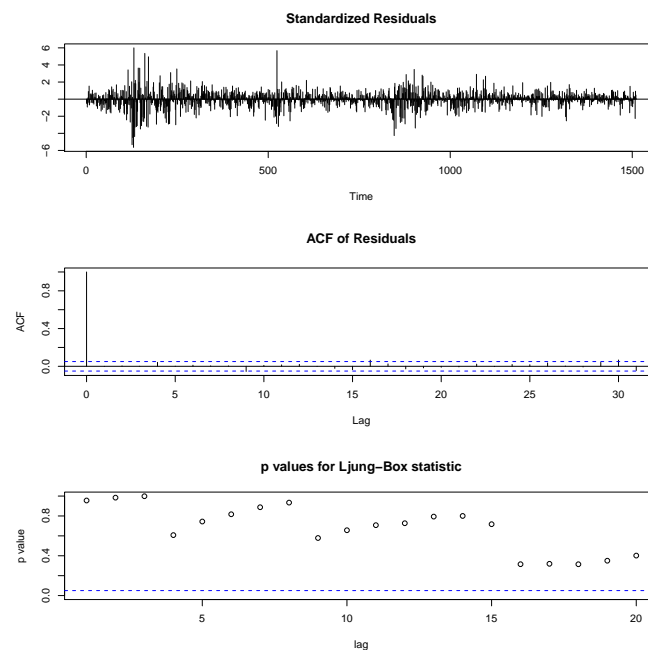
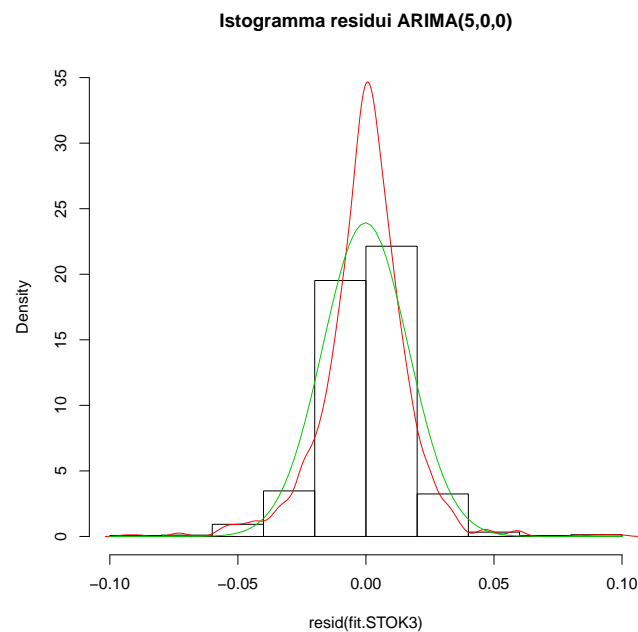
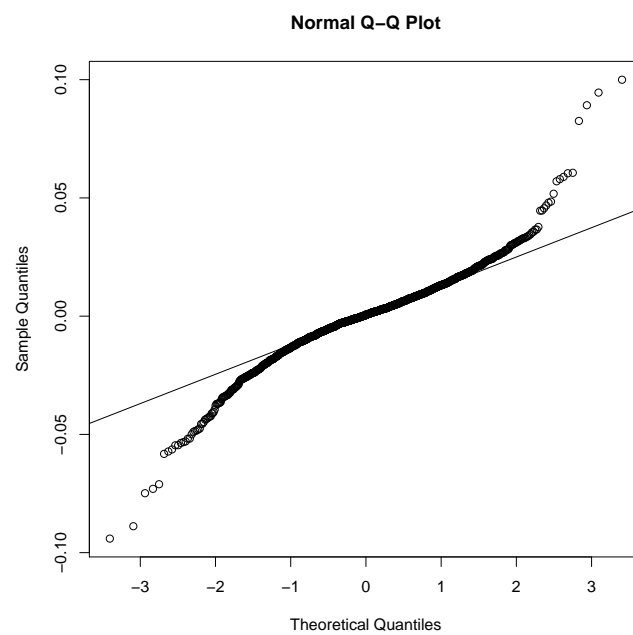


Figura 4.19: Istogramma residui Modello ARIMA (5,0,0)



Viene individuata una distribuzione in grado di descrivere i residui del modello. In questo caso, la distribuzione che si adatta meglio alla serie è una Normale Inversa Gaussiana, *NIG*.

Figura 4.20: Q-Q Plot residui Modello ARIMA (5,0,0)



Verificata la presenza di eteroschedasticità nei residui, viene individuato il modello GARCH più adatto a rappresentare la serie.

Coefficient (s) :

omega	alpha1	beta1	skew	shape
2.6824e-06	7.2201e-02	9.1876e-01	-1.9089e-01	1.9927e+00

Std. Errors:

based on Hessian

Error Analysis:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
omega	2.682e-06	1.196e-06	2.242	0.025 *
alpha1	7.220e-02	1.370e-02	5.272	1.35e-07 ***
beta1	9.188e-01	1.469e-02	62.557	< 2e-16 ***
skew	-1.909e-01	4.890e-02	-3.903	9.48e-05 ***
shape	1.993e+00	4.705e-01	4.235	2.28e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Log Likelihood:

4301.13 normalized: 2.846545

Standardised Residuals Tests:

			Statistic	p-Value
Jarque-Bera Test	R	Chi^2	95.89807	0
Shapiro-Wilk Test	R	W	0.9866655	1.421235e-10
Ljung-Box Test	R	Q(10)	10.03038	0.4378322
Ljung-Box Test	R	Q(15)	11.99778	0.679197
Ljung-Box Test	R	Q(20)	18.13301	0.5786464
Ljung-Box Test	R^2	Q(10)	6.15247	0.8022947
Ljung-Box Test	R^2	Q(15)	8.222817	0.9145392

```

Ljung-Box Test      R^2  Q(20)  20.99048  0.3976933
LM Arch Test       R    TR^2   7.071648  0.8528426
Information Criterion Statistics:
      AIC          BIC          SIC          HQIC
-5.686473 -5.668867 -5.686495 -5.679916

```

Il modello è stato calcolato sui residui del modello ARIMA(5,0,0). I coefficienti del modello risultano essere significativi e vi è assenza di autocorrelazione dei residui.

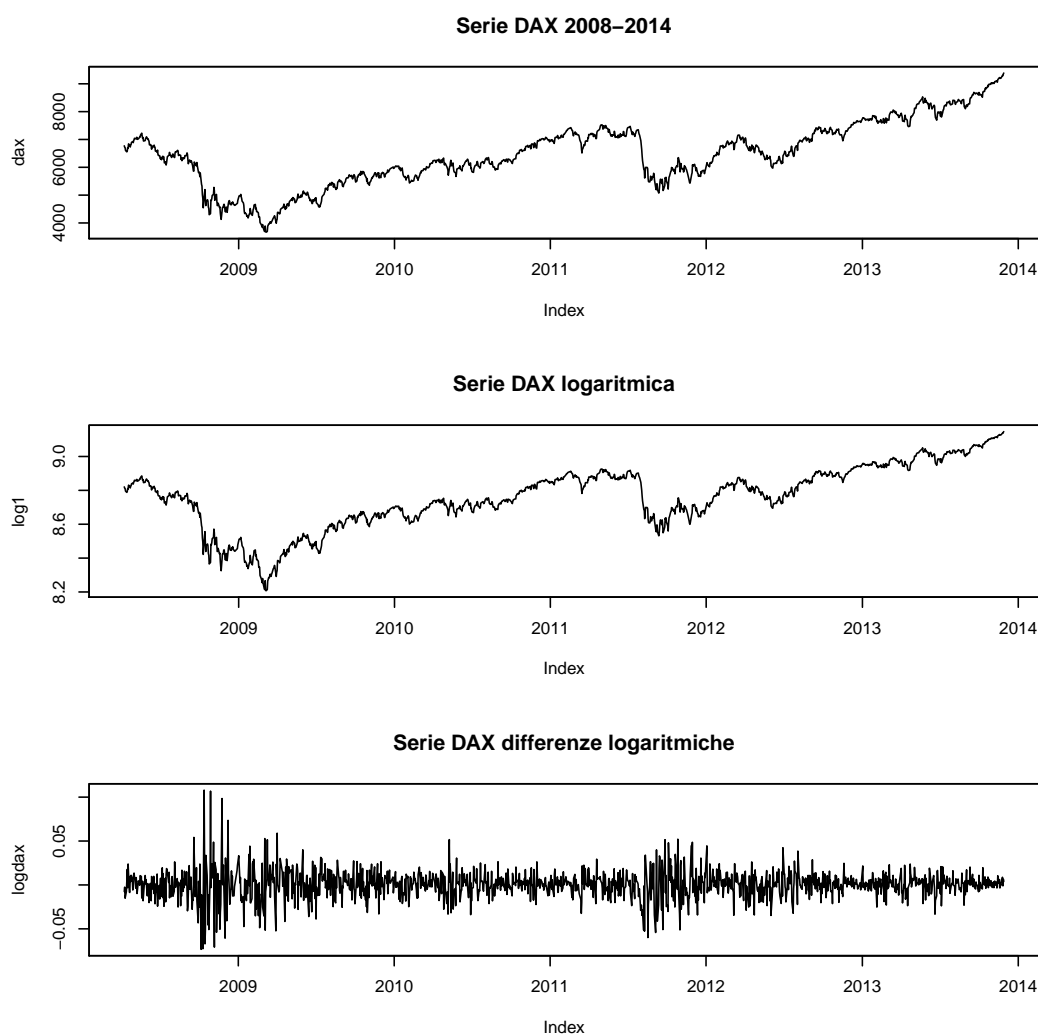
Analisi Indice DAX

L'indice Dax, quotato nella borsa tedesca Frankfurt Stock Exchange, è rappresentativo della performance delle 30 società tedesche più capitalizzate. Tra di esse figurano molti impianti soggetti alle normative e il rispetto dei vincoli di emissione di gas GHG. L'indice è quotato in euro con unità di trading pari a 1000 euro. L'andamento del Dax rispecchia a grandi linee l'indice Eurostoxx, ma presenta una componente tendenziale crescente più marcata. Si riscontrano gli effetti della crisi economica nel 2009 e della crisi del debito dell'eurozona nel 2012, a seguito della quale l'indice ha subito una crescita molto sostenuta raggiungendo massimi storici pari a €9000 come visibile nel grafico di figura 4.21. Il valore medio dell'indice durante il periodo di analisi è stato pari a €6470.89:

Tabella 4.8: Statistiche descrittive serie Indice DAX

Serie DAX Index	
Media	6470.89
Varianza	1310799
Asimmetria	0.0139
Curtosi	2.663

Figura 4.21: Rappresentazione della serie Dax 30



Per la definizione del modello migliore, adatto a rappresentare l'indice, viene utilizzata la serie dei rendimenti. Il test Philipps-Perron conferma la stazionarietà della serie opportunamente trasformata.

Phillips-Perron Unit Root Test

Dickey-Fuller $Z(\alpha) = -1290.259$, Truncation lag parameter = 7

p-value = 0.01

alternative hypothesis: stationary

Le funzioni di autocorrelazione globale (ACF) e parziale (PACF), e il test Box-

Ljung suggeriscono la presenza di autocorrelazione all'interno della serie. Il modello ARIMA prescelto risulta essere un ARIMA (1,0,3), il secondo coefficiente della componente MA viene fissato pari a zero.

ARIMA(1,0,3) with zero mean

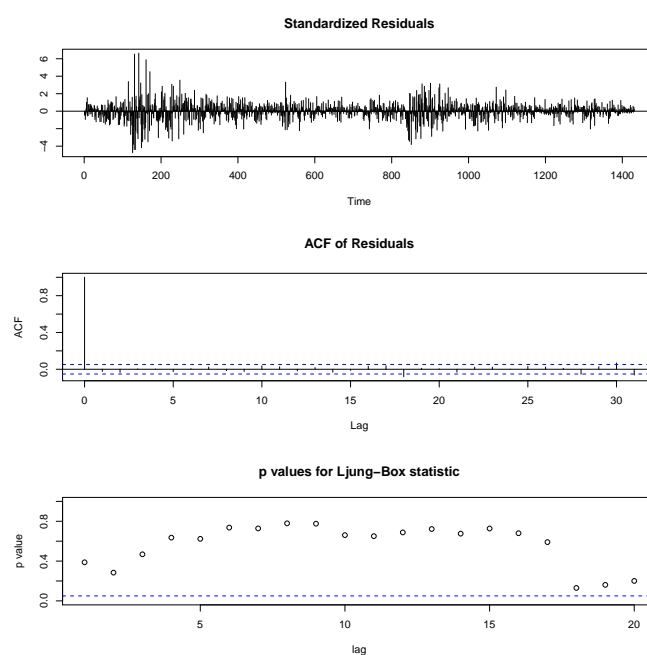
Coefficients:

	ar1	ma1	ma2	ma3
	-0.7512	0.8028	0	-0.0838
s.e.	0.1071	0.1062	0	0.0206

sigma^2 estimated as 0.0002574: log likelihood=3882.89
AIC=-7757.77 AICc=-7757.73 BIC=-7731.44

I grafici Q-Q plot e l'Istogramma dei residui dimostrano la presenza di code "pesanti", la serie risulta essere leptocurtica. I residui non sono distribuiti in modo normale ma come una Normale inversa gaussiana, *NIG*. La diagnostica generale del modello individuato è visibile nella figura 4.22.

Figura 4.22: Diagnostica residui Modello ARIMA (1,0,3)



Viene stimato un modello GARCH(1,1) adatto a cogliere la presenza di eterosche-

dasticità condizionata nei residui della serie, la quale è stata verificata mediante il test ARCH e degli ACF e PACF dei residui al quadrato del modello.

Coefficient (s) :

	mu	omega	alpha1	beta1	skew
	7.9157e-04	1.4354e-06	7.9359e-02	9.1645e-01	-1.1018e-01
shape					
	2.2339e+00				

Error Analysis:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
mu	7.916e-04	3.038e-04	2.606	0.009171	**
omega	1.435e-06	8.714e-07	1.647	0.099506	.
alpha1	7.936e-02	1.441e-02	5.505	3.68e-08	***
beta1	9.165e-01	1.447e-02	63.350	< 2e-16	***
skew	-1.102e-01	5.486e-02	-2.008	0.044608	*
shape	2.234e+00	6.102e-01	3.661	0.000251	***

Standardised Residuals Tests:

			Statistic	p-Value
Jarque-Bera Test	R	Chi^2	42.61132	5.585605e-10
Shapiro-Wilk Test	R	W	0.9913108	1.756612e-07
Ljung-Box Test	R	Q(10)	8.557223	0.5745751
Ljung-Box Test	R	Q(15)	10.61851	0.779139
Ljung-Box Test	R	Q(20)	19.9376	0.4618394
Ljung-Box Test	R^2	Q(10)	12.82699	0.2335065
Ljung-Box Test	R^2	Q(15)	19.81548	0.1791259
Ljung-Box Test	R^2	Q(20)	29.58677	0.07683191
LM Arch Test	R	TR^2	17.48797	0.1321449

I coefficienti del modello GARCH sono significativi, il coefficiente w viene accet-

tato con un grado di significatività pari al 10%.

4.5 MODELLI ECONOMETRICI

Come analizzato da numerosi economisti ([4], [9], [19], [46], [41], [20], [11], [12], [49]), possono essere definiti alcuni modelli statistici, per spiegare il mercato delle quote di emissione EU ETS ed analizzare l'andamento del prezzo. In questa sezione vengono definiti alcuni modelli finalizzati a stimare un legame tra le variabili oggetto di analisi nella sezione precedente.

Viene svolta un'analisi più dettagliata del mercato considerando alcuni fattori di influenza:

- gli effetti della crisi economica;
- cambiamenti normativi intervenuti all'interno del mercato;
- varie fasi del mercato;

Si procede quindi ad un'analisi relativa all'andamento delle variabili in alcuni sotto periodi: 2008, 2009-2011 e 2011-2013.

4.5.1 Modello di regressione lineare multivariato

In questa sezione vengono realizzati alcuni modelli econometrici per testare le teorie precedentemente illustrate sull'andamento del mercato delle emissioni europeo EU ETS. Si procede, quindi alla stima OLS di alcuni modelli di regressione lineare multivariata dove la variabile dipendente è rappresentata dai rendimenti dei prezzi dei permessi di emissione EUA. Viene stimato un modello per l'intero periodo 2008-2013 confrontato con modelli nei sottoperiodi precedentemente indicati.

Nella tabella 4.9 vengono presentate le variabili esplicative utilizzate, riferite all'arco temporale 8/04/2008-28/11/2013. I prezzi delle commodity Gas Naturale

e Petrolio originariamente espressi in Dollaro (USD) e Sterline (GBP) sono stati convertiti in euro mediante le serie dei tasso di cambio.

Tabella 4.9: Variabili Esplicative

Variabile	Descrizione	Unità di misura
CO1_Comdt_brent_crude_oil	prezzo Petrolio	€/Barile
FN1_Comdty	prezzo Gas Naturale	€/Btu
ENW_Index	prezzo Elettricità	€/mwh
EUA_Comdty	prezzo EU Allowance Unit	€/tCO ₂
VG1_Index	indice Eurostoxx 50	€
Dax	indice Dax 30	€

Prima di procedere alla stima di un modello viene analizzata la correlazione reciproca tra le serie storiche, in tabella 4.10. Correlazioni positive tra due serie indicano che a variazioni in aumento di una corrispondono variazioni in aumento dell'altra; viceversa, correlazioni negative indicano che a variazioni al ribasso di una serie corrispondono variazioni in aumento dell'altra.

Nella tabella 4.10 vengono riportati i coefficienti di correlazione di Pearson. I coefficienti, che variano da -1 a 1, indicano l'intensità della relazione lineare presente tra le variabili. I valori evidenziati in grassetto si riferiscono ai coefficienti significativi nei quali viene rifiutata l'ipotesi nulla di correlazione uguale a zero.

Essendo le serie non stazionarie, per evitare problemi di collinearità vengono utilizzate le serie dei rendimenti, rese, in questo modo, stazionarie. I modelli finali prescelti sono stati selezionati tenendo conto della significatività dei coefficienti, il coefficiente di determinazione R^2 e le informazioni dei criteri Akaike

Tabella 4.10: Coefficienti di correlazione, serie stazionarie 2008-2013

CO1 brent	FN1 Natural Gas	ENW Electricity	DAX	VG1 Euro- stoxx 50	EUA Comdty	
1	0,0755	0,0476	0,3324	0,3467	0,13756	CO1 brent
	1	-0,0074	0,0508	0,0395	0,1125	FN1 Natural Gas
		1	0,03803	0,011	-0,0078	ENW Electricity
			1	0,9315	-0,0078	DAX
				1	0,1746	VG1 Eurostoxx
					1	EUA Comdty

(AIC) e Schwarz. In prima analisi sono state utilizzate tutte le variabili, con 5 ritardi, pari a una settimana di contrattazione nei mercati finanziari. La selezione delle variabili è stata realizzata mediante una procedura *stepwise*, eliminando in maniera ricorsiva le variabili con coefficienti non significativi.

Il modello di regressione lineare generalizzato è stimato dalla seguente equazione:

$$y_t = \beta_0 + \beta(L)X_t + \varepsilon_t$$

dove y_t è la variabile dipendente, e X la matrice di variabili esplicative, L sono i ritardi considerate, β è il vettore di coefficienti delle variabili considerate e ε sono i termini di errore residuo del modello.

Il modello di regressione iniziale utilizzato considera ciascuna variabile dal tempo t al tempo $t - 5$; viene inoltre inserita una dipendenza della serie EUA da se stessa in modo autoregressivo fino al tempo $t-5$. È stata esclusa la costante. Attraverso la selezione dei soli coefficienti significativi si è arrivati alla definizione del modello relativo al periodo 2008-2013 definito dalla seguente equazione 4.12:

$$\begin{aligned} \widehat{ld_EUA_Comdty} = & 0,1092 \underset{(0,0383)}{ld_CO1} + 0,2581 \underset{(0,0514)}{ld_VG1_Index} \\ & - 0,1008 \underset{(0,0483)}{ld_VG1_Index_5} + 0,1041 \underset{(0,0266)}{ld_FN1} + 0,0175 \underset{(0,0068)}{ld_ENW_Index_1} \\ & + 0,0142 \underset{(0,0069)}{ld_ENW_Index_3} - 0,120 \underset{(0,0257)}{ld_EUA_Comdty_2} \\ & + 0,0875 \underset{(0,0257)}{ld_EUA_Comdty_4} \\ T = 1426 \quad \bar{R}^2 = 0,0766 \quad F(8, 1418) = 15,652 \quad \hat{\sigma} = 0,031081 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Modello di regressione lineare utilizzando gli stimatori OLS, periodo 2008-2013:

OLS, usando le osservazioni 2008/04/16–2013/11/28 ($T = 1426$)

Variabile dipendente: ld_EUA_Comdty

Errori standard HAC, larghezza di banda 8 (Kernel di Bartlett)

	Coefficiente	Errore Std.	rapporto t	p-value
CO1_brent	0,109229	0,0309537	3,5288	0,0004
Eurostoxx	0,258182	0,0463945	5,5649	0,0000
Eurostoxx_5	-0,100812	0,0371662	-2,7125	0,0068
Natural Gas	0,104163	0,0253728	4,1053	0,0000
ENW Electricity_1	0,0175030	0,00592155	2,9558	0,0032
ENW Electricity_3	0,0142192	0,00668066	2,1284	0,0335
EUA_2	-0,120284	0,0496529	-2,4225	0,0155
EUA_4	0,0875717	0,0422318	2,0736	0,0383
Media var. dipendente	-0,001338	SQM var. dipendente		0,032316
Somma quadr. residui	1,369786	E.S. della regressione		0,031081
R^2	0,081141	R^2 corretto		0,076605
$F(8, 1418)$	10,48640	P-value(F)		2,25e-14
Log-verosimiglianza	2930,499	Criterio di Akaike		-5844,999
Criterio di Schwarz	-5802,898	Hannan-Quinn		-5829,275
$\hat{\rho}$	0,068451	Durbin-Watson		1,862550

I prezzi delle variabili energetiche risultano essere i principali *price driver* del mercato dei permessi delle emissioni. È presente un legame tra la variabile EUA ed i suoi ritardi, dovuto alla componente autoregressiva di ordine 4 compresa nella serie, tuttavia ad un livello di significatività pari al 5% non è stato possibile includere i ritardi al tempo $t - 1$ e al tempo $t - 3$.

Nonostante i coefficienti risultino significativi, bisogna prestare attenzione all'indice R^2 , il quale indica la bontà di adattamento di un modello. $L'R^2$, che può assumere valore massimo tra 0 e 1, indica quanto la varianza campionaria della serie EUA viene catturata dal modello. Viene considerato $L'R^2$ corretto, in quanto esso tiene conto anche del numero dei regressori utilizzati nel modello. Il valore pari allo 0.077 indica che la variabilità del modello è spiegata limitatamente in modo lineare dalle variabili considerate. Questi risultati sono ad ogni modo relativamente positivi, in quanto le variabili oggetto di analisi sono rendimenti di quotazioni finanziarie soggette ad elevata variabilità.

Per valutare la bontà del modello è opportuno presentare i risultati dei più importanti test diagnostici condotti sui residui della stima. Nella diagnosi del modello realizzato, viene verificata la normalità di distribuzione dei residui, l'autocorrelazione degli stessi mediante il test Durbin-Watson e Ljung-Box, viene eseguito il test Arch-LM per la verifica della presenza di eteroschedasticità condizionata.

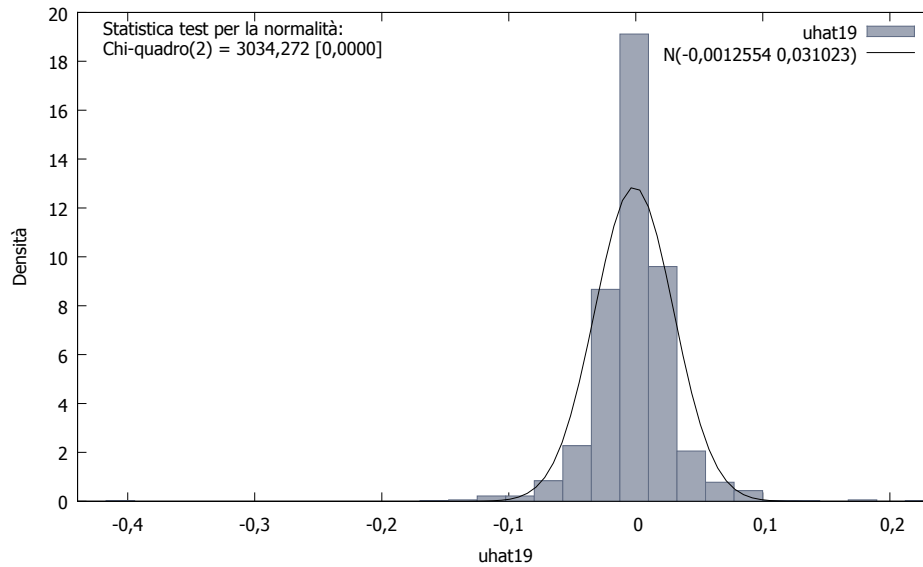
Il test Jarque-Bera permette di verificare l'ipotesi di normalità. I residui non sono distribuiti in modo normale poiché il p-value risulta essere troppo basso per accettare l'ipotesi nulla di normalità del test. Questo risultato potrebbe essere dovuto alla presenza di valori anomali (*outlier*) nelle serie in analisi.

Dall'analisi dei Ljung-Box che verifica l'ipotesi nulla di incorrelazione tra i residui, risulta un p-value pari 0,0904, per cui i residui sono ritenuti non autocorrelati.

Esistono vari tipi di test per esaminare l'ipotesi di eteroschedasticità. Il test Arch individua la presenza di eteroschedasticità autoregressiva condizionale. Dall'analisi dei risultati, il p-value basso porta a rifiutare l'ipotesi nulla di assenza di effetti Arch nel modello.

In quanto viene rifiutata l'ipotesi di omoschedasticità, gli stimatori prodotti con il metodo OLS sono inefficienti. Si ritiene necessario eseguire una nuova re-

Figura 4.23: Test di Normalità



gressione con il metodo GARCH(1,1), stimati sui residui di un modello OLS, in grado di misurare e prevedere la volatilità dei rendimenti delle variabili finanziarie giornaliere. Questo modello è stimato con il metodo della massima verosimiglianza.

Partendo dalle variabili significative nel modello che utilizza gli stimatori OLS e eliminando i coefficienti non significativi, viene definito il modello 4.5.1:

GARCH(1,1), usando le osservazioni 2008/04/16–2013/11/28 ($T = 1426$)

Variabile dipendente: `ld_EUA_Comdty`

Errori standard basati sull'Hessiana

	Coefficiente	Errore Std.	z	p-value
CO1_Brent	0,0784360	0,0243538	3,2207	0,0013
Eurostoxx	0,234951	0,0347658	6,7581	0,0000
Eurostoxx_3	0,0626255	0,0317466	1,9727	0,0485
Eurostoxx_5	-0,0903422	0,0323376	-2,7937	0,0052
Natural Gas	0,0709840	0,0146040	4,8606	0,0000
Natural Gas_1	-0,0461426	0,0161487	-2,8574	0,0043
EUA_1	0,0631794	0,0283759	2,2265	0,0260
α_0	1,12807e-005	3,48045e-006	3,2412	0,0012
α_1	0,158493	0,0225119	7,0404	0,0000
β_1	0,841507	0,0211038	39,8746	0,0000
Media var. dipendente	-0,001338	SQM var. dipendente		0,032316
Log-verosimiglianza	3311,113	Criterio di Akaike		-6600,226
Criterio di Schwarz	-6542,337	Hannan-Quinn		-6578,606
Varianza dell'errore non condizionale = 5,47456e+007				

la quale equazione è definita come nella 4.13:

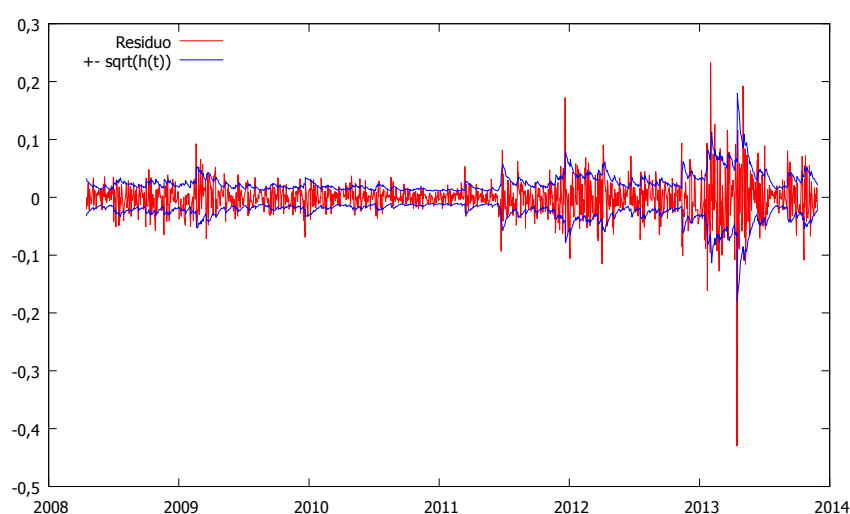
$$\begin{aligned}
 ld_EUA_Comdty = & \underset{(0,024)}{0,078} ld_CO1_Comdt_b + \underset{(0,035)}{0,235} ld_VG1_Index + \underset{(0,032)}{0,063} ld_VG1_Index_3 \\
 & - \underset{(0,032)}{0,090} ld_VG1_Index_5 + \underset{(0,015)}{0,071} ld_FN1_Comdty - \underset{(0,016)}{0,046} ld_FN1_Comdty_1 \\
 & + \underset{(0,028)}{0,063} ld_EUA_Comdty_1 \\
 \hat{\sigma}_t^2 = & \underset{(3,4804e-006)}{1,12807e-005} + \underset{(0,022)}{0,158} \varepsilon_{t-1}^2 + \underset{(0,021)}{0,842} \sigma_{t-1}^2 \\
 T = & 1426 \quad \ln L = 3311,1132 \quad \hat{\sigma} = 5337,0
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Le componenti α e β risultano essere significative.

La varianza è stata stimata tramite i coefficienti del modello GARCH. I residui del modello, stimato mediante OLS, sono visibili nella figura 4.24, all'interno del-

la quale vi sono delle bande che indicano la deviazione standard prevista tramite il modello GARCH(1,1). Le bande stimano i cambiamenti della volatilità degli errori della serie EUA nel corso del periodo 2008-2013. Durante gli anni 2012 e 2013 le bande sono più ampie, ciò indica una volatilità più considerevole, quindi una maggiore incertezza nel mercato di riferimento. Come visibile in figura 4.24:

Figura 4.24: Residui del modello stimato tramite OLS e bande GARCH(1,1)



4.5.1.1 Analisi sotto periodo: Modello 2008

Viene presentato lo studio di un sottoperiodo, relativo al primo anno di analisi: il 2008. Questo periodo rappresenta il primo anno della seconda fase del mercato europeo dei permessi di emissione, nel quale l'allocazione è avvenuta mediante aste onerose. L'anno 2008 è anche importante, in quanto anno nel quale le ripercussioni della crisi finanziaria hanno iniziato a circolare nell'economia reale, e nella quotazione di tutti gli indici commodity mondiali. Maggior parte della letteratura di studio sul mercato EU ETS si sofferma sull'analisi degli anni 2005-2008, si vogliono quindi verificare alcuni legami individuati in questi lavori.

OLS, usando le osservazioni 2008/04/10–2008/12/30 ($T = 183$)

Variabile dipendente: EUA

	Coefficiente	Errore Std.	rapporto t	p-value
CO1_brent	0,231445	0,0426019	5,4327	0,0000
CO1_brent_1	0,148887	0,0471935	3,1548	0,0019
Eurostox_1	-0,316292	0,142638	-2,2174	0,0279
Dax_1	0,338879	0,146855	2,3076	0,0222
Media var. dipendente	-0,001686	SQM var. dipendente		0,020953
Somma quadr. residui	0,064062	E.S. della regressione		0,018918
R^2	0,203435	R^2 corretto		0,190085
$F(4, 179)$	11,42870	P-value(F)		2,77e-08
Log-verosimiglianza	468,4356	Criterio di Akaike		-928,8713
Criterio di Schwarz	-916,0333	Hannan-Quinn		-923,6674
$\hat{\rho}$	0,116421	Durbin-Watson		1,766577

Il modello individuato presenta un R^2 corretto molto più alto del modello 2008-2013. Alcune variabili, rispetto al modello precedente, perdono significatività. I risultati del modello indicano che i rendimenti future EUA durante il periodo 2008 sono influenzati dalle fluttuazioni economiche espresse mediante gli indici DAX e Eurostoxx ritardati di un giorno di contrattazione, e dall'andamento del prezzo del Petrolio al tempo t ed al tempo $t - 1$.

Il test ARCH eseguito sui residui del modello, nel quale vengono utilizzati gli stimatori OLS, porta ad accettare l'ipotesi nulla di assenza di effetti eteroschedasticità condizionata, i residui sono quindi omoschedastici. Viene rifiutata l'ipotesi di distribuzione Normale dei residui in quanto il p-value è pari a 0.005. Il test Ljung-Box, con un p-value superiore allo 0.05, indica che i residui sono incorrelati. Questo modello di regressione si può ritenere quindi attendibile a spiegare la variabile EUA.

4.5.1.2 Analisi sotto periodo: Modello Gennaio 2009 - Ottobre 2011

Questo periodo di analisi è iniziato dopo il grande crollo del 2008, anno nel quale le quote sono passate da valore 30 € a 10 €. Durante il periodo 2009-ottobre 2011 l'andamento dei prezzi dei permessi di emissione EUA si è attestata attorno ad un intervallo di 7-15€. Viene ora stimato un modello di regressione lineare mediante gli stimatori OLS finalizzato allo studio dei principali price driver del mercato nel periodo considerato. Nel modello iniziale sono state inserite le variabili dipendenti e indipendente, inclusi ritardi da t a $t - 5$.

Viene ora proposto il modello individuato:

OLS, usando le osservazioni 2009/01/02–2011/10/28 ($T = 718$)

Variabile dipendente: `ld_EUA_Comdty`

Errori standard HAC, larghezza di banda 6 (Kernel di Bartlett)

	Coefficiente	Errore Std.	rapporto t	p-value
CO1_brent	0,0845281	0,0423453	1,9962	0,0463
Eurostoxx	0,328466	0,0514351	6,3860	0,0000
Eurostoxx_5	-0,135176	0,0437410	-3,0904	0,0021
Natural Gas	0,0947893	0,0270605	3,5029	0,0005
Natural Gas_1	-0,0608837	0,0221804	-2,7449	0,0062
Dax_1	-0,162214	0,0542473	-2,9903	0,0029
Dax_2	-0,122091	0,0544539	-2,2421	0,0253
EUA_1	0,147081	0,0431848	3,4058	0,0007

Media var. dipendente	-0,000770	SQM var. dipendente	0,020546
Somma quadr. residui	0,248105	E.S. della regressione	0,018693
R^2	0,181468	R^2 corretto	0,173398
$F(8, 710)$	17,15002	P-value(F)	1,94e-23
Log-verosimiglianza	1842,565	Criterio di Akaike	-3669,131
Criterio di Schwarz	-3632,519	Hannan-Quinn	-3654,995
$\hat{\rho}$	0,001226	Durbin-Watson	1,992092

L' R^2 ottenuto è maggiore di quello presente nel modello completo 2008-2013, ma minore dell' R^2 ottenuto nel primo modello parziale, nel quale è stato studiato il primo anno della II fase del mercato EU ETS. Questo sta ad indicare che riducendo il periodo di analisi le variabili che compongono il modello riescono a spiegare meglio l'andamento della variabile EUA. Alcuni fattori diminuiscono infatti la loro influenza.

I risultati indicano chiaramente che vi è un legame tra rendimenti dei prezzi EUA e i suoi ritardi al tempo $t - 1$, il prezzo del Petrolio al tempo t , del Gas Naturale al tempo t e $t - 1$ e delle variabili macroeconomiche Eurostoxx e Dax, regredite rispettivamente al tempo t e $t - 5$, $t - 1$ e $t - 2$. Mediante questo modello si può sostenere la tesi per la quale il mercato dei *carbon credit* è connesso alle influenze macroeconomiche e del mercato energetico.

Il test Jarque-Bera eseguito sui residui del modello porta ad escludere l'ipotesi di Normalità, molto probabilmente a causa di alcuni valori anomali presenti. I test Box-Ljung e Durbin-Watson permettono di non rifiutare l'ipotesi nulla di autocorrelazione dei residui, mentre l'ipotesi nulla del test ARCH viene rifiutata, i residui sono eteroschedastici. Il modello di regressione mediante gli OLS non risulta essere adatto a spiegare le variabili a causa della varianza condizionata non omoschedastica. Viene quindi stimato un modello GARCH(1,1)

GARCH, usando le osservazioni 2009/01/02-2011/10/28 ($T = 718$)

Variabile dipendente: ld_EUA_Comdty

Errori standard basati sull'Hessiana

	Coefficiente	Errore Std.	z	p-value
CO1_brent_1	-0,0659934	0,0310763	-2,1236	0,0337
Natural Gas	0,0861242	0,0161926	5,3187	0,0000
Natural Gas_1	-0,0665789	0,0180954	-3,6793	0,0002
Dax	0,314453	0,0423222	7,4300	0,0000
Dax_1	-0,140934	0,0458833	-3,0716	0,0021
Dax_5	-0,140749	0,0409154	-3,4400	0,0006
EUA_1	0,0900119	0,0399811	2,2514	0,0244
α_0	1,53295e-005	5,83996e-006	2,6249	0,0087
α_1	0,150236	0,0334859	4,4865	0,0000
β_1	0,806489	0,0429237	18,7889	0,0000
Media var. dipendente	-0,000770	SQM var. dipendente		0,020546
Log-verosimiglianza	1928,558	Criterio di Akaike		-3835,116
Criterio di Schwarz	-3784,775	Hannan-Quinn		-3815,679

Modello definito dalla seguente equazione:

$$\widehat{EUA} = \underset{(0,0310)}{-0,0660} \text{CO1_brent} + \underset{(0,0161)}{0,0861} \text{Natural Gas} - \underset{(0,0180)}{0,0665} \text{Natural Gas}_1$$

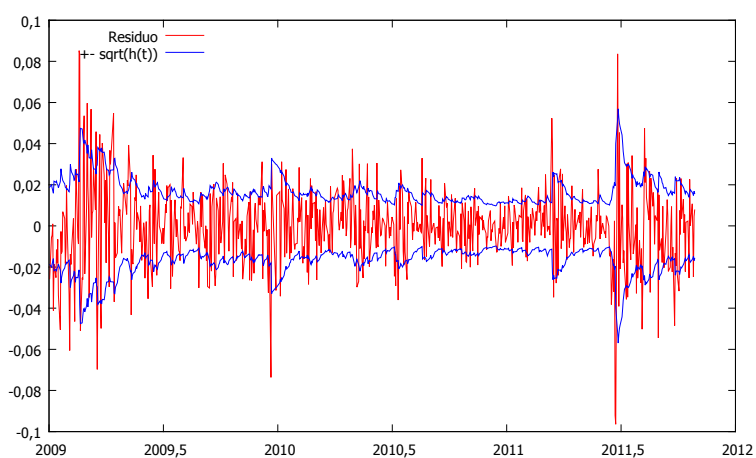
$$+ \underset{(0,0423)}{0,3144} \text{Dax} - \underset{(0,0458)}{0,1409} \text{Dax}_1 - \underset{(0,0409)}{0,1407} \text{Dax}_5 + \underset{(0,0399)}{0,0900} \text{EUA}_1$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = \underset{(5,8400e-006)}{1,53295e-005} + \underset{(0,033486)}{0,150236} \varepsilon_{t-1}^2 + \underset{(0,042924)}{0,806489} \sigma_{t-1}^2$$

$$T = 718 \quad \ln L = 1928,5579 \quad \hat{\sigma} = 0,018821$$

Dal grafico di figura 4.25 si possono individuare i cambiamenti di volatilità presenti durante l'arco di tempo considerato. Momenti di maggiore incertezza e volatilità sono riscontrati durante la fine del 2009 e la fine del 2011.

Figura 4.25: Residui del modello stimato tramite OLS e bande GARCH(1,1)



4.5.1.3 Analisi sotto periodo: Modello Novembre 2011 - Novembre 2013

Il mercato EU ETS degli ultimi anni ha aumentato la sua dimensione di affari, ma è caratterizzato da una bassa richiesta di quote dovuta in gran parte ad una sovra-allocazione avvenuta nei periodi precedenti. I prezzi EUA si mantengono a livelli bassi. Questo periodo ha inizio a seguito della crisi del debito europea avvenuta nel 2011.

OLS, usando le osservazioni 2011/11/03–2013/11/28 ($T = 526$)

Variabile dipendente: `ld_EUA_Comdty`

Errori standard HAC, larghezza di banda 6 (Kernel di Bartlett)

	Coefficiente	Errore Std.	rapporto t	p-value
CO1_brent	0,270974	0,0799681	3,3885	0,0008
Eurostoxx_2	-1,13562	0,378473	-3,0005	0,0028
Natural Gas	0,509032	0,135584	3,7544	0,0002
ENW Electricity_1	0,0628344	0,0141387	4,4441	0,0000
ENW Electricity_3	0,0517114	0,0173961	2,9726	0,0031
Dax_2	1,25967	0,395088	3,1883	0,0015
EUA_2	-0,169534	0,0747434	-2,2682	0,0237
Media var. dipendente	-0,001694	SQM var. dipendente		0,045861
Somma quadr. residui	0,988762	E.S. della regressione		0,043648
R^2	0,105747	R^2 corretto		0,095409
$F(7, 519)$	6,096630	P-value(F)		7,38e-07
Log-verosimiglianza	904,3848	Criterio di Akaike		-1794,770
Criterio di Schwarz	-1764,912	Hannan-Quinn		-1783,079
$\hat{\rho}$	0,049773	Durbin-Watson		1,900447

Il test Durbin-Watson porta ad accettare ipotesi nulla di assenza di autocorrelazione tra i residui. I residui non sono distribuiti in modo normale, inquanto il p-value ottenuto tramite il test Jarque-Bera è prossimo allo zero. Nel modello in analisi non vengono verificati effetti ARCH, il modello risulta essere quindi omoschedastico.

4.5.1.4 Conclusioni ed interpretazione economica

Sono riportati, in figura 4.11 i migliori modelli ottenuti in termini di adattamento delle variabili considerate alla serie dei rendimenti dei permessi di emissione EUA. Vengono riportate le sole variabili che risultano essere significative in uno o più modelli.

Come ipotizzato, sulla base della letteratura scientifica presente, è possibile individuare alcuni price driver all'interno del mercato EU ETS. Il primo periodo di analisi considerato (2008-2013), sottoposto ai molteplici eventi economici mondiali ed ai mutamenti normativi del mercato, è stato suddiviso in differenti sottoperiodi, relativi all'andamento della variabile dipendente *European Union Allowance*.

I coefficienti di alcune variabili, includendo anche i loro ritardi, risultano essere significativi in tutti i modelli studiati, mentre altre variabili presentano una inaspettata limitata influenza. Nel periodo completo 2008-2013, nel quale è stato realizzato un modello dinamico GARCH, viene individuato un ruolo significativo nella definizione prezzo EUA da parte delle variabili del settore energetico e delle variabili indicative dell'andamento dell'economia europea. Nel modello generale i price driver individuati sono rappresentati dalla variabile Eurostoxx, con i suoi ritardi temporali 3 e 4 e dalle variabili energetiche. Come individuato nell'analisi univariata nella sezione precedente la serie EUA ha una componente autoregressiva al suo interno, per questo risulta significativo il suo ritardo al lag 1.

L'influenza dell'evoluzione nel mercato del settore energetico è chiaramente identificata dai coefficienti significativi dalle variabili CO1 Brent Crude Oil e FN1 Natural Gas. La variabile CO1 è significativa nel modello completo e nei rispettivi sottoperiodi. Ad esclusione del biennio ottobre 2009 -dicembre 2011, i coefficienti positivi ed elevati permettono di considerare questa variabile impor-

Tabella 4.11: Tabella riassuntiva modelli

	Mod. completo 2008-2013	Mod. 2008	Mod. 2009-2011 Ott.	Mod. 2011 Nov. -2013
CO1 Brent	0,0784 *** (0,0243)	0,2314*** (0,0426)		0,2709*** (0,0799)
CO1 Brent -1		0,1488*** (0,0471)	-0,0659** (0,0310)	
Natural Gas	0,0709 *** (-0,0146)		0,0861*** (0,0162)	0,5090*** (0,1355)
Natural Gas -1	-0,0461** (-0,0161)		-0,0665*** (0,0181)	
ENW Electricity -1				0,0628*** (0,0141)
ENW Electricity -3				0,0517*** (0,0173)
EUROSTOXX	0,2349 *** (-0,0347)			
EUROSTOXX-1		-0,3162** (0,1426)		
EUROSTOXX-2				-1,1356*** (0,3784)
EUROSTOXX-3	0,0626* (-0,0317)			
EUROSTOXX-5	-0,0903** (-0,0323)			
DAX Index			0,3144 *** (0,0423)	
DAX Index -1		0,3388** (0,1468)	-0,1409*** (0,0459)	
DAX Index -2				1,2596*** (0,3950)
DAX Index -5			-0,1407*** (0,0409)	
EUA Comdty-1	0,0632*** (0,0284)		0,0900*** (0,0400)	
EUA Comdty-2				-0,1695** (0,0747)
Adjusted R^2	R^2 0,047	R^2 0,190	R^2 0,156	R^2 0,095
<i>GARCH Model</i>				
α_0	1,12807e-005 (3,48045e-006)		1,53295e-005 (5,83996e-006)	
α_1	0,158493 (-0,0225119)		0,150236 (0,0334)	
β_1	0,841507 -0,0211		0,8065 (0,0429)	

tante price driver del mercato EU ETS. Un aumento del prezzo del Brent dovuto ad una maggior richiesta di consumo di petrolio porta ad un aumento dell'inquinamento e quindi ad una crescente richiesta di permessi di emissione di gas GHG da parte degli impianti utilizzatori. Nel biennio 2009-2011 vi è stata una leggera ripresa dell'economia in seguito allo shock dell'ottobre 2008 e una stabilizzazione dei prezzi EUA, la variabile CO1 ha un effetto di segno opposto ritardato di un giorno di contrattazione finanziaria.

La variabile FN1, rappresentativa dell'andamento dei prezzi della commodity Gas Naturale non spiega la variabile EUA durante il primo anno di applicazione della seconda fase del mercato EUA e di allocazione onerosa dei permessi. Il suo legame è statisticamente significativo negli altri modelli.

L'anno 2008 è stato caratterizzato da un brusco crollo della quotazione del mercato borsistico e degli indici di borsa. Il modello definito per questo periodo non presenta una elevata volatilità e i residui risultano omoschedastici. L'andamento delle quotazioni dell'indice Dax ed Eurostoxx, nel periodo in analisi, è differente, quindi la loro influenza nel mercato delle emissioni è diversa. Il coefficiente dell'indice Eurostoxx ritardato di un giorno è negativo, mentre quello dell'indice Dax è positivo. L' R^2 del modello ottenuto, è pari a 0.19, non è elevato, ma rispecchia la difficile prevedibilità di un mercato finanziario nuovo. La variabile rappresentativa dell'andamento dell'economia tedesca, l'indice DAX, esercita una influenza nell'andamento dei prezzi EUA, verificata da coefficienti significativi dalle serie al tempo $t, t-1, t-2, t-5$. Nel modello completo 2008-2013 la variabile non risulta significativa, molto probabilmente a causa dell'eccessiva volatilità e shock presenti all'interno dell'arco temporale utilizzato.

L'indice ENW, rappresentativo dei prezzi spot dell'elettricità dei paesi del Nord-Europa, presenta una influenza limitata. I risultati ottenuti nel modello completo, e nei primi due sottoperiodi sono in contrasto con i risultati dei lavori di ricerca presenti in letteratura (ad esempio il lavoro di Fezzi e Bunn [11]), che

individuano un forte legame tra l'aumento della domanda di elettricità e la crescita della richiesta di quote EUA ed i relativi prezzi. Una possibile spiegazione è una remota connessione tra la variabile contrattata nel mercato nordico, la quale probabilmente non è in grado di cogliere l'andamento e le dinamiche dei *futures* EUA. Solo nella fase più recente del mercato è verificata una significatività, con coefficiente positivo, al lag 1 e 3. Questo risultato indica come un aumento del prezzo del consumo di energia elettrica, dovuto ad esempio dalla riduzione delle temperature, influisca in maniera ritardata sull'aumento della richiesta di quote di emissione EUA, in quanto l'industria del settore elettrico è sottoposta alla normativa del mercato EU ETS.

Il confronto tra le analisi statistiche eseguite sul primo periodo 2008 e quelle riferite ad archi temporali più lunghi permettono di individuare una forte componente di volatilità ed incertezza nel mercato EU ETS, che rende difficile l'analisi per periodi temporali più lunghi. Risultati migliori potrebbero essere ottenuti con indagini relative a periodi più brevi, aggiungendo ulteriori variabili rappresentative (ad esempio temperatura e prezzo del carbone) ed inserendo apposite variabili *dummy*, indicatrici dei cambiamenti normativi.

4.5.2 Individuazione dei effetti di causalità alla Granger

Per supportare i modelli e le conclusioni definite nella sezione precedente vengono eseguiti dei test di dipendenza alla Granger. Il test di causalità alla Granger definisce la causalità statistica tra variabili. Il test indica quanto i cambiamenti di una variabile hanno un impatto sui cambiamenti di un'altra in termini di precedenza inter-temporale. Il test viene eseguito sulle variabili contenute nei modelli VAR stimati nei diversi sottoperiodi. I risultati del test sono sensibili ai lag specificati.

Vengono riportati i risultati ottenuti dal test di causalità effettuato tra le diver-

Tabella 4.12: Risultati test di Causalità alla Granger

	2008-2013	2008	2009 - Ott. 2011	Nov. 2011 - Nov. 2013
CO1 Brent	Instant Causality	Instant Causality	Granger Causality Instant Causality	No Casuality
FN1 Natural Gas	Instant Causality	No Causality	Granger Causality Instant Causality	Instant Casuality
ENW Electricity	Granger Causality	No Causality	No Casuality	Granger Casuality
Eurostoxx Index	Instant Causality	Instant Causality	Granger Causality Instant Causality	Instant Casuality
DAX Index	Instant Causality	Instant Causality	Granger Causality Instant Causality	Instant Casuality

se variabili esplicative (price drivers) e la variabile EUA nella tabella 4.12.

I risultati ottenuti confermano, in gran parte, i commenti riportati nella sezione precedente.

CONCLUSIONI

Lo scopo del mercato EU ETS è quello di favorire ed incentivare la riduzione delle emissioni da parte dei principali settori economici generatori di gas serra.

Esso è uno strumento definito da accordi internazionali a partire dal Protocollo di Kyoto del 1997. Se venisse imposto a tutti i settori economici globali un controllo delle proprie emissioni, verrebbe sicuramente compiuto un significativo passo avanti verso la lotta ai cambiamenti climatici. Tuttavia il problema sembra essere una questione prioritaria nell'agenda politica solo di alcuni stati sviluppati, mentre i paesi in via di sviluppo rivendicano il loro diritto a crescere economicamente, mediante l'aumento della produttività industriale e di conseguenza delle emissioni di gas inquinanti.

Nel mondo sono presenti numerosi mercati di scambio, la maggior parte di recente istituzione. Il loro volume di affari è in crescita e gli operatori finanziari, per questo motivo, sono sempre più attenti alla loro evoluzione, ricercando nuove opportunità di investimento e speculazione. Il mercato europeo EU ETS vanta il pregio di essere il più grande e longevo mercato attivo. Esso controlla oltre il 45% delle emissioni di gas serra europee generate da più di 12.000 impianti, appartenenti a diversi settori regolamentati dalle direttive europee. Questo mercato ha costretto queste aziende ad un rigido controllo delle loro attività, ma ha fornito loro un nuovo strumento, attraverso il quale trarre guadagno dalla vendita e acquisto di permessi di emissione EUA o equiparabili certificati CER ed ERU.

Il mercato incoraggia le aziende a perseguire progetti di investimento *low-carbon*, ed è un valido strumento che si affianca alle ambiziose direttive am-

bientali europee, come il piano clima-energia 20:20:20 volto al miglioramento dell'efficienza energetica europea e alla riduzione delle emissioni.

L'obiettivo prefigurato in questa tesi è stato l'analisi del mercato europeo, dei suoi fattori fondamentali individuandone pregi, difetti, potenzialità e cercando di verificare la presenza di price driver, che possano spiegare l'andamento dei prezzi dei permessi di emissione EUA. A differenza dei lavori preesistenti in questa tesi è stato considerato un periodo di analisi più lungo e recente. L'arco temporale studiato dall'Aprile 2008 al Novembre 2013, comprende la seconda fase del mercato EU ETS, la fase di applicazione del protocollo di Kyoto chiamata "*commitment period*" e l'inizio della terza fase di contrattazione ETS, che durerà fino al 2020.

Il periodo di studio è fonte di interessanti analisi in relazione ai fenomeni e cambiamenti avvenuti. A partire dal 2008 è iniziata l'allocazione di quote mediante aste onerose e il numero dei settori coinvolti è aumentato. Il più importante evento verificatosi è stata la crisi economica, che ha colpito il mercato finanziario e poi l'industria reale europea. La conseguente recessione ha causato una significativa riduzione delle attività economiche, riscontrabile in un calo della produzione industriale e della domanda di permessi di emissione. Il prezzo di un permesso agli inizi del 2008 era pari a 30 euro, dopo una lenta discesa ha raggiunto quota 4 euro nel Novembre 2013. Tra le cause principali del crollo dei prezzi rientra anche l'eccessiva offerta di quote nella fase pilota che ha generato una sovra allocazione.

Per procedere alla fase di studio statistico del mercato sono state svolte dettagliate analisi sulla dinamica delle serie utilizzate. La dinamica del prezzo *futures* dei permessi di emissione EUA è di particolare interesse per i partecipanti al mercato EU ETS, per gli operatori finanziari, i *traders* e le attività industriali sottoposte al controllo delle emissioni, in quanto devono considerare la nuova componente di costo e effettuare adatti investimenti futuri. Come ipotizzato, è stata

riscontrata nelle serie storiche la presenza di una componente di volatilità condizionata che le rende eteroschedastiche. La serie dei prezzi *futures* EUA è stata, infatti, definita mediante un modello GARCH (1,1). Per verificare i legami ipotizzati nel mercato sono stati eseguiti diversi tipi di modelli lineari, utilizzando gli stimatori OLS e modelli GARCH. Le analisi econometriche effettuate, utilizzando le serie dei rendimenti delle variabili, hanno confermato la presenza di relazioni tra il prezzo dei permessi EUA e l'andamento del settore elettrico, energetico ed economico europeo. Alcuni risultati ottenuti sono in contrasto con quanto presente nella letteratura; l'andamento del prezzo spot dell'elettricità nel mercato del nord Europa sembra spiegare in maniera limitata la variabile EUA essendo questo indicatore statisticamente significativo solo nel sottoperiodo Novembre 2011- Novembre 2013. È stata invece confermata la teoria secondo la quale i principali price drivers del mercato EUA siano le variabili del settore energetico, tra le quali figurano il Petrolio Brent e Natural Gas UK. Si ritiene quindi che il modello possa migliorare inserendo ulteriori variabili, relative alle commodity del settore, quali ad esempio carbone e alluminio. Viene inoltre confermato il legame tra l'andamento dell'economia, espresso dagli indici Eurostoxx e Dax, e i prezzi di mercato delle emissioni di carbonio. All'interno di questi indici sono infatti presenti le quotazioni di aziende sottoposte al controllo dei vincoli di emissione.

La forte componente di volatilità, l'incertezza del mercato e la sua relativa immaturità hanno reso complessa la definizione di un valido modello per il periodo 2008-2013. Il modello GARCH individuato nel periodo completo non è in grado di spiegare in maniera soddisfacente l'andamento del prezzo EUA, infatti l' R^2 assume un valore molto basso. Le analisi dei sottoperiodi hanno ottenuto risultati migliori in termini di bontà di adattamento dei modelli.

In conclusione, sono presenti nel mercato caratteristiche difficilmente quantificabili ed analizzabili. I bassi prezzi attuali individuano per taluni versi un fallimento del mercato, in quanto vi è una bassa domanda di permessi di emissioni

ed eccessiva offerta. Paradossalmente, la stessa crisi economica che ha compromesso il mercato EU ETS, ha permesso la riduzione delle emissioni di gas serra grazie proprio alla stagnazione produttiva industriale, contribuendo in questo modo al fine stesso del mercato, ossia la lotta ai cambiamenti climatici.

Per evitare una progressiva riduzione della domanda delle quote è necessario innanzitutto risollevarne i prezzi mediante una serie di azioni congiunte, aumentando i settori coinvolti, introducendo più adeguate normative, intensificando i controlli e le verifiche nel rispetto degli obblighi imposti, ritirando le eccessive quote non allocate nel mercato ed attuando in maniera adeguata il processo di connessione tra mercati di scambio mondiali (*linking*). Proprio questo *linking* dovrebbe consentire un'armonizzazione normativa delle regole a livello internazionale ma renderà senz'altro più complessa la determinazione dei price drivers del mercato EU ETS.

GLOSSARIO

AAU Assigned amount units, quota di gas serra

AEA Agenzia Europea per l'Ambiente

CER Certified Emission Reduction

CDM Clean Development Mechanism

CO1 Variabile Brent Crude Oil

COP Conference of the Parties

EEX European Energy Exchange

ECX European Climate Exchange

ENW Variabile Electricity Spot Price

ERU Emission Reduction Unit

EUA European Union Allowance

EUA A European Union Allowance Aviation

EU ETS Mercato Europeo di scambio delle quote di emissione

EXAA Energy Exchange Austria

FN1 Variabile UK Natural Gas

GHG Greenhouse gases, gas serra

GME Gestore Mercato Elettrico Italia

ICE Intercontinental Exchange

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

JI Joint Implementation

Linking Progetto di collegamento tra diversi mercati ETS

NAP Piano di Allocazione Nazionale, National Allocation Plan

ppm Parti per milione

RGGI Regional Greenhouse Gas Initiative (Mercato USA)

UNFCCC Convenzione quadro sui cambiamenti climatici

Wm-2 Unità di misura forzante radiativo

BIBLIOGRAFIA

- [1] Il sistema EU ETS . <http://www.gse.it/it/Gas%20e%20servizi%20energetici/Aste%20CO2/SistemaEU-ETS/Pagine/default.aspx>. consultazione: Febbraio 2014.
- [2] Powernext Company Profile. http://www.powernext.com/index.php#sk;tp=app;n=page;f=getPage;t=page;fp=system_name:Company_Profile;lang=en_US;m=Powernext_Group. consultazione: Novembre 2014.
- [3] Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale per il mercato elettrico, le rinnovabili, l'efficienza energetica e il nucleare. Sistema Europeo per lo scambio di emissioni - EU ETS . <http://www.mise.gov.it>. consultazione: Marzo 2014.
- [4] P: Aatola, M. Ollikainen, and A. Toppinen. Price determination in the eu ets market: Theory and econometric analysis with market fundamentals. *Energy Economics*, 36(0):380 – 395, 2013.
- [5] EEX European Energy Exchange AG. Emission Allowance Overview. <https://www.eex.com/en/products/emission-allowances>. consultazione: Aprile 2014.
- [6] European Environment Agency. Trends and projections in europe 2013. report 10/2013, European Environment Agency, 2013.

- [7] E. Alberola, Chevallier J., and B. Chèze. Price drivers and structural breaks in european carbon prices 2005 - 2007. *Energy Policy*, 2008.
- [8] IETA International Emissions Trading Association. European union. the world's carbon markets: A case study to emissions trading. Report, IETA, Maggio 2013.
- [9] E. Benz and S. Trück. Modeling the price dynamics of CO₂ emission allowances . *Energy Economics*, 31(1):4 – 15, 2009.
- [10] L. Bottoni, L. Di Giuliantonio. Il Mercato EU ETS: Prezzi, volumi scambiati, dinamiche di mercato, prospettive per il post . Report, International Alumni Association of Scuola Mattei, Milano, 2010.
- [11] D. Bunn and C. Fezzi. Interaction of european carbon trading and energy prices. 2(4), Dicembre 2009.
- [12] Julien Chevallier. Carbon futures and macroeconomic risk factors: A view from the EU ETS . *Energy Economics*, 31(4):614 – 625, 2009.
- [13] Julien Chevallier. *Econometric Analysis of Carbon Markets*. 2012.
- [14] E. Cicigoi and P. Fabbri. *Mercato delle emissioni ad effetto serra*. Il Mulino.
- [15] European Commission. I gas ad effetto serra. http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_it.pdf. consultazione: Ottobre 2013.
- [16] European Commission. Reducing emissions from aviation. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/faq_en.htm. consultazione: Marzo 2014.

- [17] European Commission. The EU Emissions Trading System (EU ETS). http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm. consultazione: Aprile 2014.
- [18] European Commission. The EU Emissions Trading System (EU ETS). report, European Commission, Gennaio 2013.
- [19] G. Daskalakis. On the efficiency of the european carbon market: New evidence from phase ii. *Energy Policy*, 54(0), 2013.
- [20] E. Declercq, B. Delarue and W. D'haeseleer. Impact of the economic recession on the European power sector's CO₂ emissions . *Energy Policy*, 39(3), 2011.
- [21] Gestore dei servizi Energetici s.p.a. Allocations di quote di titolo oneroso tramite asta: SISTEMA D'ASTE . Report, GSA s.p.a., Ottobre 2012.
- [22] Gestore dei servizi Energetici s.p.a. EU ETS: rapporto sull'andamento delle aste di quote di emissione italiane 2013. Report, GSA s.p.a., Febbraio 2014.
- [23] Agenzia Europea dell'Ambiente. Clean Development Mechanism (CDM). <http://www.eea.europa.eu/it>. consultazione: Maggio 2014.
- [24] Consiglio dell'Unione Europea. Decisione del Consiglio riguardante l'approvazione, a nome della Comunità europea, del protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e l'adempimento congiunto dei relativi impegni , Aprile 2002.
- [25] F Di Fonzo, T Lisi. *Serie storiche economiche*. 2005.
- [26] Parlamento e Consiglio dell'Unione Europea. DIRETTIVA 2003/87/CE che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio, Ottobre 2003.

- [27] Parlamento e Consiglio dell'Unione Europea. DIRETTIVA 2004/101/CE recante modifica della direttiva 2003/87/CE che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità, riguardo ai meccanismi di progetto del Protocollo di Kyoto, Ottobre 2004.
- [28] Parlamento e Consiglio dell'Unione Europea. Direttiva 2008/101/CE che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di includere le attività di trasporto aereo nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissioni dei gas a effetto serra, Novembre 2008.
- [29] Parlamento e Consiglio dell'Unione Europea. DIRETTIVA 2009/29/CE che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas a effetto serra, Aprile 2009.
- [30] World Bank Ecofys. Mapping Carbon Pricing Initiatives: Developments and Prospects 2013. World Bank, Washington, DC. Report, World Bank, 2013.
- [31] D. Ellerman and C. de Perthuis. *Pricing Carbon: The European Union Emission Trading Scheme*. 2010.
- [32] GSE Gestore Servizi Energetici. Rapporto annuale sull'andamento delle aste di quote di emissione italiane. Rapporto annuale 2012, GSE, 2012.
- [33] R.F. Engle. *Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation*. 1982.
- [34] Commissione Europea. DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 27 aprile 2011 che stabilisce norme transitorie per l'insieme dell'Unione ai fini dell'armonizzazione delle procedure di assegnazione gratuita delle quote di emissioni ai sensi dell'articolo 10 bis della direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, Aprile 2011.

- [35] Commissione Europea. Relazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo. La situazione del mercato europeo del carbonio nel 2012, Novembre 2012.
- [36] Commissione Europea. Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio: Progressi nella realizzazione degli obiettivi di Kyoto, Ottobre 2012.
- [37] S. Guirrieri. *Analisi econometrica delle serie storiche con R*, 2008.
- [38] Kevin A. Hassett and Gilbert E. Metcalf. Energy conservation investment: Do consumers discount the future correctly? *Energy Policy*, 21(6):710 – 716, 1993.
- [39] ICE Intercontinental Exchange Group Inc. ICE Product, Emissions. <https://www.theice.com/emissions.jhtml>. consultazione: Marzo 2014.
- [40] The World Bank Institute. The state and trend of the carbon market 2012. report, Carbon Finance at the World Bank, May 2012.
- [41] J.t Keppler and M. Mansanet-Bataller. Causalities between CO₂, electricity, and other energy variables during phase I and phase II of the EU ETS. *Energy Policy*, 38(7), 2010.
- [42] C. König. Nord Pool - role and contribution to the EU ETS. consultazione: Aprile 2014.
- [43] STOXX Limited. Euro stoxx 50. http://www.stoxx.com/indices/index_information.html?symbol=SX5E. consultazione: Maggio 2014.
- [44] B. Mizrach. Integration of the global carbon markets. *Energy Economics*, 34(1):335 – 349, 2012.

- [45] Karsten Neuhoff. *Climate Policy after Copenhagen: the role of carbon pricing*. 2011.
- [46] U. Oberndorfer. Mission allowances and the stock market: Evidence from the electricity industry. *Ecological Economics*, 68(4):1116 – 1126, 2009.
- [47] United Nations Conference on Environment and Development. United Nation Framework Convention on Climate Change. http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/2536.php. consultazione: Novembre 2013.
- [48] World Metereological Organisation. Wmo greenhouse gas bulletin, the state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2011. Bulletin, World Metereological Organisation - WMO, November 2012.
- [49] S. Perdan and A. Azapagic. Carbon trading: Current schemes and future developments. *Energy Policy*, 39.
- [50] Servizio Rapporti Internazionali e Ufficio Rapporti con l'unione Europea Servizio Studi-Dipartimento Ambiente. Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici - COP 19 di Varsavia, 11-22 Novembre 2013, Novembre 2013.
- [51] A. Solin, M. Katsigiannis, K. Parkkila, and B. Torabihaghighi. Modeling long-term electricity prices, Maggio 2011.
- [52] D. Qin M. Manning Z. Chen M. Marquis K.B. Av eryt M.Tignor Solomon, S. and H.L. Miller. *Ippc, 2007: Summary for policymakers. climate change 2007: The physical science basis. report*, Cambridge University Press, 2007.
- [53] J.H. Stock and M.W. Watson. *Introduzione all'econometria*. 2005.

- [54] D. Qin G.-K. Plattner M. Tignor S. K. Allen J. Boschung A. Nauels Y. Xia V.Bex Stocker, T.F. and P.M. Midgley. *Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. report*, Cambridge University Press, 2013.
- [55] CMCC Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici. IPCC Focal Point . <http://www.cmcc.it/it/about-ipcc-focal-point>. consultazione: Dicembre 2013.
- [56] Ruey S. Tsay. *Analysis of Financial Time Series*. 2005.
- [57] UNFCCC. Clean Development Mechanism (CDM). <http://cdm.unfccc.int/>. consultazione: Maggio 2014.
- [58] Energy Vortex. British Thermal Unit (BTU), MBTU, MMBTU. http://www.energyvortex.com/energydictionary/british_thermal_unit_%28btu%29__mbtu__mmbtu.html. consultazione: Maggio 2014.
- [59] W. Whitesell. *Climate Policy Foundations, Science and Economics with lessons from Monetary Regulation*. 2011.
- [60] Sophie Yeo. Shanghai and Beijing latest chinese cities to launch carbon trading schemes. <http://www.rtcc.org/2013/11/26/shanghai-and-beijing-latest-chinese-cities-to-launch-carbon-trading-schemes>. consultazione: Febbraio 2014.