



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Scienze Economiche e Statistiche

Corso di Laurea Triennale in Statistica per i Big Data

Tesi in

Laboratorio di Statistica

**LE DETERMINANTI DELLE
VARIAZIONI DEL PREZZO DEL
GRANO: DAI CAMBIAMENTI
CLIMATICI AL RISCHIO
GEOPOLITICO**

Relatore:

Ch.mo Prof. Vincenzo Candila

Candidato:

Sara Pilato

matr. 0212800738

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Sommario

Lista Delle Figure	3
Lista Delle Tabelle.....	4
Abstract	5
Introduzione	6
Capitolo 1: Contesto.....	7
1.1 Caratteristiche generali del mercato del grano.....	7
1.2 Formazione prezzo grano	7
1.2.1 Prezzo del grano e i contratti futures	7
1.2.2 Prezzi internazionali e nazionali.....	9
1.3 Esportatori e importatori di grano nel mondo	10
1.3.1 Principali esportatori a livello mondiale	11
1.3.2 Principali esportatori in Italia	12
1.4 Possibili cause della variazione del prezzo medio del grano.....	14
1.4.1 Cambiamento Climatico	14
1.4.2 Condizioni geopolitiche.....	14
Capitolo 2 : Metodologia.....	16
2 Serie temporali	16
2.1 Notazione e terminologia	16
2.1.1 Autocorrelazione.....	17
2.2 Autoregressioni.....	17
2.2.1 Stima del numero di ritardi p utilizzando i criteri d'informazione	18
2.3 Previsioni ed errori di previsione	19
2.4 Non stazionarietà	21

2.4.1	Non stazionarietà: i trend	21
2.4.2	Non stazionarietà: rotture strutturali	22
2.5	Effetti casuali dinamici e modelli a ritardi distribuiti	22
2.6	Ambiente di sviluppo: RStudio	23
Capitolo 3: Analisi.....		25
3	I dati.....	25
3.1.2	Indice geopolitico	27
3.2	Stima dei modelli	28
3.2.1	Predittori aggiuntivi e modelli autoregressivi a ritardi distribuiti	29
3.2.2	Moltiplicatori dinamici e moltiplicatori cumulati.	31
Conclusioni.....		34
Bibliografia e Sitografia.....		35

Lista Delle Figure

Figura 1. Produzione mondiale di cereali nel 2021/2022, per tipologia (in milioni di tonnellate) (Shahbandeh, 2022)	8
Figura 2. Produzione mondiale di grano dal 2011/2012 al 2021/2022 (Shahbandeh, 2022).	9
Figura 3. Prezzi di chiusura corretti del mercato del Chicago Wheat dal gennaio del 2001 fino al dicembre del 2022.	26
Figura 4. Livello di siccità degli Stati Uniti dal gennaio del 2001 fino al dicembre del 2022, indicato con l'indice DSCI.	27
Figura 5. Indice geopolitico dell'Ucraina dal gennaio del 2001 al dicembre del 2022.	28
Figura 7 Effetti dinamici cumulati di un incremento dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano	32
Figura 6. Effetto dinamico di un incremento dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano	32
Figura 8. Effetti dinamici cumulati in diversi periodi	33

Lista Delle Tabelle

Tabella 1. Esportazioni in milioni di tonnellate dei principali esportatori mondiali dal 2017/2018 al 2020/2021	12
Tabella 2. Elaborazione Ismea su dati ISTAT: I principali fornitori di grano duro dell'Italia (in tonnellate).....	13
Tabella 3. Elaborazione Ismea su dati ISTAT: I principali fornitori di grano tenero dell'Italia (in tonnellate).....	13
Tabella 4. Modelli autoregressivi delle variazioni mensili percentuali del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago.	29
Tabella 5. Modelli autoregressivi a ritardi distribuiti delle variazioni percentuali mensili del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago con regressori l'indice di siccità (index_dsci) ed l'indice di rischio geopolitico dell'Ucraina (index_gpr).	30
Tabella 6. Moltiplicatori dinamici e cumulativi data una variazione dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano.....	31

Abstract

Il grano è una delle materie prime più utilizzate al mondo, di fatti dalla lavorazione di questo materiale nascono pane, pasta, dolci e altro. Negli ultimi anni, con l'aumento del prezzo della farina e dei suoi derivati, questo alimento è diventato molto prezioso. La volatilità dei prezzi del grano è dovuta a diversi fattori come ad esempio: il cambiamento climatico, che ne influenza la produzione, fattori geopolitici, come la guerra in Ucraina scatenata dopo l'aggressione russa avvenuta il 24 febbraio 2022 e la crisi energetica.

Per studiare l'effetto di alcuni dei fattori nominati precedentemente sulle variazioni del prezzo del grano, il modello autoregressivo a ritardi distribuiti (ADL- distributed lags) è uno degli approcci più appropriati. Sono utilizzati due regressori nello specifico: un indice per il cambiamento climatico, ovvero l'indice di copertura sulla gravità della siccità ed un indice di rischio geopolitico per far riferimento alla situazione attuale in Ucraina. Il modello stimato con il software RStudio che cattura una miglior variabilità delle variazioni percentuali mensili del prezzo del grano è il modello autoregressivo a ritardi distribuiti ADL(1,1) che ha come regressori sia la variazione dell'indice di siccità che la variazione dell'indice geopolitico dello stato ucraino.

Le stime dei coefficienti dei predittori secondo la statistica F sono significative; quindi, incidono sulla variazione percentuale mensile del prezzo del grano di Chicago, ma non sono le uniche determinanti ad influire sulle variazioni del prezzo del grano dato che la variabilità della variabile dipendente non è catturata completamente.

Introduzione

La presente tesi di laurea triennale ha l'obiettivo di effettuare un'analisi sulle variazioni dei contratti futures del grano di Chicago utilizzando una serie di dati raccolti nel tempo. Negli ultimi anni i mercati dei prodotti di base sono stati caratterizzati da una maggiore volatilità e da oscillazioni di prezzo, quasi paragonabile, se non superiori ai livelli registrati nell'2007 durante la cosiddetta Great Recession (2007-2009).

Il settore dei cereali è uno dei più complessi, importanti e ben definiti del settore agroalimentare. Le variazioni del prezzo del grano potrebbero essere causate da diversi fattori, come ad esempio il cambiamento climatico e la guerra in Ucraina. L'invasione Russa nel territorio ucraino include anche il blocco delle esportazioni del grano, in seguito all'occupazione dei porti delle città ucraine che si affacciano sul Mar Nero, da parte delle navi da guerra russe. Tale strategia bellica ha causato danni considerevoli al mercato globale del grano. La Russia si è trovata ad accumulare cereali imponendo embarghi alimentari come forma di ricatto, trattenendo le forniture per far gonfiare i prezzi a livello globale.

Lo scopo finale è analizzare le variazioni percentuali del prezzo mensile dei contratti futures del grano di Chicago, e i diversi fattori che realmente potrebbero incidere su queste variazioni. Per poter effettuare tale studio verranno utilizzate come strumento d'analisi le serie temporali, nello specifico il modello autoregressivo a ritardi distribuiti che riesce a stimare gli effetti casuali dinamici e cumulati. Verrà utilizzato il software RStudio per poter gestire i dati ed ottenere stime e grafici utili per lo studio.

Capitolo 1: Contesto

1.1 Caratteristiche generali del mercato del grano

Il frumento è un alimento essenziale di prima necessità, in qualsiasi luogo del mondo, è consumato sia dall'uomo, sia dagli animali. Infatti, subito dopo il mais, è il secondo cereale più prodotto al mondo.

Il grano si distingue in due grandi categorie:

- Grano duro :
 - per essere coltivato necessita di un clima caldo e secco;
 - è usato per la preparazione di pasta e pane;
- Grano tenero :
 - per essere coltivato necessita di un clima umido e mite;
 - è usato per ricavare le diverse tipologie di farina bianca.

La sua importanza mondiale fa sì che costituisca un oggetto di scambio internazionale e per questo è definito una commodity. I mercati delle Commodities, commerciano tutti i tipi di beni, compresi gli alimenti e sono una tipologia di mercato finanziario speciale in cui i beni possono essere scambiati con denaro (Shahbandeh, 2022).

1.2 Formazione prezzo grano

Il grano è una delle merci più movimentate nel mercato globale: vengono scambiati circa 700 milioni di tonnellate all'anno. Questo cereale non può essere coltivato in tutte le latitudini a causa delle condizioni climatiche sfavorevoli, per tale motivo diventa una merce di scambio globale. Inoltre, bisogna tenere in considerazione l'epoca in cui viviamo, dominata da un sistema economico che riesce a trasformare qualsiasi cosa in uno strumento di speculazione finanziaria. La stima del prezzo del grano è complicata, ci sono molte variabili che devono essere prese in considerazione, prima di poter trarre una conclusione accurata. I diversi prezzi per regione sono aggiornati settimanalmente in base alle osservazioni dei vari mercati in termini di volume, tendenze e altri fattori rilevanti. In ogni Camera di commercio locale, sono presenti Borse merci che determinano tariffe all'ingrosso per tutti i soggetti coinvolti, dagli stoccatori ai grossisti, stabilendo un range tra minimo e massimo. Questo intervallo riflette il modo in cui l'incontro domanda-offerta è tra stoccatori/grossisti e produttori.

1.2.1 Prezzo del grano e i contratti futures

Il grano non è visto solo come un alimento, ma da un punto di vista finanziario è annoverato tra le più importate commodity nell'ambito delle negoziazioni delle borse merci internazionali. Il prezzo di quest'alimento è trattato tramite contratti futures, ovvero accordi

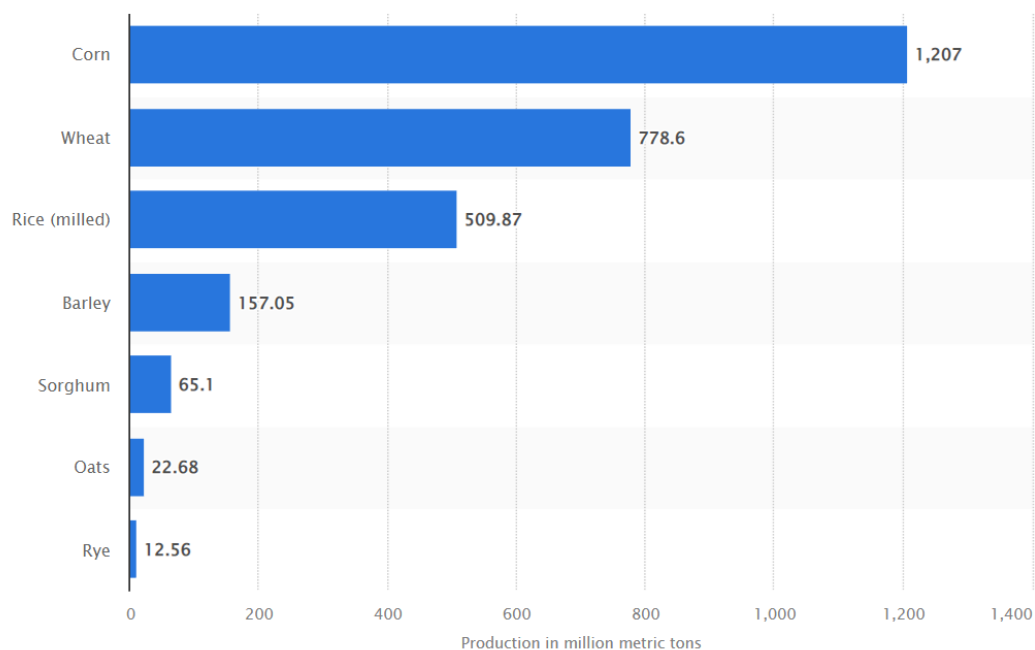


Figura 1. Produzione mondiale di cereali nel 2021/2022, per tipologia (in milioni di tonnellate) (Shahbandeh, 2022)

per acquistare o vendere un'attività per una data futura prescelta ad un costo prestabilito. Molte borse in tutto il mondo negoziano contratti futures, in particolar modo la Chicago Board of Trade fu la prima ad essere istituita nel 1848, per permettere agli agricoltori e ai mercanti di riunirsi. L'obiettivo iniziale fu quello di standardizzare qualità e quantità del grano negoziato che, nell'arco di pochi anni, venne definito il primo contratto a consegna futura. Gli speculatori mostrarono un particolare interesse per la negoziazione dei futures considerandolo una soluzione valida alla diretta negoziazione del grano. Oggigiorno le altre principali borse merci che trattano contratti futures sono: la Chicago Mercantile Exchange, London International Financial Futures and Options Exchange, Bolsa de Mercadorias y Futuros in Brasile, la Tokyo International Monetary Exchange e la Sydney Futures Exchange. Molti contratti futures non terminano alla consegna dell'attività sottostante, ma prima della scadenza del periodo di consegna. Tuttavia, è il potenziale di consegna finale che determina il prezzo dei futures. Ogni contratto prevede un periodo durante il quale le consegne possono essere effettuate secondo procedure ben definite. Le borse sono responsabili delle specifiche del contratto. In un contratto, sia chi assume una posizione lunga e sia chi assume una posizione corta, devono essere a conoscenza di cosa può essere consegnato, quando e dove consegnarlo. Devono anche sapere esattamente quali sono gli orari di negoziazione, come vengono visualizzati i prezzi e quali sono i limiti giornalieri per il movimento dei prezzi. I nuovi contratti devono essere approvati dalla Commodity Futures Trading Commission prima della negoziazione. I depositi di garanzia sono un aspetto importante dei mercati dei futures. Gli investitori hanno conti di deposito con i propri broker. Questo conto viene adeguato quotidianamente per riflettere i guadagni e le perdite realizzate e il broker può richiedere depositi in caso di movimenti di prezzo sfavorevoli da parte dei clienti. Il broker deve essere membro della clearinghouse o avere un conto di deposito presso una clearinghouse. Il saldo del suo

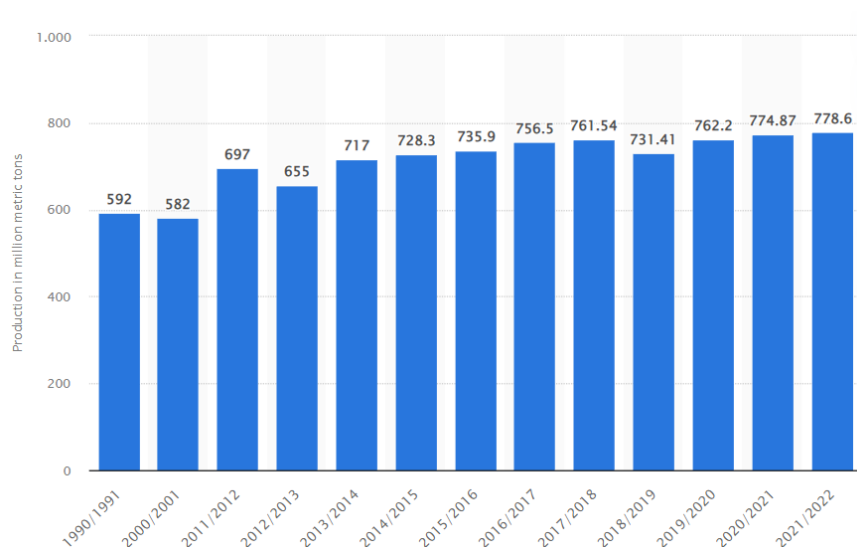


Figura 2. Produzione mondiale di grano dal 2011/2012 al 2021/2022 (Shahbandeh, 2022).

conto viene adeguato quotidianamente per riflettere i guadagni e le perdite dei contratti di cui sono responsabili i partner di compensazione. La borsa raccoglie sistematicamente informazioni sui prezzi e le distribuisce in pochi secondi agli investitori di tutto il mondo. Molti giornali, come il Wall Street Journal, pubblicano riassunti delle operazioni del giorno precedente (Hull, 2006).

1.2.2 Prezzi internazionali e nazionali

I prezzi del grano al livello internazionale dipendono fortemente dalle variazioni di produzione e di consumo di tale alimento. In termini economici la volatilità dei prezzi del grano è data dall'elasticità della domanda e dell'offerta, le quali sono influenzate da fattori, che possono essere importanti per amplificare o attenuare la volatilità dei prezzi. I principali elementi che caratterizzano il mercato (Gilbert C. L., 2010) sono:

- **stagionalità**: durante l'anno di raccolto le elasticità sono basse;
- previsioni sui **raccolti**;
- variazioni delle **scorte**.

Seppure la produzione, la lavorazione ed il consumo di grano siano compito esclusivamente in Italia, i prezzi sono ugualmente influenzati dalle variazioni internazionali (Ricci, 2019).

1.3 Esportatori e importatori di grano nel mondo

Il Consiglio Internazionale dei Grani (International Grains Council) è un'organizzazione intergovernativa, creata allo scopo di promuovere la cooperazione nel mercato internazionale dei cereali. Il Consiglio Internazionale dei Cereali ha tre obiettivi:

- promuovere la cooperazione internazionale in tutti gli aspetti del commercio di cereali, semi oleosi (dal 2012) e legumi secchi (dal 2021);
- promuovere lo sviluppo, l'apertura e l'equità del commercio internazionale sia per gli acquirenti che per i venditori;
- contribuire alla stabilità del mercato internazionale dei cereali, per rafforzare la sicurezza alimentare mondiale e alla crescita delle regioni che dipendono dalle vendite commerciali di cereali.

Per raggiungere tali obiettivi, i membri dell' International Grains Council cercano una maggiore trasparenza del mercato attraverso lo scambio di informazioni sulle condizioni attuali e sulle prospettive a lungo termine dei prezzi e delle politiche. (International Grains Council, 2022).

I membri dell'International Grains Council sono 30, di cui 11 esportatori e 19 importatori:

Paesi esportatori:

- Argentina
- Australia
- Canada
- India
- Kazakistan
- Russia
- Serbia
- Stati Uniti
- Turchia

- Ucraina
- Unione Europea

Paesi importatori:

- Algeria
- Arabia Saudita
- Città del Vaticano
- Corea del Sud
- Costa D'Avorio
- Cuba
- Egitto
- Giappone
- Iran
- Iraq
- Kenya
- Marocco
- Norvegia
- Oman
- Pakistan
- Regno Unito
- Sudafrica
- Svizzera
- Tunisia

1.3.1 Principali esportatori a livello mondiale

Analizzando le statistiche sulle esportazioni dal 2017 al 2021 dell'International Grains Council si evince che i principali esportatori sono:

- la Russia: 149,6 milioni di tonnellate;
- Unione Europea: 115,9 milioni di tonnellate;
- Stati Uniti: 103,5 milioni di tonnellate;
- Canada: 96,8 milioni di tonnellate;
- Ucraina: 71,7 milioni di tonnellate;
- Australia: 55,8 milioni di tonnellate.

Tabella 1. Esportazioni in milioni di tonnellate dei principali esportatori mondiali dal 2017/2018 al 2020/2021

	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021
Russia	41.3	35.7	34.2	38.4
Stati Uniti	24.6	25.5	26.3	27.1
Australia	13.9	9.0	9.1	23.8
Ucraina	17.7	16.0	21.1	16.9
Canada	21.9	24.3	24.3	26.3
UE	23.6	23.6	38.6	30.1

1.3.2 Principali esportatori in Italia

Nel 2021, l'Italia ha importato oltre 2,2 milioni di tonnellate di grano duro e altri 4,5 milioni di tonnellate di grano tenero; per un totale di 6,7 milioni di tonnellate, così come indicato nelle tabelle seguenti. (ISMEA, 2022).

Tabella 2. Elaborazione Ismea su dati ISTAT: I principali fornitori di grano duro dell'Italia (in tonnellate).

	2018		2019		2020		2021	
	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)
Mondo	1.755	100%	2.414	100%	3.025	100%	2.223	100%
Ungheria	220	13%	793	33%	1.537	51%	1.026	46%
Francia	144	8%	156	6%	159	5%	181	8%
Austria	167	10%	470	19%	664	22%	153	7%
Croazia	533	30%	401	17%	139	5%	150	7%
Germania	271	15%	140	6%	139	5%	77	3%

Tabella 3. Elaborazione Ismea su dati ISTAT: I principali fornitori di grano tenero dell'Italia (in tonnellate).

	2018		2019		2020		2021	
	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)	(000 t)	(%)
Mondo	5.209	100%	4.573	100%	4.355	100%	4.526	100%
Ungheria	888	17%	949	21%	1.143	26%	1.031	23%
Francia	784	15%	869	19%	809	19%	715	16%
Austria	466	9%	480	11%	444	10%	536	12%
Croazia	284	5%	119	3%	247	6%	254	6%
Germania	236	5%	331	7%	314	7%	234	5%

1.4 Possibili cause della variazione del prezzo medio del grano

Nell'ultimo triennio c'è stato un aumento continuo dei prezzi medi di vari prodotti alimentari. Tra di essi la farina e tutti i prodotti derivati. La crescita dei prezzi, oltre a essere una conseguenza diretta della recente guerra tra Russia e Ucraina, dipende anche da altri fattori come il cambiamento climatico e l'aumento dei costi energetici.

1.4.1 Cambiamento Climatico

Nel corso degli ultimi decenni si sono verificati fenomeni atmosferici imprevedibili, quali la siccità ed anomale ondate di calore negli Usa e in Canada e devastanti alluvioni in Europa Centrale.

Questi eventi sono stati all'origine del crollo della produzione del grano e del conseguente aumento dei prezzi, che hanno raggiunto picchi già verificatisi nella precedente crisi del 2008.

In particolare, in Europa il clima secco ha compromesso i raccolti di grano duro. Questo problema si è manifestato soprattutto in Francia, dov'è difficile raccogliere tanto grano a causa della mancanza di pioggia. L'Italia è stata colpita duramente sia da una siccità che da un'ondata di calore, che ha causato dei ritardi nella semina rendendo difficile la coltivazione. La produzione nazionale nel 2021 non ha raggiunto i 4 milioni di tonnellate rappresentando un piccolo calo rispetto al totale del mercato dell'anno 2020 (Confagricoltura, 2022).

1.4.2 Condizioni geopolitiche

Come già affermato, la Russia e l'Ucraina sono due dei principali esportatori di grano al mondo, con la Russia che esporta il 18,4% e l'Ucraina il 7%. Secondo un'analisi effettuata dall'Osservatorio della Complessità Economica (Observatory of Economic Complexity, 2022), quando l'invasione russa dell'Ucraina è iniziata il 24 febbraio 2022, il prezzo per l'acquisto di una tonnellata di grano era di 316,5 euro; ma in sole due settimane è aumentato del 33,5%, ovvero erano necessari 422,5 euro per una tonnellata metrica per acquistare la stessa quantità. Tra gli effetti della guerra c'è stato anche il blocco delle esportazioni del grano ucraino, avvenuto in seguito all'occupazione dei porti delle città ucraine che si affacciano sul Mar Nero, da parte delle navi da guerra russe. Tale strategia bellica ha causato danni considerevoli non solo all'Europa, ma anche a paesi fragili in tutto il mondo come Libano, Tunisia, Yemen, Libia e Pakistan, che hanno perso l'accesso alle fonti alimentari. La presidente dell'associazione ucraina del grano (UGA) Mykola Horbachov ha dichiarato che *“L'Ucraina fornisce una grande quantità di grano al mercato globale. L'unica soluzione è sbloccare i porti.”* (Rai News, 2022). La Russia si è trovata ad accumulare cereali, imponendo embarghi alimentari come forma di ricatto. Ha trattenuto le forniture per gonfiare i prezzi a livello globale o per scambiare i cereali per ottenere sostegno politico, rischiando di sconvolgere gli equilibri geopolitici con Paesi come Egitto, Turchia, Bangladesh e Iran che acquistano più del 60% del proprio grano da Russia e Ucraina. Oltre a bloccare i porti attraverso i quali passano i canali di distribuzione verso altri mercati, l'artiglieria russa sta deliberatamente bombardando enormi depositi

colmi di grano in tutta l'Ucraina. Questa situazione è degenerata troppo, come afferma anche Linda Thomas-Greenfeld, ambasciatrice Usa all'Onu: *«In una scala da uno a dieci il livello attuale di allarme per le forniture alimentari è 10»*.

Secondo i dati Istat, nel 2021, l'Italia ha importato 122 mila tonnellate di grano tenero dall'Ucraina e 72 mila tonnellate dalla Russia, di cui 51 mila di grano duro; quindi i due paesi rappresentano circa il 5% delle importazioni di grano tenero e il 2% delle importazioni di grano duro. Il 22 luglio 2022 è stato firmato l'accordo tra Ucraina e Russia, per il trasporto del grano ucraino attraverso il Mar Nero. I documenti sono stati sottoscritti separatamente dai due paesi protagonisti, con la mediazione della Turchia e dell'ONU. Per tale accordo prevedeva la scadenza in data 18 novembre 2022 ma il ministro degli Esteri russo Sergej Viktorovič Lavrov ha confermato l'estensione del trattato sui cereali del Mar Nero per altri 120 giorni (Mottaleb, 2022).

Capitolo 2 : Metodologia

2 Serie temporali

L'analisi delle serie temporali riveste un ruolo importante nel campo dei metodi statistici, poiché il suo oggetto di studio sono i mutamenti temporali di fenomeni dinamici, come quelli economici. Le serie storiche sono utilizzate per rispondere a domande quantitative, ad esempio qual è l'effetto casuale sulla variabile dipendente Y date le variazioni in un'altra variabile X nel tempo.

Una serie temporale o una serie storica consiste di un insieme di dati raccolti sulla stessa unità ordinati nel tempo. Le osservazioni vengono di solito effettuate sulla stessa scala temporale, ad esempio giornalmente, mensilmente, trimestralmente o annualmente, a seconda della natura del fenomeno oggetto di studio. Le osservazioni che compongono una serie temporale sono interdipendenti e la natura di questa dipendenza costituisce l'oggetto d'interesse. Le n variabili osservate sono realizzazioni di n variabili casuali X_1, \dots, X_n interdipendenti. Le serie storiche permettono di effettuare previsioni e stime degli effetti casuali (Kukjin Choi, 2021).

2.1 Notazione e terminologia

Per indicare i valori futuri e passati della variabile dipendente Y si utilizzano termini e notazioni specializzate:

- Y_t è utilizzato per indicare il valore osservato della variabile Y nel periodo di tempo t e il numero totale di osservazioni è indicato con T . L'intervallo di tempo tra l'osservazione t e l'osservazione $t+1$ è un'unità temporale.
- La serie di T osservazioni sulla variabile dipendente Y è indicata con Y_1, \dots, Y_T oppure con $[Y_t]$, $t=1, \dots, T$. In una raccolta di dati, $t=1$ è utilizzato per denotare il primo dato dell'insieme di dati, mentre $t=T$ indica l'ultimo elemento della raccolta.
- Y_{t-1} è chiamato primo valore ritardato, oppure primo ritardo ed è il valore nel periodo precedente rispetto a t nel periodo corrente. In generale Y_{t-j} indica il valore j periodi precedenti nel tempo.
- Analogamente, Y_{t+1} corrisponde al valore di Y un periodo avanti nel tempo.

Nelle serie temporali la differenza prima della variabile Y_t è calcolata come: $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$; dove il primo termine indica il valore della Y nel periodo $t-1$ mentre il secondo è il valore della variabile di risposta nel periodo t . Per le serie storiche economiche vengono spesso analizzate dopo aver calcolato il logaritmo o la variazione logaritmica. Una ragione è che molte serie di tipo economico crescono in modo quasi esponenziale, cioè tendono a crescere a un tasso medio annuo nel lungo periodo:

- La differenza prima del logaritmo è calcolata come: $\Delta \ln(Y_t) = \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-1})$.
- La percentuale di variazione della serie temporale Y_t tra i periodi $t-1$ e t è quasi uguale a $100\Delta \ln(Y_t)$, dove una percentuale minore di variazione porta a una previsione più accurata.

2.1.1 Autocorrelazione

Una delle problematiche che sorgono nelle serie temporali è l'autocorrelazione o chiamata anche correlazione seriale, vale a dire la correlazione di una serie con i suoi valori ritardati. La prima correlazione è la correlazione tra valori diversi di Y_t in tempi adiacenti. La seconda autocorrelazione è la correlazione tra Y_t e Y_{t-2} , ragion per cui, in generale la j -esima correlazione è la correlazione tra Y_t e Y_{t-j} :

$$\text{corr}(y_t, y_{t-j}) = p_j = \frac{\text{cov}(Y_t, Y_{t-j})}{\sqrt{\text{var}(Y_t) \text{var}(Y_{t-j})}}$$

In maniera conforme, la j -esima autocovarianza, è la covarianza tra Y_t e il suo j -esimo ritardo Y_{t-j} :

$$\text{autocovarianza}_j = \text{cov}(Y_t, Y_{t-j})$$

L'autocorrelazione e l'autocovarianza j -esima possono essere stimati con gli stessi indici campionari:

$$\hat{p}_j = \frac{\widehat{\text{cov}}(Y_t, Y_{t-j})}{\widehat{\text{var}}(Y_t)}$$

dove:

$$\widehat{\text{cov}}(Y_t, Y_{t-j}) = \frac{1}{T} \sum_{t=j+1}^T (Y_t - \bar{Y}_{j+1,T})(Y_{t-j} - \bar{Y}_{j-1,T})$$

2.2 Autoregressioni

Le autoregressioni vengono utilizzate per prevedere gli stati futuri in base agli stati passati e attuali, ovvero si modellano modelli di regressione in cui Y_t ha come regressori i suoi valori antecedenti. I modelli predittivi esprimono la media condizionata di una serie temporale Y_t , in funzione dei suoi ritardi. L'ordine delle autoregressioni è stabilito dal numero di ritardi utilizzati come regressori.

- **Il modello autoregressivo del primo ordine:**

Si dice modello autoregressivo del primo ordine, o AR(1) quando utilizza solo un ritardo di Y e può essere scritto come:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + u_t$$

I coefficienti β_0 e β_1 sono ignoti e non hanno un'interpretazione causale, ma sono utilizzati per valutare l'utilità nella previsione. β_0 e β_1 possono essere stimati utilizzando i dati disponibili fino al tempo T ed applicando il metodo dei minimi quadrati ordinari (OLS) :

$$\hat{Y}_{T+1|T} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Y_T$$

- **Il modello autoregressivo di ordine p:**

Il modello autoregressivo di ordine p, o AR(p) è vantaggioso per includere maggior informazione dato che il numero di ritardi è maggiore rispetto al modello AR(1). Il modello AR(p) è composto da una somma ponderata di p valori ritardati, e quindi possiamo modellare il valore di una variabile casuale Y_t al passo temporale T come:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + u_t$$

Anche in questo modello autoregressivo i coefficienti non sono noti e non hanno un'interpretazione casuale. Per verificare l'ipotesi che Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p} , non sono necessari per prevedere la variabile di risposta Y_t , è essenziale effettuare il test F sui coefficienti $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$.

- **Modello autoregressivo misto:**

L'aggiunta di altre variabili e dei loro ritardi in un'autoregressione, potrebbero aiutare a prevedere la variabile di risposta, tale struttura è rappresentata dai modelli autoregressivi misti. Questi modelli sono identificabili con l'acronimo ADL, dall'inglese Autoregressive Distributed Lag, sono definiti misti perché come regressori non sono presenti solamente i valori ritardati della variabile dipendente Y, ma anche ritardi multipli di un predittore aggiuntivo. Generalmente, un modello ADL(p,q) è:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \delta_1 X_{t-1} + \delta_2 X_{t-2} + \dots + \delta_q X_{t-q} + u_t$$

formato da p ritardi per la variabile di risposta Y_t e q ritardi di un predittore aggiuntivo X_t .

2.2.1 Stima del numero di ritardi p utilizzando i criteri d'informazione

Per scegliere l'ordine di p per un'autoregressione, il vantaggio di includere più ritardi deve essere bilanciato con il costo marginale di errori di stima più grandi:

- Se l'ordine dell'autoregressione stimata è troppo basso, ignora le informazioni latenti rilevanti contenute nei valori ritardati più lontani;
- Se invece l'ordine modello autoregressivo è troppo alto, stima più coefficienti del necessario, introducendo ulteriori errori di stima nelle previsioni.

Un modo per scegliere p è utilizzare la statistica F , partendo da un modello con molti ritardi ed eseguendo una serie di test sul ritardo finale, ma il problema con questo approccio è che tende a produrre modelli con molti ritardi. Una soluzione per aggirare questo problema è stimare p minimizzando un criterio d'informazione:

- Criterio d'informazione Bayesiano o BIC

$$BIC(p) = \ln\left(\frac{SSR(p)}{T}\right) + (p + 1) \frac{\ln T}{T}$$

Dove SSR corrisponde alla somma dei residui al quadrato della stima del modello $AR(p)$

- Criterio d'informazione di Akaike o AIC

$$AIC(p) = \ln\left(\frac{SSR(p)}{T}\right) + (p + 1) \frac{2}{T}$$

Il criterio d'informazione $AIC(p)$ quando lavora con grandi campioni sceglie p in modo da minimizzare il mean squared forecast error previsto dall'errore di predizione finale.

2.3 Previsioni ed errori di previsione

L'espressione previsione si riferisce a una previsione fatta per una data futura che non fa parte del set di dati utilizzato per compiere la previsione ed è di conseguenza un'osservazione futura fuori campione. Allorquando la previsione riguarda il periodo immediatamente successivo alla fine dei dati disponibili, ovvero Y_{T+1} viene previsto utilizzando i dati fino a T , si allude a una previsione un passo avanti. Considerato che il futuro è sconosciuto gli errori sono inevitabili nelle previsioni e si determina come:

$$\text{errore di precisione} = Y_{t+1} - \hat{Y}_{t+1|t}$$

L'errore di previsione deriva dalla previsione e si verifica solo dopo che è trascorso un tempo sufficiente per osservare il valore effettivo di Y . Poiché gli errori sono inevitabili, l'obiettivo non è eliminarli, ma renderli il più piccoli possibile, ovvero ottenere la previsione più accurata possibile. La metrica quantitativa utilizzata è il Mean Squared Forecast Error (MSFE) ossia il valore atteso dell'errore di previsione al quadrato:

$$MSFE = E[(Y_{T+1} - \hat{Y}_{T+1|T})^2]$$

Questo valore atteso dipende dalla distribuzione di Y e dal modello di previsione. Il Mean Squared Forecast Error utilizza il quadrato per incrementare il peso degli errori grandi rispetto a quelli piccoli visto che nella pratica una serie di piccoli errori può

causare solo piccoli problemi per la stima, mentre un singolo errore di previsione molto grande può danneggiare un'intera previsione. Il Mean Squared Forecast Error è un valore atteso ignoto che deve essere stimato dai dati e per valutare la sua stima come termine di paragone si utilizza la previsione oracolo. La previsione oracolo corrisponde alla miglior previsione possibile dato che minimizza il MSFE e corrisponde alla media condizionata di Y date le osservazioni campionarie disponibili.

Sotto l'assunzione di stazionarietà definiamo il MSFE con la seguente equazione:

$$MSFE = \sigma_u^2 + \text{var}(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Y_T + \hat{\beta}_p Y_{T-p+1})$$

Per stimare il valore di MSFE vengono utilizzati tre metodi di crescente complessità, tutti basati su dati campione:

- **Metodo 1: Stimare l'MSFE mediante l'errore standard della regressione.**

Questo metodo di stima è il più semplice perché si concentra solo sull'incertezza futura sconosciuta e ignora l'incertezza associata alla stima dei coefficienti di regressione poiché è proporzionale al numero di osservazioni T . Per i modelli autoregressivi in cui T è maggiore del numero di ritardo p , il contributo del secondo termine è piccolo rispetto al primo termine. La stima dell'MSFE si semplifica ed è:

$$\widehat{MSFE}_{SER} = s_u^2$$

Dove:

$$s_u^2 = \frac{SSR}{T - p - 1}$$

- **Metodo 2: Stimare l'MSFE mediante l'errore di previsione finale.**

Tale metodo di stima, quando il numero di osservazioni T non è grande rispetto al numero di ritardi p , incorpora future previsioni campionarie di incertezza ed errore di stima nell'ipotesi che le aspettative condizionali stimate dal modello rimangano stazionarie. L'errore di previsione finale (FPE) è una stima di MSFE che include entrambi i termini nell'ipotesi aggiuntiva che gli errori siano omoschedastici.

$$\widehat{MSFE}_{FPE} = \left(\frac{T + p + 1}{p} \right) s_u^2 = \left(\frac{T + p + 1}{T - p - 1} \right) \frac{SSR}{T}$$

Rappresenta un miglioramento rispetto al metodo 1 correggendo l'incertezza di campionamento nelle stime dei coefficienti.

- **Metodo 3: Stimare l'MSFE mediante la pseudo previsione fuori campione.**

Questo metodo, che consiste nello stimare un modello su un sottocampione di dati e poi utilizzare tale modello per fare previsioni sul campione riservato, è

chiamato pseudo previsione fuori campione. È pseudo perché le osservazioni previste non vengono utilizzate per stimare il modello e i dati riservati non sono osservazioni effettive fuori dal campione.

$$\widehat{MSFE}_{POSS} = \frac{1}{P} \sum_{s=T-P+1}^T \widetilde{u}_s^2$$

2.4 Non stazionarietà

Nel contesto delle serie temporali, l'idea che le relazioni storicamente osservate possano essere generalizzate nel futuro è formalizzata dal concetto di stazionarietà. Se la distribuzione congiunta della serie storica $(Y_{s+1}, Y_{s+2}, \dots, Y_{s+T})$ non dipende da s ed è indipendente dal valore di T si definisce stazionaria, altrimenti la serie Y_t si dice non stazionaria. Esistono due tipi di non stazionarietà: quando la media incondizionata presenta un trend oppure quando i coefficienti di regressione della popolazione cambiano in un preciso punto del tempo.

2.4.1 Non stazionarietà: i trend

Un trend è il movimento a lungo termine di una variabile nel tempo, in modo che la serie temporale fluttui attorno alla sua tendenza. Nelle serie temporali si possono osservare due tipi di trend:

- trend deterministico: quando si tratta di una funzione non casuale che varia nel tempo;
- trend stocastico: il trend è casuale e cambia nel tempo. Un esempio di trend casuale è il Random Walk:

Il punto di partenza per individuare un trend in una serie temporale è esaminare il suo grafico e, se esiste un trend, è possibile utilizzare il test di Dickey-Fuller per verificare l'ipotesi di non stazionarietà:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \delta Y_{t-1} + u_t$$

Test:

$$\begin{cases} H_0: \delta = 0 \\ H_1: \delta < 0 \end{cases}$$

Se l'ipotesi nulla non può essere rifiutata, significa che i coefficienti del modello AR sono distorti verso 0, alcune statistiche t non obbediscono alla distribuzione normale e l'inferenza è difficile e inaffidabile, se Y e X sono indipendenti e non stazionarie, la regressione Y su X (o X su Y) è spuria e non produce risultati attendibili.

2.4.2 Non stazionarietà: rotture strutturali

Il secondo tipo di non stazionarietà si verifica quando la funzione di regressione cambia durante il periodo campionario, ad esempio a causa di cambiamenti politici, invenzioni tecnologiche, ecc. Se si verificano queste rotture (o break) strutturali, le previsioni non sono affidabili, quindi è importante rivedere il modello se vengono rilevate. Le interruzioni strutturali possono derivare da bruschi cambiamenti nei coefficienti di regressione in date specifiche o dalla graduale evoluzione dei coefficienti su periodi di tempo più lunghi. Esistono due modi possibili per rilevare le interruzioni:

- Se si conosce la data esatta dell'interruzione, la stabilità dei coefficienti può essere verificata mediante il test di Chow.
- Se la data di rottura è sconosciuta, utilizzare il test QLR, che si basa sul valore massimo della statistica all'interno di un intervallo. Se la funzione di regressione presenta interruzioni significative, la data con la statistica Chow più grande è la stima della data di interruzione. (Stock, 2022)

2.5 Effetti casuali dinamici e modelli a ritardi distribuiti

Un effetto casuale dinamico è la distribuzione temporale dell'effetto di una variazione di X sulla variabile di interesse Y . Poiché gli effetti dinamici si verificano necessariamente nel tempo, i modelli econometrici utilizzati per stimare gli effetti casuali dinamici devono tenere conto dell'esistenza di ritardi. Per questo, viene utilizzato il modello a ritardi distribuiti (Distributed Lag , DL), che mette in relazione X_t e r suoi ritardi, con Y_t .

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_{t-1} + \beta_3 X_{t-2} + \dots + \beta_{r+1} X_{t-r} + u_t$$

Dove:

- β_1 corrisponde all'effetto d'impatto: effetto su Y_t della variazione in X_t tenendo costanti i valori passati di X_t ;
- β_2 corrisponde al moltiplicatore dinamico periodo 1: effetto su Y_t della variazione in X_{t-1} tenendo costanti i valori di X_t e degli altri ritardi X_{t-2}, X_{t-3} ;
- β_3 corrisponde al moltiplicatore dinamico periodo 2: effetto su Y_t della variazione in X_{t-2} tenendo costanti i valori di X_t e degli altri ritardi X_{t-1}, X_{t-3} ;
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, etc. ... sono gli effetti casuali dinamici.

Esistono due diversi tipi di esogeneità nei modelli a ritardi distribuiti, vale a dire due diverse condizioni di esogeneità:

- esogeneità passata e presente (esogeneità):

$$E(u_t | X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots) = 0$$

- esogeneità passata, presente, futura (esogeneità rigorosa)

$$E(u_t | \dots, X_{t+2}, X_{t+1}, X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots) = 0$$

Se X è strettamente esogena, allora è anche esogena, ma non è vero il contrario.

Le assunzioni del modello a ritardi distribuiti sono quattro: la prima assunzione, che X sia esogena, estende l'ipotesi della media condizionale zero per i dati selezionati per includere tutti i valori ritardati di X . Questa ipotesi implica che i coefficienti r dei ritardi della distribuzione costituiscono l'insieme di effetti dinamici diversi da zero. La seconda assunzione si compone di due parti: la prima richiede che le variabili seguano una distribuzione stazionaria, e la seconda richiede che si distribuiscano indipendentemente all'aumentare della distanza temporale. La terza assunzione è che gli outlier siano improbabili, in termini matematici, richiedendo che la variabile abbia più di otto momenti finiti diversi da zero. La quarta assunzione è che la perfetta collinearità non esiste.

Sotto queste assunzioni, un metodo per poter stimare gli effetti casuali dinamici è quello di stimare i coefficienti del modello a ritardi distribuiti tramite i minimi quadrati ordinari (OLS). Tali stime saranno consistenti e non distorte se l'errore u_t è autocorrelato mentre, se i fattori omessi che determinano Y sono essi stessi correlati, il termine di errore u_t nel modello a ritardi distribuiti sarà correlato in serie e gli errori standard dei minimi quadrati ordinati saranno inconsistenti. La soluzione è data dall'utilizzo degli errori standard HAC (Heteroskedasticity-and Autocorrelation-Consistent), ovvero sono degli errori standard robusti sia all'autocorrelazione sia all'eteroschedasticità. La varianza delle stime ha un fattore di correzione f_T .

$$\tilde{\sigma}_\beta^2 = \hat{\sigma}_\beta^2 f_T$$

Tra i più applicati, Newey and West

$$f_T = 1 + 2 \sum_{j=1}^m \left(\frac{m-j}{m} \right) \rho_j$$

2.6 Ambiente di sviluppo: RStudio

Per svolgere le analisi per la presente tesi è stato utilizzato il software RStudio, ovvero un ambiente di sviluppo integrato (IDE) gratuito e open source, utile per la programmazione nel linguaggio di programmazione R. È efficace per l'implementazione del calcolo statistico, delle tecniche di Data Mining, per la gestione dei dati e per la loro produzione. RStudio è fornito di molte librerie installate per impostazione predefinita. Tuttavia, attraverso il sito web CRAN (Comprehensive R Archive Network) è possibile scaricare ulteriori packages, a seconda delle necessità dell'utente, nei quali sono

presenti quantità di funzioni utilizzabili con nel linguaggio di programmazione R. Di seguito sono riportate le librerie utilizzare per effettuare le analisi per la presente tesi:

- pdfetch
- readr
- readxl
- dplyr
- tsbox
- zoo
- fpp2
- forecast
- dynlm
- sandwich
- stargazer

Capitolo 3: Analisi

3 I dati

I futures Chicago Soft Red Winter Wheat (SRW) sono il punto di riferimento preminente per la determinazione del prezzo del grano in tutto il mondo. Questo tipo di grano rappresenta il 62% del totale del grano scambiato a livello globale. I dati ispezionati in questa tesi riguardano i prezzi del Chicago Wheat, i quali sono stati ricavati direttamente dal sito “Yahoo Finance”. I prezzi riportati si riferiscono all’unità contrattuale di questo mercato che è pari a 5.000 staia che corrispondono a circa 136 tonnellate metriche. Nel dataset sono presenti sei diverse variabili:

- il prezzo di apertura del mercato;
- il prezzo più alto che si è registrato;
- il prezzo più basso che si è registrato;
- il prezzo di chiusura del mercato;
- il prezzo di chiusura corretto del mercato;
- la quantità di grano scambiata.

La serie storica rappresenta nella Figura 3 è costruita sulla variabile del prezzo di chiusura corretto del mercato e specificando la frequenza pari a 12 dato che si tratta di dati mensili. Dal 2001 al 2005 i prezzi per l’acquisto di un’unità contrattuale non hanno mai superato i 400\$ ma negli anni successivi, per acquistare sempre la stessa quantità, si verifica un innalzamento dei prezzi fino a circa 1100\$, uno dei valori massimi registrati. L’impennata nei prezzi avvenuta nel 2007 coincide con la crisi mondiale finanziaria del 2007-2008. Subito dopo la crisi, nel 2010 i prezzi per l’acquisto di un’unità contrattuale diminuiscono quasi della metà rispetto ai valori registrati precedentemente. In seguito fino all’anno 2015 il costo per acquistare un’unità contrattuale non supera mai gli 800\$ e decresce fino a circa 300\$ nel 2017. Dipoi la curva dei costi cresce tanto da raggiungere, nel 2022 quasi gli stessi livelli dei valori registrati durante la crisi finanziaria mondiale nel 2007. Le cause del rialzo dei prezzi nell’ultimo biennio sono l’obiettivo di studio della seguente tesi, ovvero comprendere se gli innalzamenti dei prezzi sono attribuibili alle problematiche che il mondo sta affrontando, tra cui il cambiamento climatico e la guerra tra Russia e Ucraina.

3.1.1 Indice climatico: gravità della siccità e indice di copertura DSCI

La zona di coltivazione del grano tenero invernale rosso sono gli Stati Uniti. Il nome del frumento deriva proprio dal fatto che il raccolto cresce durante i mesi invernali degli Stati Uniti: la stagione della semina va da metà agosto a fine ottobre e il raccolto inizia alla fine di maggio fino ad agosto. Tuttavia, di tanto in tanto e a seconda della loro intensità, le ondate di siccità causano una perdita di raccolto oppure una scarsa qualità

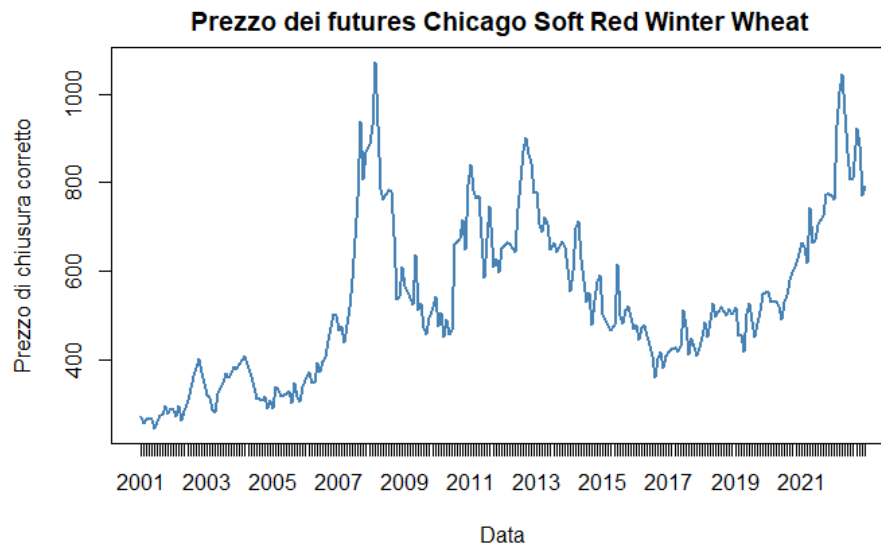


Figura 3. Prezzi di chiusura corretti del mercato del Chicago Wheat dal gennaio del 2001 fino al dicembre del 2022.

del grano. Per poter verificare se le variazioni del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago sono causate alle ondate di siccità, è idoneo utilizzare un indice di siccità come regressore all'interno di un modello a variabili ritardate. Dalla collaborazione nata nel 2000 la National Drought Mitigation Center (NDMC), il Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) e la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) lavorano sull'US Drought Monitor (USDM). Quest'ultima è una mappa che viene aggiornata ogni giovedì per mostrare la posizione e l'intensità della siccità in tutto il paese. Le informazioni sono ottenute dagli esperti di siccità che considerano il confronto tra i totali delle precipitazioni recenti in tutto il paese e le loro medie a lungo termine. Gli studiosi controllano variabili, tra cui temperature, umidità del suolo, livelli dell'acqua in corsi d'acqua e laghi, copertura nevosa e deflusso dell'acqua di disgelo. Sulla base di dozzine di indicatori, gli esperti formulano i loro migliori giudizi sulle condizioni di siccità su scala regionale, quindi controllano le loro valutazioni con esperti del settore prima di pubblicare mappe settimanali della siccità. L'USDM utilizza un sistema a cinque categorie etichettate (Nebraska-Lincoln, 2023):

- Anormalmente asciutto (D0),
- Moderata (D1),
- Grave (D2),
- Estrema (D3),
- Eccezionale (D4).

Nella seguente analisi utilizzeremo l'indice sulla gravità della siccità (DSCI), ovvero una soluzione sperimentale per convertire i cinque livelli di siccità in un singolo

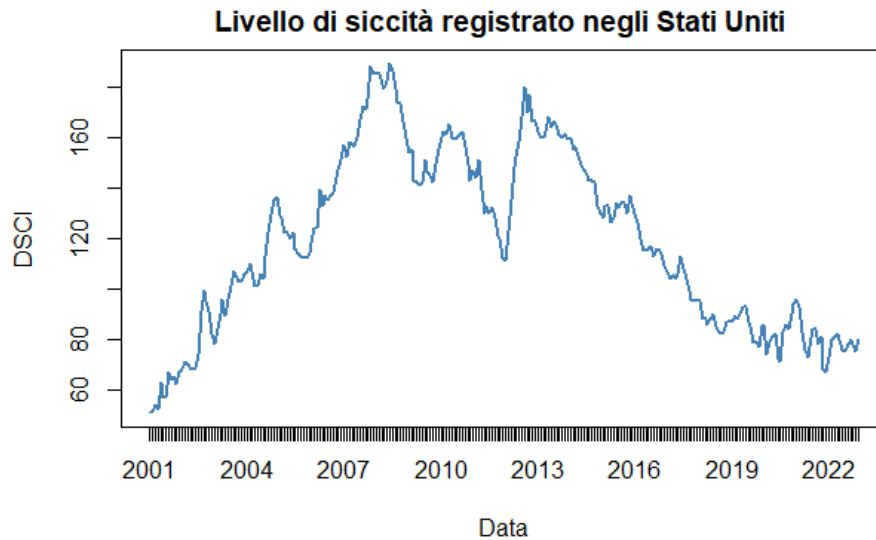


Figura 4. Livello di siccità degli Stati Uniti dal gennaio del 2001 fino al dicembre del 2022, indicato con l'indice DSCI.

valore. I dati sono stati scaricati direttamente dal sito US Drought Monitor (USDM) dove possibili valori che l'indice DSCI può assumere vanno da 0 a 500: zero significa l'area è anormalmente secca, mentre 500 significa che la zona ha una siccità eccezionale. Nella Figura 4. è riportato l'andamento della serie storica dell'indice sulla gravità della siccità (DSCI) degli Stati Uniti dal gennaio 2001 fino al dicembre del 2022. In generale, nell'arco di tempo osservato, la gravità di siccità non supera mai il valore di 180, ciò significa che il caso più estremo che si è verificato rientra nel livello "Moderato" di siccità. Dal 2001 al 2007 i valori dell'indice DSCI registrati sono in continua crescita, e nel 2007 raggiungono il picco corrispondente al livello di siccità "Moderato". Dal 2007 al 2012 l'indice di siccità decresce fino a un livello "Anormalmente asciutto" e nel 2013 aumenta velocemente raggiungendo nuovamente un livello di gravità "Moderato". Dal 2013 fino ad 2022 la gravità della siccità decresce registrando come valore minimo 80.

3.1.2 Indice geopolitico

L'ulteriore variabile esplicativa per la variazione del prezzo del grano di Chicago è il Geo-Political Risk (GPR), proposto da Caldara e Iacoviello (Iacoviello, 2023). L'indice è specifico per ogni paese e riflette i risultati della ricerca testuale automatizzata degli archivi elettronici dei giornali statunitensi tra cui : The New York Times, Chicago Tribune e The Washington Post. In tutto, si considerano 43 paesi, per i quali Caldara e Iacoviello calcolano l'indice specifico contando la quota mensile di tutti gli articoli di giornale dal 1900 all'anno corrente contenente una serie di parole chiave, sul totale degli articoli pubblicati. Gli indici risultanti catturano la prospettiva degli Stati Uniti sui rischi posti da, o che coinvolgono, il paese in questione. I dati sono stati scaricati dal sito di Matteo

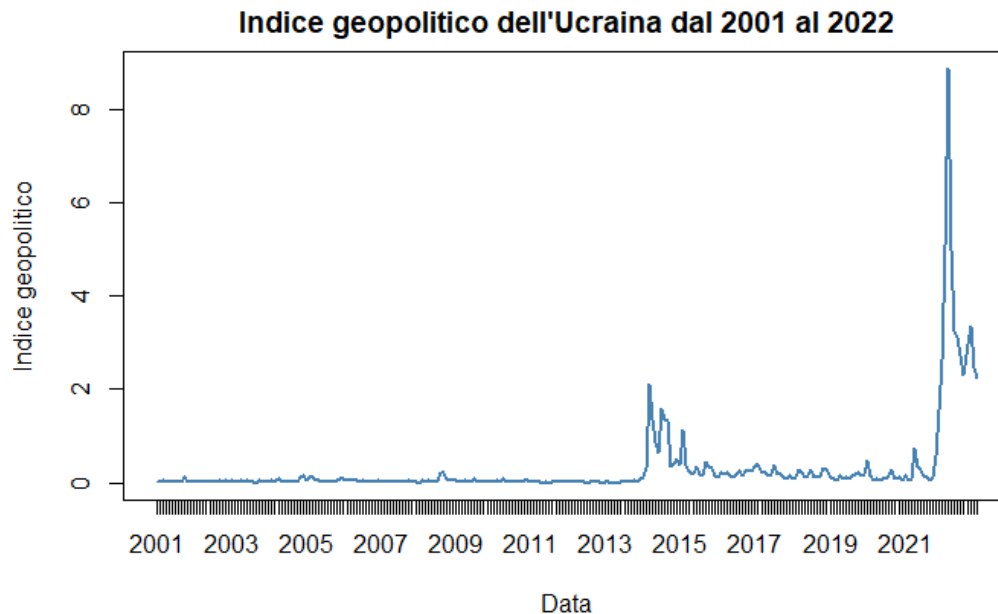


Figura 5. Indice geopolitico dell'Ucraina dal gennaio del 2001 al dicembre del 2022.

Iacoviello (Iacoviello, 2023). La Figura 5 riporta indice geopolitico dell'Ucraina dal gennaio 2001 al dicembre del 2022. Osservando il grafico si nota che l'Ucraina non è mai stata oggetto di alti rischi geopolitici fino al 2021, ovvero l'anno in cui è iniziata l'invasione Russa nel territorio ucraino. La curva della serie storica del rischio geopolitico dello stato ucraino cresce molto rapidamente negli ultimi due anni raggiungendo un indice geopolitico pari a 8.

3.2 Stima dei modelli

Dopo aver importato i dati dei prezzi mensili dei contratti futures del grano di Chicago nella workspace direttamente dal sito di Yahoo Finance, ed aver costruito la serie storica dei prezzi di chiusura corretti del mercati del grano, si stima il primo modello. Si parla del modello autoregressivo di primo ordine, che utilizza solo il risultato più recente della serie temporale osservata. Per la serie della variazione del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago, il modello autoregressivo di ordine uno utilizza solamente le informazioni sulla variazione del prezzo dei contratti futures osservate nell'ultimo mese per prevedere un tasso di variazione futuro. La variabile dipendente è la variazione del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago, mentre la variabile indipendente è la variazione del prezzo del mese precedente. I coefficienti del modello AR(1) e gli standard error robusti, sono riportati nella Tabella 4, generata dalla funzione `stargazer()` in RStudio, insieme agli altri coefficienti stimati e standard error robusti dei modelli AR(2) ed AR(4):

Tabella 4. Modelli autoregressivi delle variazioni mensili percentuali del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago.

Modello Autoregressivo delle variazioni mensili del prezzo dei contratti futures del grano			
	variabile Dipendente: variazione del prezzo dei futures del grano		
	AR(1)	AR(2)	AR(4)
variazione prezzot-1	-0.060 (0.069)	-0.064 (0.070)	-0.067 (0.070)
variazione prezzot-2		-0.066 (0.062)	-0.072 (0.063)
variazione prezzot-3			-0.031 (0.060)
variazione prezzot-4			-0.062 (0.059)
Intercetta	0.453 (0.514)	0.476 (0.516)	0.526 (0.525)
observations	262	261	259
R2	0.004	0.008	0.012
Adjusted R2	-0.0002	0.0002	-0.003
Residual Std. Error	8.381 (df = 260)	8.394 (df = 258)	8.440 (df = 254)
F Statistic	0.954 (df = 1; 260)	1.029 (df = 2; 258)	0.794 (df = 4; 254)

Non ci sono coefficienti statisticamente significativi in nessuno dei modelli stimati, e le ipotesi che tutti i coefficienti siano pari a zero non sono respinte. L'indice di R quadro corretto è quasi zero in tutti i modelli e persino negativo per l'AR(1) e per l'AR(4). Ciò suggerisce che nessuno dei modelli è utile per prevedere le variazioni del prezzo dei contratti futures per il grano di Chicago.

3.2.1 Predittori aggiuntivi e modelli autoregressivi a ritardi distribuiti

Invece di utilizzare come predittori solo i ritardi della variabile dipendente, è opportuno aggiungere al modello i ritardi di altri predittori come ad esempio l'indice sulla gravità della siccità degli Stati Uniti oppure l'indice di rischio geopolitico dello stato ucraino. Il modello autoregressivo a ritardi distribuiti ADL(1,1) ha come predittore le differenze prime dell'indice sulla gravità della siccità e il primo ritardo della stessa variabile dipendente, i coefficienti sono riportati nella prima colonna della Tabella 5.. Inoltre, è opportuno verificare se l'aggiunta di informazioni passate sull'indice riguardante la gravità della siccità migliorino la previsione. A tal punto sono stimati il modello ADL(1,2) che è riportato nella seconda colonna della Tabella 5. ed il modello ADL(1,3) nella terza colonna della stessa tabella. Per quanto riguarda il modello ADL(1,1), il coefficiente dell'indice della gravità della siccità al tempo t stima la variazione percentuale dei prezzi nel mese in cui si verifica una variazione unitaria dell'indice sulla gravità della siccità. La stima della variazione dei prezzi per ogni variazione unitaria dell'indice di siccità in quel mese è pari a 0,25%. Mentre il coefficiente del primo ritardo dell'indice di siccità stima la variazione percentuale dei prezzi dei contratti futures del grano di Chicago derivante una variazione unitaria dell'indice di siccità nel mese precedente. In questo caso determina un decremento del prezzo pari a 0,21%. Nei modelli ADL(1,2) e ADL(1,3) I coefficienti significativi in entrambi i modelli stimati sono quelli associati al primo ritardo dell'indice che gestisce la siccità ed il suo valore al tempo t . Come visto già nel modello ADL(1,1), la stima della variazione dei prezzi per ogni variazione unitaria dell'indice di siccità in quel mese

Tabella 5. Modelli autoregressivi a ritardi distribuiti delle variazioni percentuali mensili del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago con regressori l'indice di siccità (index_dsci) ed l'indice di rischio geopolitico dell'Ucraina (index_gpr).

Modello Autoregressivo a ritardi distribuiti delle variazioni percentuali mensili del prezzo dei contratti futures del grano					
	Variabile Dipendente:Variazione del prezzo dei futures del grano				
	AR(1)	ADL(1,1)	ADL(1,2)	ADL(1,3)	ADL(1,1)+indice GPR
L(chgp)	-0.060 (0.062)	-0.090 (0.062)	-0.083 (0.062)	-0.077 (0.062)	-0.097 (0.061)
index_dsci		0.253** (0.101)	0.259** (0.101)	0.269*** (0.102)	0.240** (0.100)
L(index_dsci)		0.219** (0.102)	0.230** (0.103)	0.216** (0.104)	0.216** (0.101)
L(index_dsci, 2)			-0.092 (0.102)	-0.116 (0.103)	
L(index_dsci, 3)				0.155 (0.102)	
index_gpr					2.721** (1.137)
Constant	0.453 (0.518)	0.417 (0.508)	0.417 (0.510)	0.401 (0.511)	0.398 (0.504)
Observations	262	262	261	260	262
R2	0.004	0.050	0.053	0.062	0.071
Adjusted R2	-0.0002	0.039	0.038	0.043	0.057
Residual Std. Error	8.381 (df = 260)	8.214 (df = 258)	8.232 (df = 256)	8.228 (df = 254)	8.140 (df = 257)
F Statistic	0.954 (df = 1; 260)	4.552*** (df = 3; 258)	3.585*** (df = 4; 256)	3.331*** (df = 5; 254)	4.909*** (df = 4; 257)

è pari al 0,26% ed in caso di variazione unitaria de livello di gravità della siccità un mese fa, la variazione del prezzo medio dei contratti futures del grano cresce del 0,21%. La Tabella 5. riporta gli indici R quadro corretti dei modelli autoregressivi misti che sono nettamente migliori rispetto al modello autoregressivo di primo ordine ma in generale la bontà di adattamento del modello è ancora scarsa. Gli standard error robusti sono migliorati leggermente, ma il risultato del test-F sui coefficienti dell'indice di siccità fornisce la prova che il modello ADL(1,1) spiega meglio la variazione percentuale del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago in quanto, l'ipotesi che tutti i coefficienti siano uguali a zero può essere rifiutata a livello di significatività di 0,05. Aggiungiamo al modello autoregressivo a ritardi distribuiti di primo ordine ADL(1,1) un ulteriore predittore per verificare se aiuta a prevedere il valore futuro o meno. Il predittore aggiuntivo è l'indice di rischio geopolitico dello stato ucraino a cui sono state applicate le differenze prime, quindi si parla di variazione. Il modello stimato è il seguente:

$$\widehat{ch\,gp} = 0,398 - 0,097\,ch\,gp_t + 0,240DSCI_t + 0,216DSCI_{t-1} + 2,721GPR_t$$

I coefficienti dell'indice di siccità (DSCI) e dell'indice del rischio geopolitico (GPR) sono entrambi significativi al livello 0,05, significa che la stima della variazione dei prezzi per una variazione unitaria dell'indice di siccità in quel mese è pari a 0,27%. Invece una variazione unitaria dell'indice geopolitico dell'Ucraina determina un incremento nella stima di variazione percentuale dei contratti futures del grano di Chicago pari al 2.721%. Dal summary del seguente modello si ottengono: il valore dell'R quadro corretto pari a 0.057 ed il valore dello standard error robusto uguale ad 8.14, i quali sono leggermente migliori rispetto al modello autoregressivo a ritardi distribuiti ADL(1,1).

3.2.2 Moltiplicatori dinamici e moltiplicatori cumulati.

Per estrarre ulteriori informazioni dai dati sulla condizione climatica negli Stati Uniti e sulla variazione del prezzo dei contratti futures del grano è possibile stimare gli effetti casuali dinamici e quelli cumulati. I modelli stimati sono 3: il primo stima gli effetti casuali dinamici con un modello a ritardo distribuito dove la variabile dipendente, la variazione percentuale del prezzo medio del grano è regredita sull'indice di siccità e su 6 ritardi; il secondo modello è una trasformazione del modello a ritardi distribuiti che consente di stimare ben 7 moltiplicatori dinamici cumulativi utilizzando OLS; mentre il terzo modello ha 11 variabili dummy in più per correggere una possibile distorsione data dall'indice di siccità e le stagioni. Per stimare tali effetti si utilizza lo stimatore OLS dei coefficienti di una regressione a ritardi distribuiti della variazione percentuale dei prezzi dato che l'indice di gravità della siccità è esogeno. Per verificare la robustezza dei risultati, calcoliamo gli standard error degli HAC per ciascun modello utilizzando Newey-West. Quindi per verificare la sensibilità degli standard error dei diversi modelli, i parametri di troncamento sono pari a 4. Per il modello utilizzato per stimare i moltiplicatori cumulativi, calcoliamo lo stimatore di Newey-West anche per $m = 8$. I modelli stimati sono riportati nella Tabella 6. per avere un'opportuna visualizzazione dei risultati.

Tabella 6. Moltiplicatori dinamici e cumulativi data una variazione dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano

Effetti Dinamici di un incremento dell'indice DSCI sul prezzo del grano				
Variabile dipendente: Variazione percentuale mensile del prezzo del grano				
	Moltiplicatori dinamici (1)	Moltiplicatori Dinamici Cumulativi (2)	Moltiplicatori Dinamici Cumulativi (3)	Moltiplicatori Dinamici Cumulativi (4)
0	0.260*** (0.084)	0.260*** (0.084)	0.260*** (0.074)	0.276*** (0.085)
1	0.228** (0.093)	0.488*** (0.120)	0.488*** (0.113)	0.481*** (0.121)
2	-0.155 (0.105)	0.333** (0.158)	0.333** (0.155)	0.326** (0.156)
3	0.162 (0.130)	0.495*** (0.152)	0.495*** (0.149)	0.501*** (0.151)
4	0.024 (0.093)	0.519*** (0.143)	0.519*** (0.129)	0.494*** (0.145)
5	0.025 (0.094)	0.544*** (0.153)	0.544*** (0.129)	0.549*** (0.152)
6	-0.046 (0.095)	0.498*** (0.168)	0.498*** (0.135)	0.479*** (0.169)
Constant	0.386 (0.426)	0.386 (0.426)	0.386 (0.413)	-1.561 (1.472)
Indicators mensili?	no	no	no	si
Troncamento HAC	4	4	8	4
Observations	257	257	257	257
Adjusted R2	0.035	0.035	0.035	0.024
Residual Std. Error	8.288 (df = 249)	8.288 (df = 249)	8.288 (df = 249)	8.336 (df = 238)
F Statistic	2.330** (df = 7; 249)	2.330** (df = 7; 249)	2.330** (df = 7; 249)	1.347 (df = 18; 238)

Note:

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Tutte le seguenti regressioni sono state stimate con gli OLS utilizzando dati mensili dal gennaio 2001 fino al dicembre 2022, per un totale di T=263 osservazioni mensili. Tra parentesi sono riportati gli standard error HAC che sono calcolati utilizzando il parametro di troncamento mostrato nella figura. I coefficienti riportati sono le stime OLS dei moltiplicatori dinamici. Per avere una lettura dei coefficienti si utilizzano i grafici dei moltiplicatori dinamici. Nella Figura 6. sono rappresentati i moltiplicatori dinamici della prima colonna della Tabella 6. con i loro intervalli di confidenza al 95%. Dopo l'aumento iniziale della variazione del prezzo medio dei contratti futures del grano come stimato in precedenza, due mesi dopo una variazione unitaria dell'indice di siccità la variazione del prezzo medio del grano è negativa, quindi diminuisce. Successivamente dal terzo mese in poi l'effetto dinamico è sempre positivo quindi, determina un leggero aumento dei prezzi del grano di Chicago.

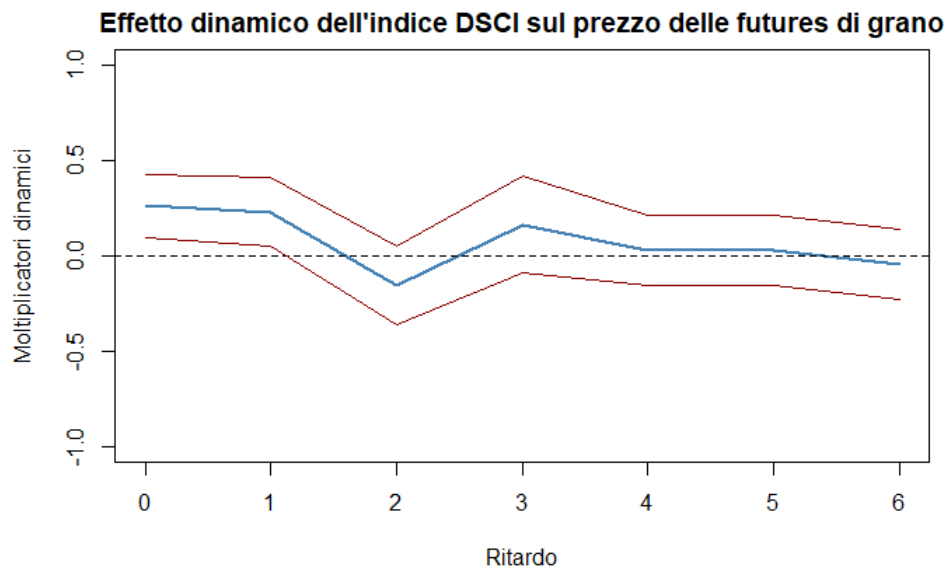


Figura 7. Effetto dinamico di un incremento dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano

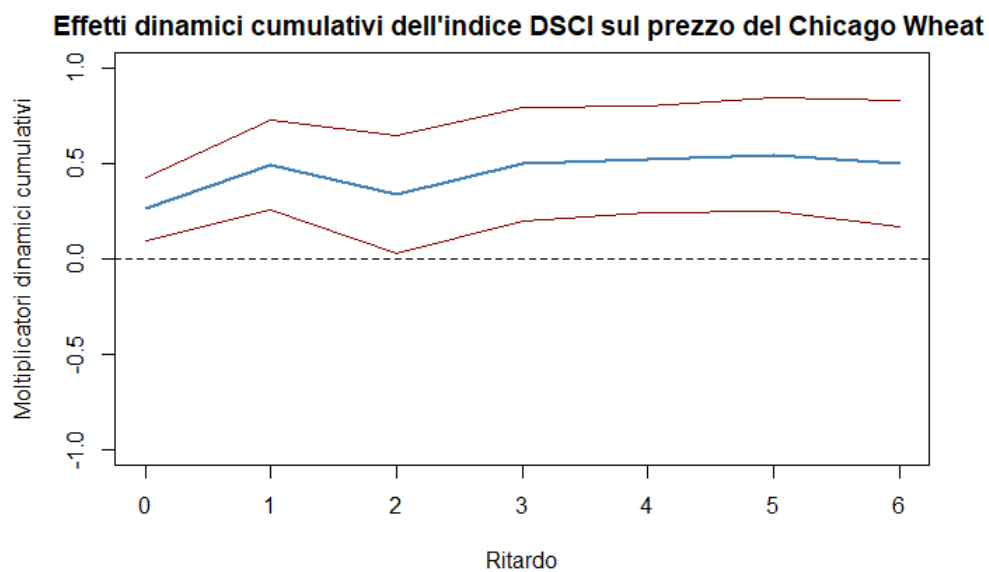


Figura 6 Effetti dinamici cumulati di un incremento dell'indice di siccità sul prezzo medio del grano

Nella Figura 7. sono rappresentati gli effetti dinamici cumulati presenti nella seconda colonna della Tabella 6. Dopo un mese, l'effetto cumulato di una variazione unitaria dell'indice di siccità è un aumento del prezzo medio del grano pari al 0,26%, dopo 2 mesi si stima che il prezzo sia aumentato dello 0,48% e dopo 6 mesi sia aumentato quasi dell'0,50%. Tali moltiplicatori crescono sempre anche se le variazioni dei prezzi sono piccole. Nella Figura 8 sono rappresentati i moltiplicatori dinamici cumulati per diversi

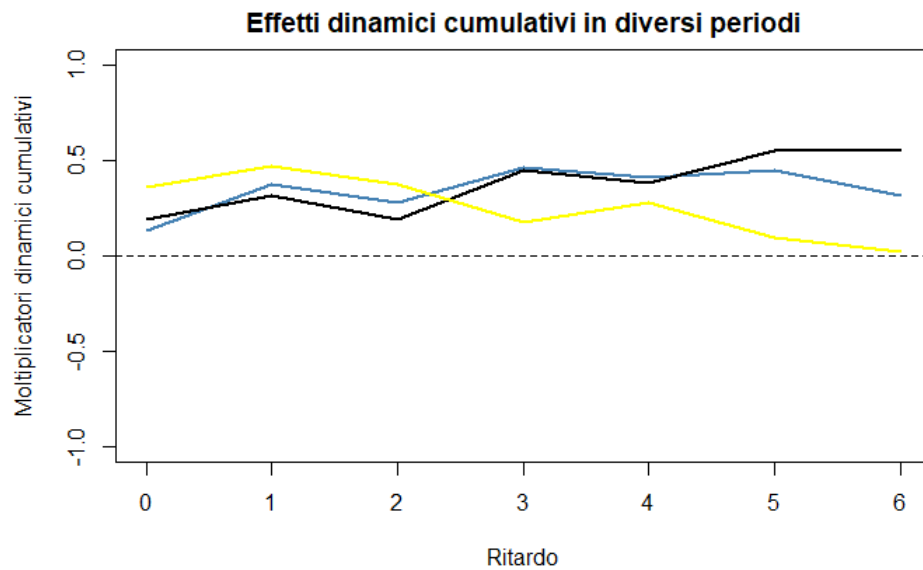


Figura 8. Effetti dinamici cumulati in diversi periodi

periodi. La linea blu rappresenta i moltiplicatori dall'anno 2001 fino al 2007, la nera invece i moltiplicatori dal 2008 al 2015 ed infine la linea gialla rappresenta quelli dal 2016 al 2022. L'effetto dinamico delle ondate di siccità sui prezzi del grano è cambiato significativamente dal 2016. Un incremento unitario dell'indice di siccità ha un impatto maggiore rispetto a quello dei periodi precedenti, ma successivamente decresce lentamente, mentre per gli effetti che vanno dal 2001 al 2015 la variazione dei prezzi del grano si verifica nei mesi successivi.

Conclusioni

Questo studio ha cercato di verificare se il cambiamento climatico e il tragico conflitto tra Russia e Ucraina hanno contribuito alla variazione del prezzo del grano. A tal fine è stata condotta un'analisi quantitativa, stimando modelli autoregressivi a ritardi distribuiti (ADL- distributed lags) per dimostrare l'influenza dei fattori climatico e geopolitico.

Come dati per il prezzo del grano sono stati scelti i prezzi dei contratti futures del grano di Chicago dato che, sono considerati rappresentativi a livello globale; il cambiamento climatico è stato rappresentato con l'indice di copertura sulla gravità della siccità ed invece per rappresentare la guerra tra Russia e Ucraina è stato utilizzato un indice di rischio geopolitico. Per gestire i dati e stimare i modelli autoregressivi a ritardi distribuiti è stato usato il software RStudio.

Dalle stime effettuate, il modello che cattura una maggiore variabilità della variabile dipendente, ovvero la variazione percentuale del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago, è il modello autoregressivo a ritardi distribuiti ADL(1,1). È emerso che un incremento unitario della variazione dell'indice di copertura sulla gravità della siccità determina variazioni del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago. Nello specifico, l'effetto d'impatto è pari allo 0,23%, mentre per i mesi successivi la percentuale di variazione del prezzo del grano dato un incremento della variazione dell'indice di siccità, decresce lentamente. Però gli effetti non sono sempre stati questi, analizzando i moltiplicatori dinamici cumulativi in diversi periodi è emerso che, dal 2001 al 2015 l'effetto dinamico delle ondate di siccità, ha determinato una maggiore variazione percentuale del prezzo del grano nei mesi successivi e non nello stesso mese in cui si verificava. L'aggiunta di variazione dell'indice di rischio geopolitico dell'Ucraina al modello ADL(1,1), ha determinato un miglioramento del modello; infatti, è emerso che un incremento unitario della sua variazione, determina una variazione percentuale pari al 2,71% del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago.

Le variazioni del prezzo del grano sono influenzate dal cambiamento climatico e dalla situazione geopolitica in Ucraina, ma dato che la variabilità della variabile dipendente non è stata catturata completamente da queste due determinanti, esistono anche altri fattori che influenzano i cambiamenti del prezzo dei contratti futures del grano di Chicago.

Bibliografia e Sitografia

- Confagricoltura. (2022, 5 18). *Grano Duro, Prezzi in Rialzo fino all'80% rispetto al 2021; Le prime stime produttive della campagna 2022 in Italia sono in leggero calo*. Tratto da Confagricoltura: <https://www.confagricoltura.it/ita/area-stampa/comunicati/grano-duro-prezzi-in-rialzo-fino-all-80-rispetto-al-2021-le-prime-stime-produttive-della-campagna-2022-in-italia-sono-in-leggero-calo>
- Gilbert C. L., M. C. (2010, Settembre 27). Food Price Volatility. *The royal Society*.
- Hull, J. (2006). Opzioni, futures e altri derivati. In J. Hull, *Opzioni, futures e altri derivati* (p. 21-46). Pearson.
- Iacoviello, M. (2023, 02 20). *Country_Specific Geopolitical Risk Index*. Tratto da Geopolitical Risk (GPR) Index: <https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm>
- International Grains Council. (2022, 12 19). *Grain Market Report*. Tratto da IGC: <https://www.igc.int/en/default.aspx>
- ISMEA. (2022). Dinamiche fondamentali dei cereali e situazione degli scambi commerciali con Ucraina e Russia. *ISMEA*.
- Kukjin Choi, J. Y. (2021). Deep Learning for Anomaly Detection in Time-Series Data: Review, Analysis, and Guidelines. *ISEE journal* , {120043-120065.
- Mottaleb, K. A. (2022). Potential impacts of Ukraine-Russia armed conflict on global wheat food security: A quantitative exploration. *ScienceDirect*.
- Nebraska-Lincoln, U. o. (2023, 02). *Drought Severity and Coverage Index*. Tratto da US Drought Monitor (USDM): <https://droughtmonitor.unl.edu/About/AbouttheData/DSCI.aspx>
- Observatory of Economic Complexity. (2022, 12 19). *Wheat*. Tratto da OEC: <https://oec.world/en/profile/hs/wheat>
- Rai News. (2022, 5 24). *La crisi del grano in Ucraina dalla guerra: un primo carico ha raggiunto la Lituania*. Tratto da Rai News: <https://www.rainews.it/articoli/2022/05/la-crisi-del-grano-bloccato-in-ucraina-dalla-guerra-un-primo-carico-ha-raggiunto-la-lituania-17f5efbc-894f-4f49-824c-c5cf5f9f148f.html#:~:text=L'effetto%20guerra%20sui%20prezzi,sui%20Paesi%20in%20crisi%20alimentare>
- Ricci, E. C. (2019). The Effects of Agricultural Price Instability on Vertical Price Transmission: A Study of the Wheat Chain in Italy. *MDPI*.

Shahbandeh, M. (2022, 1-31). *Grain production worldwide by type 2021/22*. Tratto da Statista: <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>

Stock, J. H. (2022). *Introduzione all'econometria*. Pearson.