

INCREASE OF THE AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEM SENSITIVITY TO CLIMATE OSCILLATIONS OVER THE PAST SIXTY YEARS: A CASE STUDY FROM THE ABRUZZO REGION, CENTRAL ITALY

FLUTTUAZIONI CLIMATICHE E AUMENTO DELLA SENSIBILITÀ DEL SISTEMA PRODUTTIVO AGRICOLO NEGLI ULTIMI SESSANTA ANNI: UN CASE STUDY DALLA REGIONE ABRUZZO

Vincenzo Guerriero ^{1*}, Anna Rita Scorzini ¹, Bruno Di Lena ², Stefano Iulianella ¹, Mario Di Bacco ^{1,3}, Marco Tallini ¹

¹ Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of L'Aquila, 67100 L'Aquila, Italy

² Abruzzo Region, Agriculture Directorate, Regional Agro-Meteorological Centre, Scerni, 66020 Chieti, Italy;

³ Department of Civil and Environmental Engineering, University of Florence, 50139 Florence, Italy

* Corresponding author: vincenzo.guerriero@univaq.it

Abstract

This study illustrates a detailed statistical analysis involving climatic conditions and crop yields over the time range 1952–2014, at a provincial scale in the Abruzzo Region, for wheat, olive, and grape:

- In the studied provinces, climate is moving from temperate towards temperate-arid, with an increase in drought intensity and persistence, starting from the 1980s;
- Statistics point out a rise in correlation between crop yields and climatic drought indices fluctuations, over the studied time range. Although the agricultural system shows a progressive yield growth, such increase should be interpreted as a sign of its rising sensitivity to climate stresses.

Crop production oscillations rise relevant sustainability issues, as (i) these highlight an inability of the productive system to maintain high performance even in unfavorable climatic conditions, (ii) yield fluctuations always represent a potential disturbing element of related market equilibria.

Parole chiave

cambiamento climatico; resa agricola; trend climatico; agricoltura sostenibile; analisi di correlazione

Keywords

climate change; crop yield; climatic trend; sustainability; correlation analysis

Introduzione

Il cambiamento climatico solleva importanti questioni sulla sostenibilità, poiché esso presenta potenziali impatti economici e sociali di ampia portata, legati a fluttuazioni di rese agricole, volatilità di prezzi e costi di produzione di risorse alimentari anche essenziali, con conseguente impatto sulla loro disponibilità per la popolazione. In tale contesto, lo studio del clima locale assume una particolare importanza per una gestione ottimale del settore produttivo agricolo.

La regione mediterranea, inclusa l'Italia, si pone come un'area particolarmente suscettibile ai cambiamenti climatici attuali e futuri a causa della sua posizione di transizione tra il clima tropicale e quello temperato, insieme alla sua complessa orografia (e.g., Giorgi et al., 2008; Michaelides et al., 2018; Tuel & Eltahir 2020). In Italia centrale diversi studi hanno individuato trend climatici associati a aumenti significativi delle temperature medie e di quelle estreme (Scorzini & Leopardi, 2018; Aruffo & Di Carlo, 2019; Caporali et al., 2021; Curci et al., 2021). Tra i diversi indici usati come descrittori della condizione climatica (e.g., Plamer, 1965; McKee et al., 1993; Narasimhan & Srinivasan, 2005; Vicente-Serrano et al., 2010), lo Standardized Precipitation Index (SPI) e lo Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), sono tra quelli più frequentemente utilizzati (e.g., WMO 2016) e vari

studi hanno recentemente analizzato le possibili correlazioni di tali indici con anomalie nella resa delle colture in diverse regioni del mondo (e.g., Gunst et al., 2015; Potopova et al., 2016; Peña-Gallardo et al., 2018, 2019; Bezdán et al., 2019, Di Lena et al., 2018, 2022, e altri ancora). Nel presente studio conduciamo un'analisi di correlazione tra variabili climatiche e rese agricole a scala provinciale, con l'obiettivo di identificare le potenziali cause di variazioni nelle rese, attribuibili a variazioni climatiche (Guerriero et al., 2023). Ciò potrebbe fornire un quadro di conoscenze utile ai fini della pianificazione di adeguate misure di gestione del settore produttivo agricolo.

Materiali e Metodi

L'analisi climatica qui illustrata è basata su serie temporali di dati tremo-pluviometrici mensili, forniti da Servizi Idrografici, registrati in 37 stazioni di rilevamento opportunamente selezionate e uniformemente distribuite sul territorio regionale, nel periodo che va dal 1952 al 2014.

I dati di produzione agricola utilizzati sono forniti dall'ISTAT e consistono di serie temporali, nel medesimo periodo, di valori annuali di superficie agricola impegnata e produzione totale, per le coltivazioni considerate. L'analisi climatica è stata condotta considerando separatamente la

serie trentennale nel periodo 1952-1982 e quella nel periodo 1983-2014. Per ogni trentennio, sono state condotte:

- Analisi del trend per temperature e precipitazioni giornaliere, tramite test non parametrico di Mann-Kendall,
- Classificazione climatica tramite climogrammi di Péguy,
- Calcolo degli indici SPI e SPEI a uno, tre e sei mesi, per diversi periodi dell'anno.

Analogamente al dato climatico, anche quello di resa agricola è stato trattato considerando separatamente i trend, nei due trentenni sopra menzionati. Le variazioni nel tempo delle rese delle colture dipendono da diversi fattori oltre al clima, come ad esempio nuove pratiche di gestione, nuove metodologie, meccanizzazione, etc. Questi hanno permesso un notevole incremento delle rese negli ultimi decenni. Al fine di rimuovere l'effetto di tali fattori non climatici e quindi isolare la variazione risultante dal clima, per le rese, sono stati calcolati i valori detrendizzati e standardizzati (e.g., Potopova et al. 2016). La detrendizzazione consiste nel considerare, per ogni valore annuale di resa, lo scarto (o residuo) rispetto al valore associato a una retta di regressione lineare (i.e., trend), definita nel proprio trentennio (1952-1982 o 1983-2014). Da tali residui si ottiene la Standardized

Yield Residual Series (SYRS) tramite la seguente variabile standardizzata:

$$SYRS = (r - m) / s,$$

dove r indica il residuo, m la media dei residui e s la loro deviazione standard. Si noti che l'uso della variabile standardizzata non implica l'assunzione di una particolare distribuzione probabilistica (e.g., Normale), ma rappresenta solo un metodo conveniente di adimensionalizzazione dei dati. Al fine di individuare le variazioni nel tempo della correlazione tra produzione agricola e indici climatici, è stata analizzata la correlazione statistica tra gli indici SPI e SPEI, calcolati su diversi mesi dell'anno, con le oscillazioni della resa agricola SYRS. La Fig. 1 illustra un esempio di analisi di correlazione con lo SPEI a un mese (SPEI1) di dicembre. Si evidenzia che l'obiettivo primario di questa analisi era quello di rilevare variazioni nei coefficienti di correlazione tra i due trentenni esaminati, piuttosto che valutarne esclusivamente l'entità. Pertanto, i valori di correlazione sono stati calcolati su diverse finestre temporali, ognuna con trent'anni di ampiezza, nel sessantennio considerato. Tali variazioni possono essere, quindi, interpretate come una misura della sensibilità del sistema produttivo agricolo agli stress climatici (Guerriero et al., 2023).

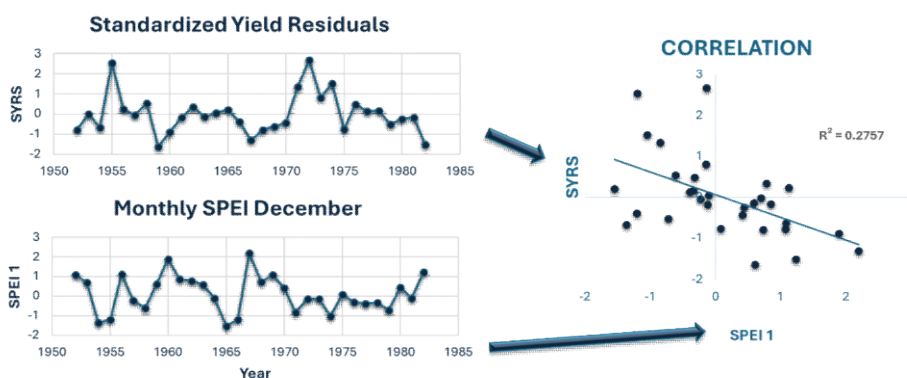


Fig.1 – Esempio di analisi di correlazione tra SYRS e SPEI a un mese (SPEI1) di dicembre, per il caso del grano coltivato in provincia di Teramo, nel primo trentennio (1952-1982).

Fig.1 – Example of correlation analysis between SYRS and SPEI one month (SPEI1), for wheat grown in Teramo province, in the time range 1952-1982.

Risultati e Discussione

L'analisi climatica ha evidenziato che nella regione esaminata le temperature massime e minime giornaliere mostrano, nel secondo trentennio, un trend in aumento lento ma statisticamente significativo (significance > 10%, secondo il test di Mann-Kendall). Inoltre, il tipo di clima mostra un progressivo shift da temperato verso temperato-arido. La Fig. 2 illustra un esempio di trend di temperature giornaliere e di classificazione climatica secondo Péguy, e relativo shift, per la provincia dell'Aquila.

L'analisi di correlazione tra fluttuazioni di resa agricola e di indici climatici ha evidenziato un progressivo incremento del coefficiente di Pearson (in valore assoluto) nel tempo. La Fig. 3 illustra i risultati dello studio relativi al grano, coltivato

nella provincia di Pescara, e all'uva, in provincia di Chieti. In entrambi i casi, la correlazione è stata calcolata su cinque finestre temporali successive, con ampiezza di 30 anni. Le celle di colore chiaro (rosse o blu) denotano una correlazione probabilmente esistente, mentre quelle in rosso o blu scuro, una correlazione forte ed estremamente probabile. Si noti che la correlazione positiva o negativa non va confusa come indicativa di un impatto favorevole o meno del clima; una correlazione positiva (celle blu) sta ad indicare che la siccità è fattore limitante per la resa, mentre per le celle rosse, lo è un clima eccessivamente umido.

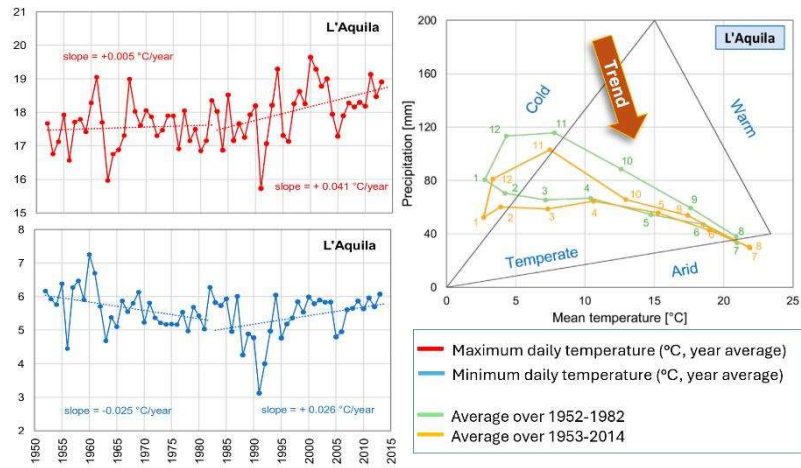


Fig.2 – Serie temporali delle temperature massime e minime giornaliere e classificazione climatica secondo Péguy, nei due trentenni considerati, per la provincia dell’Aquila. Le linee tratteggiate indicano i trend per ogni trentennio (da Guerriero et al., 2023, modificato).

Fig.2 – Time series of maximum and minimum daily temperatures and Péguy climate classification, in the two time ranges 1952-1982 and 1983-2014, for L’Aquila province. Dotted lines denote trendlines over thirty-year time ranges (from Guerriero et al., 2023, modified).

Va ricordato che lo scopo principale di questo studio è l'identificazione di variazioni sistematiche, nel tempo, della correlazione tra oscillazioni di produzione agricola e di indici climatici. In altre parole, non siamo interessati a individuare una correlazione positiva o negativa significativa per un indice specifico, ma piuttosto, a verificare se vi sia una variazione sistematica di valori di correlazione

statisticamente significativi, tra due distinti periodi di riferimento (e.g., tra il trentennio 1952-1982 e quello 1959-1989, e così via. Fig. 3). In termini pratici, ciò è evidenziato dal fatto che in Figg. 3a e 3b compaiono più celle colorate (in rosso o blu), e/o più celle in rosso e blu scuro, in una finestra temporale rispetto a quelle che la precedono.

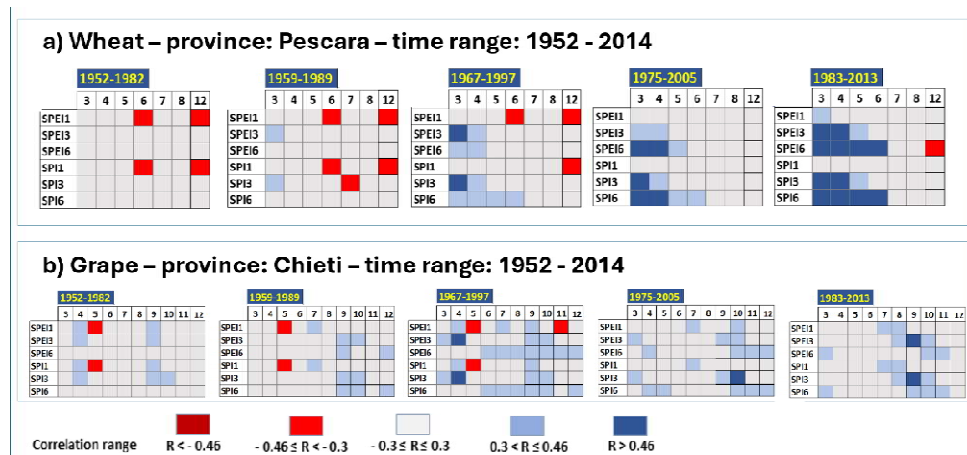


Fig.3 – Correlazione tra oscillazioni in resa agricola (SYRS) e indici SPI e SPEI, per grano (a) e uva (b), per le quattro province studiate e per cinque trentenni successivi. I valori (assoluti) di soglia di correlazione di 0,3 e 0,46 sono associati a una significatività statistica del 10% e dell'1%, rispettivamente. Un aumento del numero di celle colorate, e soprattutto di quelle rosso o blu scuro, denota una crescente correlazione tra oscillazioni in resa e quelle climatiche.

Fig.3 – Identified correlation coefficients between detrended crop yield (SYRS) and relevant SPI and SPEI indices for (a) wheat and (b) grape for the four studied provinces and for five sequential time ranges. The correlation thresholds (absolute) values of 0.3 and 0.46 are associated to statistical significance of 10% and 1%, respectively. An increase in the number of colored cells, and mainly of dark red or blu ones, denotes a growing correlation between crop and climatic oscillations.

Tale variazione sistematica dovrebbe essere interpretata come un'indicazione della resilienza del sistema di produzione agricola alle fluttuazioni climatiche (in questo caso, una maggiore sensibilità al clima). È utile sottolineare che, sebbene il sistema di produzione agricola considerato mostri una progressiva consistente crescita delle rese nel tempo, un aumento della frequenza e/o ampiezza delle oscillazioni di resa evidenzia, da un lato, un'incapacità del sistema stesso a mantenere alte prestazioni anche in condizioni climatiche sfavorevoli. Dall'altro lato, le fluttuazioni di resa agricola (anche quelle positive) rappresentano sempre un potenziale elemento di disturbo dei complicati equilibri di mercato esistenti tra i vari soggetti economici coinvolti, quali produttori agricoli, distributori a varie scale di dettaglio, investitori e speculatori, consumatori finali.

L'incremento sistematico di correlazione osservato merita sicuramente attenzione, poiché esso potrebbe sollevare importanti questioni di sostenibilità. Oscillazioni rilevanti di produzione agricola potrebbero causare temporanei aumenti dei prezzi al consumatore, compromettendo l'accesso da parte della popolazione a beni alimentari anche essenziali. Altri effetti indesiderati potrebbero essere, a titolo d'esempio, un incremento dei costi di produzione non compensato da variazione di prezzi finali, che metterebbe in sofferenza il settore produttivo, oppure fluttuazioni incontrollate delle quotazioni di prodotti agroalimentari sui mercati locali e/o internazionali.

Conclusioni

Questa nota illustra i risultati di un'analisi statistica che coinvolge variabili climatiche e le rese agricole di grano, oliva e uva, nell'intervallo temporale 1952–2014 e su scala provinciale, nella Regione Abruzzo, come segue:

- Nelle province studiate, il clima sta passando da temperato a temperato-arido, con un aumento dell'intensità e della persistenza della siccità, a partire dagli anni '80;
- Le statistiche evidenziano un aumento della correlazione tra fluttuazioni nelle rese agricole e degli indici climatici, nell'intervallo di tempo studiato.

Sebbene il sistema produttivo agricolo mostri rese progressivamente crescenti, tale aumento di correlazione dovrebbe essere interpretato come un segno della sua crescente sensibilità agli stress climatici. Le conseguenti oscillazioni della produzione agricola pongono rilevanti questioni di sostenibilità, poiché (i) evidenziano l'incapacità del sistema produttivo di mantenere elevate prestazioni anche in condizioni climatiche sfavorevoli, (ii) le fluttuazioni di resa rappresentano sempre un potenziale elemento di disturbo dei relativi equilibri di mercato.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto "SICURA—CASA INTELLIGENTE DELLE

TECNOLOGIE PER LA SICUREZZA", finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) — Grant Id: C19C20000520004

Bibliografia

- Aruffo, E.; Di Carlo, P. (2019). Homogenization of instrumental time series of air temperature in Central Italy (1930-2015). *Clim. Res.* 77, 193–204. <https://doi.org/10.3354/cr01552>.
- Bezdan, J.; Bezdan, A.; Blagojević, B.; Mesaroš, M.; Pejić, B.; Vranešević, M.; Pavić, D.; Nikolić-Đorić, E. (2019). SPEI-Based Approach to Agricultural Drought Monitoring in Vojvodina Region. *Water*, 11, 1481. <https://doi.org/10.3390/w11071481>.
- Caporali, E.; Lompi, M.; Pacetti, T.; Chiarello, V.; Faticchi, S. (2021). A review of studies on observed precipitation trends in Italy. *Int. J. Climatol.* 41, E1–E25. <https://doi.org/10.1002/joc.6741>.
- Curci, G.; Guijarro, J.A.; Di Antonio, L.; Di Bacco, M.; Di Lena, B.; Scorzini, A.R. (2021). Building a local climate reference dataset: Application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019. *Int. J. Clim.*, 41, 4414–4436. <https://doi.org/10.1002/joc.7081>.
- Di Lena, B.; Farinelli, D.; Palliotti, A.; Poni, S.; DeJong, T.M.; Tombesi, S. (2018). Impact of climate change on the possible expansion of almond cultivation area pole-ward: A case study of Abruzzo, Italy. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 93,209–215. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1357433>.
- Di Lena, B.; Curci, G.; Vergni, L.; Farinelli, D. (2022). Climatic Suitability of Different Areas in Abruzzo, Central Italy, for the Cultivation of Hazelnut. *Horticulturae*, 8, 580. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070580>.
- Fioravanti, G.; Piervitali, E.; Desiato, F. (2019). A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy. *Int. J. Clim.*, 39, 5635–5654. <https://doi.org/10.1002/joc.6177>.
- Giorgi, F.; Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Glob. Planet. Change*, 63, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>.
- Guerriero, V.; Scorzini, A.R.; Di Lena, B.; Iulianella, S.; Di Bacco, M.; Tallini, M. (2023). Impact of Climate Change on Crop Yields: Insights from the Abruzzo Region, Central Italy. *Sustainability*, 15, 19, 14235. <https://doi.org/10.3390/su151914235>.
- Gunst, L.; Rego, F.M.C.C.; Dias, S.M.A.; Bifulco, C.; Stage, J.H.; Rocha, M.S.; Van Lanen, H.A.J. (2015). Links between Meteorological Drought Indices and Yields (1979–2009) of the Main European Crops; Technical Report No. 36; DROUGHT-R&SPI Project: Wageningen, The Netherlands
- McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, USA, 17–22; Volume 17, No. 22, pp. 179–183.

- Michaelides, S.; Karacostas, T.; Sánchez, J.L.; Retalis, A.; Pytharoulis, I.; Homar, V.; Romero, R.; Zanis, P.; Giannakopoulos, C.; Bühl, J.; et al. (2018). Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean. *Atmospheric Res.*, 208, 4–44. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.022>.
- Narasimhan, B.; Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agric. For. Meteorol.*, 133, 69–88. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.012>.
- Palmer, W.C. *Meteorological Drought*; US Department of Commerce, Weather Bureau: Washington, DC, USA, 1965; Volume 30.
- Peña-Gallardo, M.; Vicente-Serrano, S.M.; Domínguez-Castro, F.; Beguería, S. (2019). The impact of drought on the productivity of two rainfed crops in Spain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 1215–1234. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1215-2019>.
- Peña-Gallardo, M.; Vicente-Serrano, S.M.; Domínguez-Castro, F.; Quiring, S.; Svoboda, M.; Beguería, S.; Hannaford, J. (2018). Effectiveness of drought indices in identifying impacts on major crops across the USA. *Clim. Res.* 2018, 75, 221–240. <https://doi.org/10.3354/cr01519>. *Agric. For. Meteorol.*, 249, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.024>.
- Potopová, V.; Boroneanț, C.; Boincean, B.; Soukup, J. (2016). Impact of agricultural drought on main crop yields in the Republic of Moldova. *Int. J. Clim.*, 36, 2063–2082. <https://doi.org/10.1002/joc.4481>.
- Scorzini, A.R.; Leopardi, M. (2018). Precipitation and temperature trends over central Italy (Abruzzo Region): 1951–2012. *Theor. Appl. Clim.*, 135, 959–977. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2427-3>.
- Tuel, A.; Eltahir, E.A. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot? *J. Clim.*, 33, 5829–5843.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Clim.*, 23, 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>.
- World Meteorological Organization (WMO); Global Water Partnership (GWP). *Handbook of Drought Indicators and Indices*; Svoboda, M., Fuchs, B.A., Eds.; Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2; World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP): Geneva, Switzerland, 2016. ISBN 978-92-63-11173-9.