

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E
AMBIENTE

TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Impatto della siccità sulle rese di frumento,
mais e riso in Pianura Padana

Relatore

Prof. Francesco Pagliacci

Laureando

Francesco Allari

Matricola n.

2096542

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

Indice

Riassunto	I
Abstract	III
1 Introduzione	1
2 Background teorico	3
2.1 Ciclo idrologico	3
2.2 Cambiamento climatico	5
2.3 Esposizione	13
2.4 Pericolo	14
2.5 Vulnerabilità	14
2.6 Rischio	15
2.7 Alcuni casi studio	15
3 Materiali e metodi	19
3.1 Area di studio	19
3.2 Il clima	21
3.3 Le colture	21
3.3.1 Frumento tenero	21
3.3.2 Mais	22
3.3.3 Riso	23
3.4 Dati	24
3.4.1 Dati pluviometrici	24
3.4.2 Dati agronomici	25
3.4.3 Metodi	26
3.4.4 Indicatori e mappe di rischio	27
4 Risultati	30
4.1 SAU e rese	30
4.1.1 Frumento tenero	30
4.1.2 Mais	32
4.1.3 Riso	35

4.2 Correlazioni	39
4.3 Pericolo, esposizione e vulnerabilità: mais	43
4.4 Pericolo ed esposizione: frumento	48
4.5 Focus siccità e rese: 2022 anno record	50
5 Conclusioni	55
6 Bibliografia	59
7 Sitografia	62

Riassunto

Il cambiamento climatico, ed in particolare la modificata distribuzione delle precipitazioni, ha effetti evidenti sul settore agricolo. Anche se le precipitazioni cumulate a livello annuale possono non mostrare elevate variazioni di tendenza, è importante analizzare nel dettaglio la loro distribuzione a livello mensile, specialmente in relazione alle fasi fenologiche delle colture. Si è così scelto di ricercare ed analizzare eventuali relazioni tra le precipitazioni e le rese di frumento tenero, mais e riso in 34 province della Pianura Padana. Inoltre, con i dati a disposizione, è stato possibile realizzare mappe indicanti il pericolo, l'esposizione, la vulnerabilità e la combinazione di questi fattori in ogni provincia rispetto alla coltivazione delle tre colture oggetto dello studio, relativamente all'areale della Pianura Padana (Nord Italia). I dati sono stati ricavati dai siti regionali dell'ARPA e dalla banca dati dell'ISTAT a partire dall'annata 2009-2010. Dallo studio è emerso che il frumento tenero sembra avvantaggiarsi rispetto a un calo delle precipitazioni. Al contrario il mais ha mostrato significative correlazioni positive tra resa e precipitazioni. Inoltre, in poco più di 10 anni la SAU coltivata a mais si è quasi dimezzata. Infine il riso non ha dato evidenza di correlazioni tra la resa e le precipitazioni. Le tre colture cerealicole più caratteristiche della Pianura Padana hanno quindi mostrato sensibilità molto diverse rispetto alla loro relazione con le precipitazioni.

Abstract

Climate change, and in particular the new patterns of rainfall, has clear effects on the agricultural sector. Even if the cumulative precipitation at the annual level may not show high trend variations, it is important to analyze in detail their distribution at monthly level, in particular in relation to the phenological phases of the crops. It was therefore decided to research and analyze possible relationships between rainfall and the yields of common wheat, corn and rice in 34 provinces of the Po Valley. Furthermore, with the data available, it was possible to create maps indicating the danger, exposure, vulnerability and a combination of these factors in each province with respect to the cultivation of the three crops covered by the study, in relation to the area of the Po Valley (Northern Italy). Data were obtained from the regional ARPA sites and the ISTAT database starting from the 2009-2010 year. The study showed that common wheat seems to benefit from a decrease in rainfall. On the contrary, maize has shown significant positive correlations between yield and rainfall. Moreover, in just over 10 years the UAA cultivated with maize has halved. Finally, rice did not show any correlation between yield and rainfall. The three most characteristic cereal crops of the Po Valley therefore showed very different sensitivities with respect to their relationship with precipitation.

1 INTRODUZIONE

Il mondo agricolo è legato in modo imprescindibile all'ambiente. Quando le condizioni ambientali variano l'effetto sull'agricoltura è diretto. L'agricoltura e le foreste sono infatti elementi particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici agendo sia da emettitori che da assorbitori di gas serra (Sannino, Sonnino, 2023). L'agricoltura è responsabile del 21% delle emissioni totali di gas serra ma ogni pianta coltivata assume CO₂ dall'aria e attraverso processi biochimici la converte in sostanze nutritive per i microrganismi del terreno (Sannino, Sonnino, 2023). Questi microrganismi convertono il carbonio in forme più stabili rendendo il sistema suolo un enorme serbatoio (*carbon sink*) in grado di sequestrare la CO₂ e ridurre la quantità che viene immessa nell'atmosfera (Sannino, Sonnino, 2023). Mediante questi processi naturali il suolo agricolo e forestale è capace di rimuovere circa 2,6 Gt di CO₂ equivalenti per anno, pari ad almeno a un terzo delle emissioni prodotte da combustibili fossili e industria (Sannino, Sonnino, 2023).

L'Italia è spesso definita un *hotspot* per i cambiamenti climatici a causa della sua posizione centrale nel bacino del Mediterraneo. Il nord Italia, nel 2023, è risultato essere nuovamente la zona più colpita da eventi estremi, tra cui anche la siccità (Legambiente, 2023). Gli eventi estremi vengono definiti dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) come eventi che si verificano raramente rispetto alla media del luogo, superano determinate soglie di durata, intensità o frequenza e causano impatti significativi sulle persone, sugli ecosistemi e sulle attività economiche. Nel nostro Paese una delle zone più estese ed importanti per la produzione agricola è proprio la Pianura Padana situata proprio nel Nord Italia. Gli eventi estremi che negli ultimi anni si sono verificati con maggiore frequenza in questa zona sono i lunghi periodi siccitosi o gli eventi alluvionali (ISPRA, 2023), in ogni caso entrambi gli eventi sono legati alle precipitazioni e alla loro distribuzione ed intensità. Le colture maggiormente diffuse nella Pianura Padana sono quelle cerealicole, in particolare frumento tenero, mais e riso; la stessa Pianura Padana è anche l'areale maggiormente produttivo a livello nazionale (ISTAT, 2024).

Questo lavoro si prefigge di individuare ed evidenziare possibili relazioni tra l'andamento delle precipitazioni e la resa di frumento tenero, mais e riso; analizzando anche eventuali impatti sulla SAU di queste tre colture. I dati ottenuti sono stati raccolti e rielaborati su

base provinciale permettendo così la creazione di indici di rischio in base all'esposizione, alla vulnerabilità e al pericolo a cui sono sottoposte le province oggetto dello studio. Nell'area osservata i dati sono molto variabili, sia tra le colture che all'interno delle colture stesse. L'attesa è quella di individuare relazioni positive tra la resa del mais e le precipitazioni, mentre per le altre due colture l'andamento è più incerto.

Il resto della tesi è organizzato nel seguente modo. Il capitolo 2 presenta un'analisi della principale letteratura sul tema dei cambiamenti climatici, del loro impatto sulle attività umane (in particolare l'agricoltura) e del rischio ad essi connesso. Il capitolo 3 discute dati e metodi mediante cui è stato condotto lo studio fornendo gli elementi per la valutazione dei risultati. Il capitolo 4 illustra i risultati, portato alla luce le evidenze emerse dallo studio e dalla rielaborazione dei dati. Il capitolo 5 trae le conclusioni, riassumendo quanto visto e dando elementi di spunto e riflessione in ottica di adattamento alle mutevoli condizioni climatiche. Infine i capitoli 6 e 7 sono dedicati alla bibliografia ed alla sitografia.

2 BACKGROUND TEORICO

2.1 CICLO IDROLOGICO

La pioggia ha origine dalla condensazione del vapor acqueo contenuto nell'atmosfera terrestre intorno a nuclei di condensazione costituiti da granuli di pulviscolo, da ioni o da particelle di sostanze igroscopiche (Treccani). Perché i verifichi l'effettiva precipitazione le goccioline devono aumentare di volume, e quindi di peso, in modo che la gravità vinca le forze ascensionali presenti nella nube. La condensazione non è sufficiente a formare goccioline abbastanza grandi, sono necessari anche il meccanismo di Bergeron e il meccanismo di coalescenza. Quando le temperature, nei bassi strati dell'atmosfera, sono inferiori a 2 °C le precipitazioni assumono carattere di neve (ARPA). La tabella 1 mostra le caratteristiche delle diverse tipologie di precipitazione.

Precipitazioni	Quantità delle precipitazioni in mm/h	Diametro massimo delle velocità di caduta delle gocce in mm	Velocità di caduta delle gocce al suolo in m/s	Umidità assoluta atmosferica, acqua in g/m ³ di aria
Nebbia secca	<i>Tracce</i>	0,01	0,003	–
Nebbia umida	0,05	0,1	0,25	50
PiovigGINE	0,25	0,2	0,75	100
Pioggia leggera	1	0,5	2	150
Pioggia moderata	4	1	4	300
Pioggia forte	15	1,5	5	800
Pioggia violenta (acquazzone)	40	2	6	1800
Nubifragio	100	3	8	5400

Tabella 1, caratteristiche delle precipitazioni (Treccani).

La figura 1 mostra il ciclo dell'acqua. Quest'ultima, una volta giunta nel terreno, si infiltra diventando acqua freatica. In questa fase avvengono lenti movimenti da punti di altezza e pressioni elevate verso zone in cui l'altezza e la pressione sono inferiori. Viene così immagazzinata nelle falde o termina in corpi d'acqua di maggiori dimensioni come fiumi, laghi o mari. L'acqua che per vari motivi, come raggiungimento della capacità di campo, ristagni o eccessivo compattamento del terreno, non riesce ad infiltrarsi prende il nome di acqua di scorrimento e termina direttamente in corpi d'acqua superficiali (Barbiero,

Lo Valvo, 2013). Quando la precipitazione è di carattere nevoso questa perdura al suolo maggiormente sottoforma di neve o ghiaccio. Solo a seguito della fusione l'acqua torna allo stato liquido e segue le vie sopraccitate.

Un ulteriore processo che immette acqua in atmosfera è l'evapotraspirazione. Questa consiste in due processi simultanei, evaporazione e traspirazione, per i quali si ha una perdita di acqua verso l'atmosfera rispettivamente per evaporazione dal suolo e traspirazione dalla pianta attraverso degli stomi (Pitacco et al., 2022). Soprattutto nel contesto agricolo la fase di evaporazione dal terreno prevale quando in campo la coltura è assente o ancora poco sviluppata, mentre la traspirazione diventa la componente maggioritaria quando la coltura ha superato la fase di accrescimento.

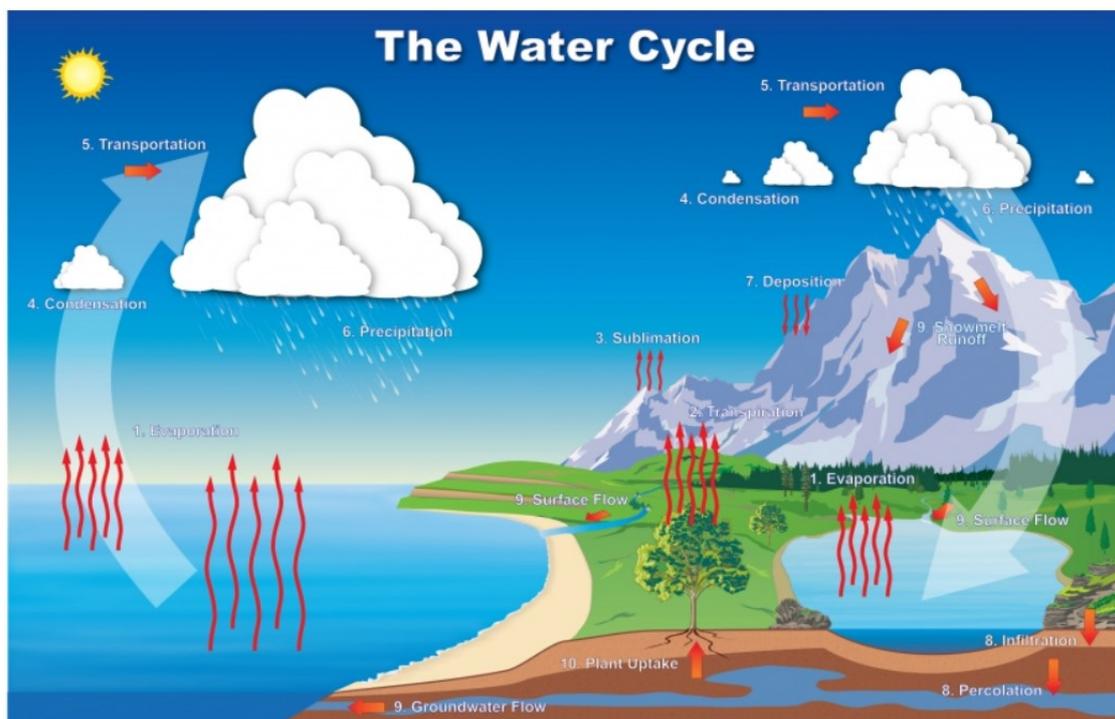


Figura 1, ciclo dell'acqua (NOAA, 2015).

Il report dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM, 2022) attribuisce al ciclo dell'acqua, alterato dai cambiamenti climatici, la responsabilità di numerosi disastri come alluvioni o eventi siccitosi, che hanno causato vittime e danni ingenti. In particolare, sembra proprio che l'aumento delle temperature possa accelerare, o in alcuni casi interrompere, il ciclo dell'acqua. Un'atmosfera più calda trattiene più umidità. Stiamo assistendo a episodi di precipitazioni molto più intense e di inondazioni. E

all'estremo opposto, vi sono una maggiore evaporazione, terreni secchi e siccità più intensa (OMM, 2022). Proprio per queste ragioni, è centrale comprendere al meglio gli effetti prodotti dal cambiamento climatico sul ciclo dell'acqua.

2.2 CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il cambiamento climatico è un fenomeno che nel corso di milioni di anni si è sempre ripetuto sulla terra. Ci sono una serie di fattori che concorrono al cambiamento del clima. Per quanto riguarda i cambiamenti lenti e sul lungo periodo il principale fattore è il ciclo del carbonio inorganico (Walzer, Hendel, 2023), ma quello che stiamo vivendo oggi è un cambiamento molto più rapido e diverso dal passato (ICCP, 2019). Sebbene non tutti gli scienziati siano concordi, la maggior parte di essi indica, tra le maggiori cause, l'elevata emissione in atmosfera di CO₂ e di ossidi di azoto. La temperatura a livello globale, sulla terra ferma, nel periodo 2006 – 2015 è stata di 1.53 °C superiore alla media calcolata a partire dal 1850; mentre nel periodo 1850 – 1900 solamente 0.66 °C oltre la media a partire dal 1850 (ICCP, 2019). Anche le temperature medie sopra gli oceani sono aumentate seppur in modo meno sensibile rispetto a quanto avvenuto sulla terra ferma. In generale l'ICCP ha individuato nel periodo 2011 – 2020 un aumento di 1.1 °C a livello medio globale rispetto ai dati del periodo 1850 – 1900. Tutto ciò è sintomo di quanto il cambiamento del clima sia oggi più rapido rispetto al passato, infatti un aumento di tale portata è senza precedenti negli ultimi 2000 anni. La figura 2 mostra graficamente come il periodo che stiamo vivendo veda un costante e regolare aumento delle temperature imputabile all'attività antropica.

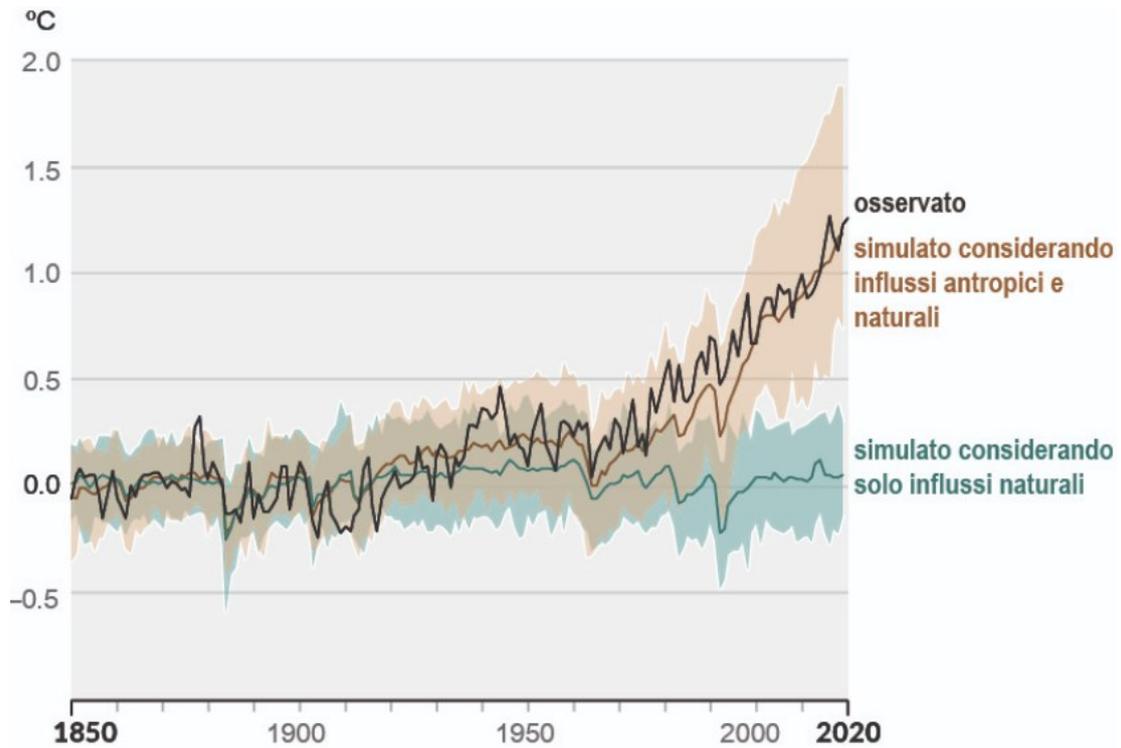


Figura 2, andamento delle temperature osservate, simulate considerando l'attività umana e simulate in assenza di fattori antropici (IPCC, 2021).

Come detto, la maggior parte della comunità scientifica è concorde nell'imputare l'aumento delle temperature alle maggiori emissioni di gas serra. Dalla figura 3 è possibile notare come la componente di emissioni fossili, in passato quasi inesistente, oggi sia la parte predominante di tutte le emissioni di CO₂. L'IPCC stima che tali concentrazioni di CO₂ siano le più alte degli ultimi 2 milioni di anni, mentre le concentrazioni di CH₄ e NO₂ siano le più alte degli ultimi 800.000 anni. Nel dettaglio, l'aumento di CO₂ dal 1750 ad oggi è del 47% e di CH₄ del 156%. Variazioni di tale entità, avvenute nell'arco di quasi 300 anni, erano state notate solo nell'arco di 800.000 anni.

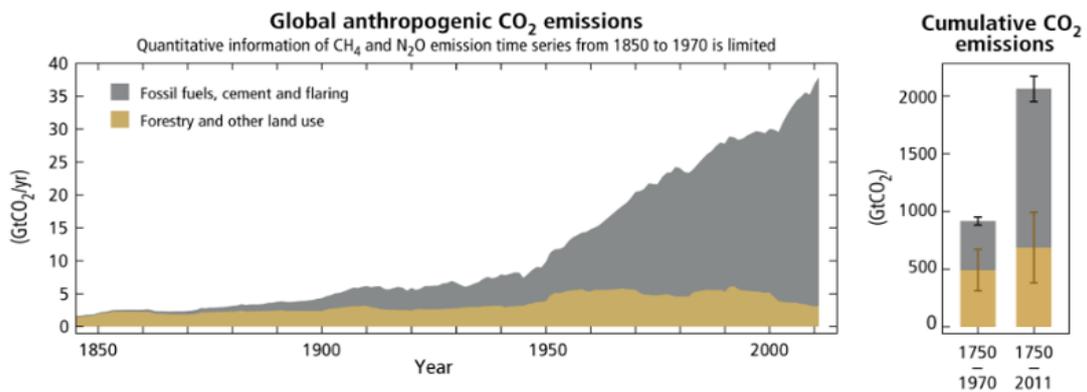


Figura 3, emissioni di gas serra divisi per origine (ICCP 2021).

L'aumento delle temperature medie causa effetti ben visibili sull'estensione dei ghiacciai globali, in particolar modo quelli alpini risultano in maggiore difficoltà. Cook *et al.* (2023) stimano che, se le temperature seguiranno la tendenza degli ultimi 20 anni, entro il 2050 i ghiacciai alpini perderanno il 46% del loro attuale volume. Se venissero considerati solo gli ultimi 10 anni la perdita sarebbe invece del 65% del volume. Tutto ciò va inserito in un quadro che vede già i ghiacciai delle Alpi ridottisi, in alcuni casi, anche del 90% rispetto a inizio '900, mentre altri sono del tutto scomparsi (ISPRA, 2022). Per quanto riguarda i ghiacci polari la NASA, attraverso l'analisi di immagini satellitari, ha stimato la perdita di 300 miliardi di tonnellate di ghiaccio al polo nord e 130 miliardi di tonnellate al polo sud. Il disgelo maggiore si è verificato nella calotta artica, che negli ultimi 10 anni si è ridotta del 21%. Questi dati sono stati confermati anche da uno studio condotto da Salter *et al.* (2021) pubblicato sulla rivista *Nature*. L'ICCP stima che lo scioglimento dei ghiacci dagli anni '50 ad oggi sia il più rapido mai osservato negli ultimi 2000 anni. Ciò ha causato l'aumento del livello di mari e oceani che non è mai stato così rapido negli ultimi 3000 anni. La figura 4 mostra un grafico del *National Snow and Ice Data Centre* (2024) in cui si evidenzia la maggiore rapidità con cui avviene oggi, rispetto al passato, la fusione del ghiaccio in Groenlandia. È stata considerata la media 1981-2010 e contrapposta agli anni 2012 e 2019.

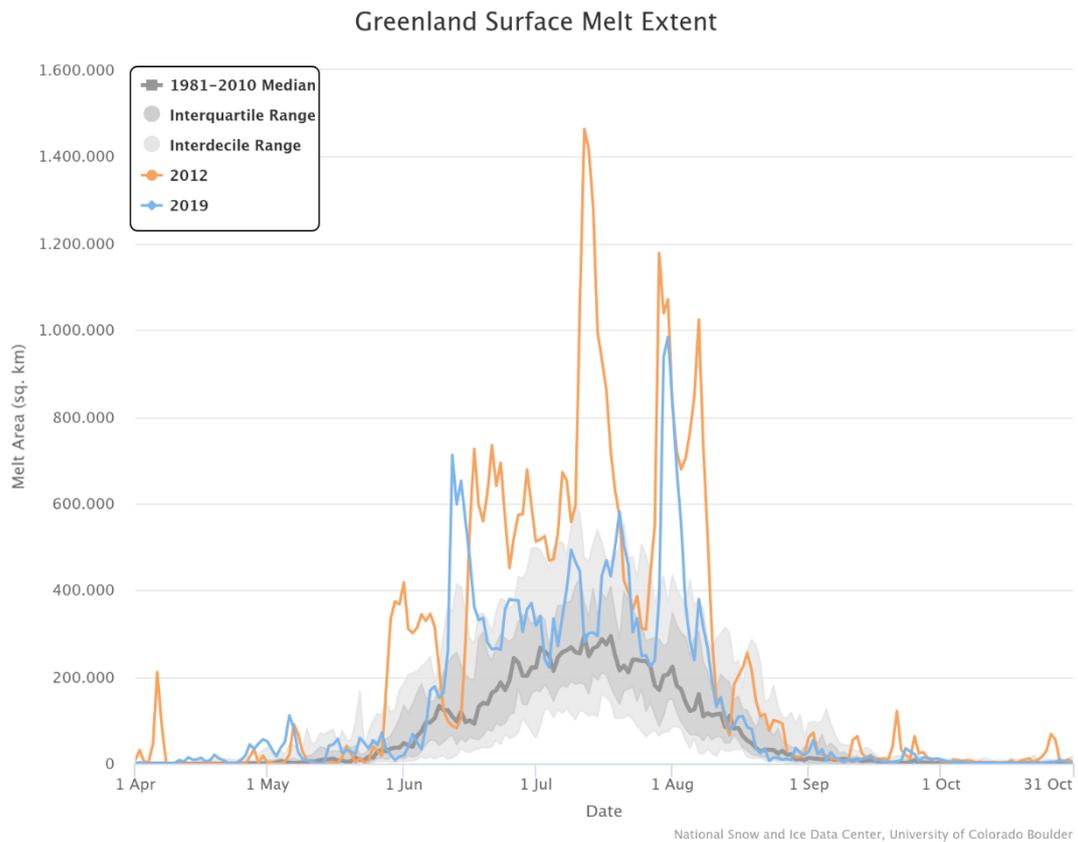


Figura 4, fusione ghiaccio Groenlandia (National Snow and Ice Data Centre, 2024).

Nel report del 2021, l'ICCP (2021) ha individuato alcuni dei principali effetti che il cambiamento climatico in atto ha sulla vita umana nelle zone temperate:

- Ondate di caldo sempre più estreme che, senza l'impatto antropico, non sarebbero state raggiunte.
- Maggiore probabilità di fenomeni piovosi intensi, volgarmente detti bombe d'acqua.
- Fenomeni di siccità agricola ed ecologica a causa dell'aumento dell'evapotraspirazione dei terreni, causata dalle maggiori temperature, e dalla mutata distribuzione temporale delle precipitazioni.
- Cicloni di forte intensità che interessano latitudini sempre più prossime ai poli.

La situazione presenta un quadro critico a livello mondiale ma non tutte le aree saranno colpite allo stesso modo. Il bacino Mediterraneo è considerato un *hotspot* per i cambiamenti climatici.

Il report del MedECC (*Mediterranean Experts on Climate and environmental Change*) (2020) mette in luce come l'aumento delle temperature nel bacino mediterraneo sia del 20% superiore rispetto all'aumento registrato a livello globale. La situazione peggiore però si registra durante il periodo estivo, in cui il riscaldamento è più intenso del 50%. Per comprendere meglio l'entità della situazione è necessario introdurre il concetto di RCP.

L'RCP (*Rappresentative Concentration Pathways*) è un indice utilizzato per esprimere uno scenario climatico in rapporto alle concentrazioni di gas serra. Esistono vari RCP, per esempio RCP 2.6 indica lo scenario nel quale ci troveremmo se cessassero immediatamente tutte le emissioni di gas serra, al contrario RCP 8.5 proietta uno scenario nel quale le emissioni restano costanti e non viene presa nessuna azione correttiva. Uno scenario realistico ed auspicabile è fornito dall'RCP 4.5 in cui si assume la messa in atto di importanti iniziative per la riduzione delle emissioni. Il numero associato all'RCP fa riferimento alla costante radiativa, ovvero quanti W/m^2 in più di calore giungeranno sulla superficie terrestre.

La figura 5 mostra la situazione nel bacino del Mediterraneo secondo gli scenari RCP 8.5 e RCP 2.6. Si può osservare come lo scenario più ottimistico (RCP 2.6) preveda aumenti di temperatura compresi tra 0 °C e 1 °C nella maggior parte dell'area mediterranea e del Sud Europa. Al contrario, lo scenario peggiore prevede aumenti fino a 6 °C in particolare sulla catena alpina, questo potrebbe decretare la scomparsa quasi totale dei ghiacciai. L'IPCC pronostica anche uno scenario intermedio, l'RCP 4.5 in cui le temperature aumenterebbero di 3 °C.

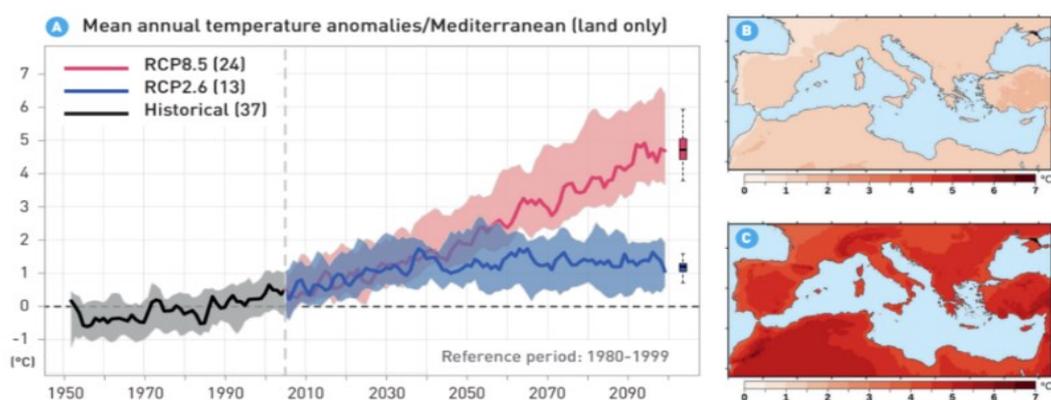


Figura 5, scenari RCP futuri (MedECC, 2020)

La figura 6 elaborata dal CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) mostra nel dettaglio come varierebbero le temperature in Italia entro il 2100 secondo lo scenario RCP 4.5 e RCP 8.5. Appare evidente come le zone limitrofe al mare subiscano le variazioni minori, questo aspetto può essere spiegato citando l'effetto mitigatore che ha il mare sui territori circostanti. In totale accordo con i dati ICCP si può notare come lo scenario RCP 4.5 porti ad aumenti di temperatura tra 2.5 °C e 3.5 °C. Lo scenario RCP 8.5 delinea una situazione molto severa in Pianura Padana dove si registreranno aumenti di 5.5 °C. L'ARPA Veneto ha inoltre previsto che aumenteranno le cosiddette notti tropicali (temperatura minima superiore a 20 °C): lo scenario RCP 2.6 presenterà +20 gg/anno mentre lo scenario RCP 8.5 +70 gg/anno, entro il 2100.

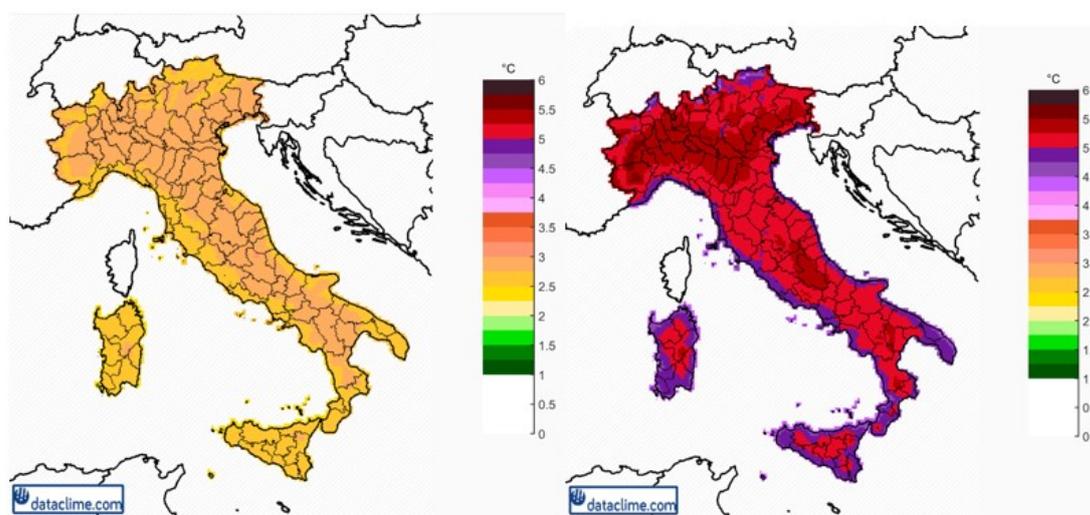
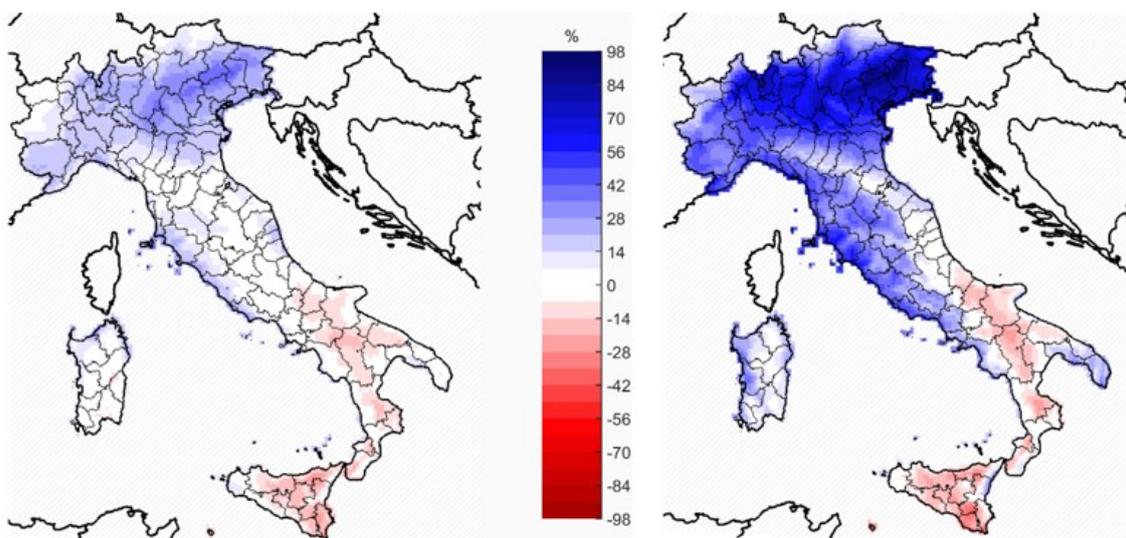


Figura 6, previsioni sul cambiamento delle temperature, a sinistra lo scenario RCP 4.5, mentre a destra lo scenario RCP 8.5 (CMCC, 2021).

Per quanto riguarda le precipitazioni a livello globale gli scenari sono piuttosto diversificati. IPCC e WMO (*World Meteorological Organization*) sono concordi nel prevedere un generale aumento delle precipitazioni. Uno scenario ad alte emissioni può condurre, entro il 2100, ad aumenti delle precipitazioni del 7% con punte del 20% in determinate aree. Se le emissioni dovessero rimanere più contenute le precipitazioni aumenterebbero del 3%. Sebbene a livello globale sia previsto un aumento delle precipitazioni ci saranno aree in cui queste diminuiranno. Secondo le proiezioni il bacino Mediterraneo, l'Africa Settentrionale e il Medio Oriente potrebbero vedere una riduzione delle precipitazioni, mentre aumenti importanti sono previsti nelle zone tropicali con eventi ciclonici più frequenti. È importante tener conto che i modelli

previsionali mostrano elevata variabilità e i dati appena descritti sono una rappresentazione media di tutti i modelli proposti.

In Italia se si considera uno scenario RCP 2.6 le precipitazioni rimarranno simili a quelle della seconda parte del XX secolo fino al 2100. Lo scenario opposto, RCP 8.5, presenta aumenti delle precipitazioni nel periodo invernale, fino a + 25% nel settore alpino e riduzioni nel periodo estivo, fino a – 30% in pianura. Lo scenario più severo ipotizza anche un aumento dell'80% delle precipitazioni intense nel periodo invernale e una riduzione dei giorni di neve (fino a – 35 giorni). Va sottolineato che anche lo scenario più ottimistico (RCP 2.6) prevede la perdita di circa 10 giorni di nevicate. Indubbiamente i giorni senza neve nuova saranno caratterizzati da piogge. Con giorni di nevicata si intendono giorni con temperatura inferiore a 2 °C e precipitazioni superiori a 1 mm. Scenari di questo tipo guidano verso un futuro in cui le precipitazioni cumulate annuali potrebbero subire poche variazioni ma cambierà enormemente la loro distribuzione nell'arco dell'anno. La figura 7 riassume quanto detto evidenziando l'aumento delle precipitazioni invernali, la diminuzione di quelle estive e l'aumento di giornate consecutive senza precipitazioni per gli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5.



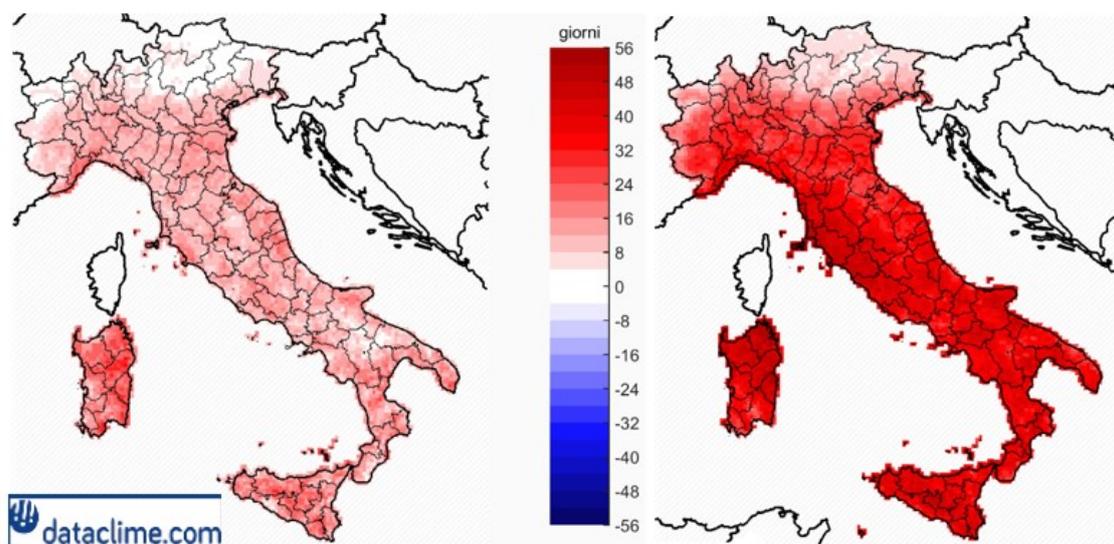
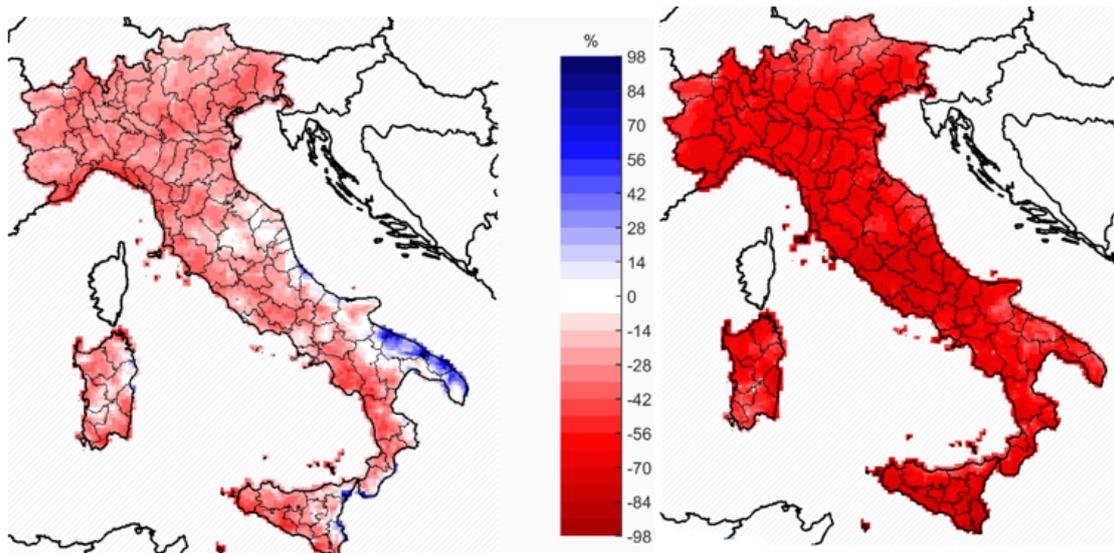


Figura 7, a sinistra gli scenari RCP 4.5, a destra gli scenari RCP 8.5 entro il 2100. In alto le precipitazioni invernali, al centro le precipitazioni estive, in basso i giorni consecutivi senza precipitazioni (CMCC, 2021).

Come già menzionato in precedenza l'ICCP nel report del 2021 ha previsto i futuri impatti che il cambiamento climatico avrà sulle attività umane; tra questi è menzionata l'agricoltura che risulta essere pesantemente impattata. Lo studio condotto dal CREA-PB sui costi legati al cambiamento climatico e alle misure di adattamento necessarie (De Leo *et al.*, 2023) ha evidenziato come l'evoluzione climatica a cui stiamo assistendo sia responsabile di maggiori costi per le aziende, siano questi diretti o indiretti. Un esempio di costi diretti sono quelli derivanti da un maggiore impiego dell'irrigazione oppure i mancati ricavi derivanti da una resa inferiore; mentre tra i costi indiretti possiamo

considerare tutti quelli legati ad opere di prevenzione e adattamento alle nuove condizioni climatiche. Gli effetti del cambiamento climatico possono variare a seconda della zona considerata, sia essa rurale oppure più urbanizzata.

Tale scenario richiede l'applicazione di misure di adattamento specifiche, più o meno impattanti, in base all'esposizione a cui è sottoposta un'area, alla sua vulnerabilità e al tipo di pericolo considerato. Complessivamente, infatti, questi tre fattori determinano il concetto di rischio (IPCC, 2019).

2.3 ESPOSIZIONE

L'esposizione indica il numero di elementi a rischio, per esempio le persone esposte a un determinato rischio, oppure il valore degli *asset* maggiormente esposti a un rischio (Pagliacci, 2019). Nello specifico scenario dei cambiamenti climatici, in relazione al settore agroalimentare, l'Italia è particolarmente esposta. L'Italia è stata leader a livello europeo per diversi anni in quanto a valore del settore agroalimentare, solo nel 2022, a causa del clima avverso, è stata superata da Germania e Francia (rapporto ISMEA, 2023). Nel 2022, secondo l'ISTAT, il valore aggiunto di agricoltura, pesca, silvicoltura e industria alimentare ha superato i 70 miliardi di euro, rappresentando il 3.8% del PIL nazionale; il solo settore agricolo rappresenta 34.4 miliardi di euro. Coldiretti considerando anche supermercati, punti vendita alimentari e il settore della ristorazione calcola un valore di 580 miliardi di euro, pari al 30% del PIL italiano. Anche analizzando le esportazioni il settore agroalimentare italiano risulta piuttosto forte. Secondo ISMEA (2023), il valore delle esportazioni nel 2022 è stato di 60 miliardi di euro con un aumento del 25% rispetto all'anno precedente e con un aumento in valore del 14.8%. I maggiori importatori di prodotti agroalimentari italiani sono Germania, Stati Uniti, Regno Unito e Paesi Bassi. Anche in ottica qualitativa l'Italia eccelle, infatti secondo il rapporto ISMEA-Qualivita (2023), nel 2022 i prodotti agroalimentari italiani a denominazione d'origine o indicazione geografica erano 853 sul totale europeo di 3151. In termini monetari il valore è di 20.2 miliardi di euro con un aumento di un miliardo rispetto all'anno precedente, continuando così il trend di crescita ininterrotto da cinque anni.

Volgendo lo sguardo alla sola produzione agricola la Pianura Padana è un'area fortemente esposta. In questa zona si concentra circa il 90% della produzione nazionale di mais, oltre il 70% della produzione di frumento tenero e la quasi totalità della produzione di riso.

2.4 PERICOLO

Il termine pericolo (da non confondere con rischio) viene utilizzato dall'IPCC (2019) per descrivere eventi climatici, tendenze naturali o antropiche che possono causare perdite di vite umane o danni a salute, beni, servizi, infrastrutture, mezzi di sussistenza e risorse naturali. In ambito ambientale il pericolo è la minaccia che un evento naturale abbia effetti negativi sulla attività umana, per esempio l'agricoltura (Pagliacci, 2019). Nel mondo agricolo possono rappresentare un pericolo la diversa distribuzione delle precipitazioni e la loro intensità. Gli eventi estremi, come le alluvioni, possono provocare danni diretti; mentre lunghi periodi con scarse precipitazioni possono indurre fenomeni di siccità che, in base alla fase fenologica della coltura, risultano in un maggiore o minor stress per la stessa, con ricadute sulla resa.

2.5 VULNERABILITÀ

Nell'ambito del rischio ambientale, è la condizione di esposizione ai danni materiali ed economici, in funzione dell'intensità di un fenomeno naturale, che caratterizza l'insieme della popolazione, delle costruzioni, delle infrastrutture, delle attività economiche e dell'organizzazione sociale (Treccani). Similmente, IPCC (2019) definisce la vulnerabilità come la predisposizione ad essere influenzati negativamente da un pericolo climatico. In altre parole, può essere definita come la suscettibilità di un territorio o di un'attività a un particolare evento. In ambito agricolo, in uno scenario di siccità, vengono individuate come zone vulnerabili quelle in cui, per esempio, mancano adeguati sistemi di irrigazione. La vulnerabilità assume importanza tanto più il pericolo considerato è concreto; diversamente la vulnerabilità in assenza di pericolo può non destare preoccupazioni.

2.6 RISCHIO

Il rischio deriva dalla combinazione dei tre fattori sopradescritti: esposizione, vulnerabilità e pericolo. Viene definito dalla Treccani come “eventualità di subire un danno connessa a circostanze più o meno prevedibili”. L’IPCC definisce il rischio come la potenziale perdita di benessere e/o di ecosistemi a causa di eventi climatici o loro variazioni. Alcune componenti del rischio sono gestibili, mentre altre sono al di sopra del controllo umano. La vulnerabilità si può ridurre attraverso interventi di prevenzione; la gestione dell’esposizione, seppur possibile a livello teorico, trova diversi ostacoli in ambito applicativo. Il pericolo, soprattutto in ambito ambientale, invece sfugge spesso alla possibilità di intervento umano. Per esempio il rischio di cali di resa a causa della siccità si presenta in un areale dove le precipitazioni scarseggiano (pericolo), non sono presenti elementi di supporto come impianti irrigui (vulnerabilità) e molti ettari sono occupati da colture sensibili agli stress idrici (esposizione). In questo breve esempio l’unica componente su cui si può veramente agire nel breve periodo è la vulnerabilità che può essere ridotta con interventi mirati. Intervenire sull’esposizione richiederebbe il cambio dell’ordinamento produttivo di diverse aziende e non è un’opzione percorribile in tempi brevi. Il rischio è la componente naturale del pericolo che risulta incontrollabile dall’uomo.

2.7 ALCUNI CASI STUDIO

L’evoluzione del clima impatta l’agricoltura in diversi modi. Su questo argomento sono stati condotti diversi studi a livello internazionale. La maggior parte di questi si concentra sulla relazione tra temperature e precipitazioni e attività agricola. Santeramo e Maccarone (2022) hanno dapprima confrontato diversi studi in ambito internazionale e poi proposto un’analisi a livello nazionale. Di seguito verranno riportati i dati salienti dello studio menzionato.

La letteratura indica che l’incremento delle temperature e il contestuale decremento delle precipitazioni siano potenziali cause della riduzione delle rese (Black, Thompson, 1978; Furuya, Koyama, 2005; Finger, 2010; Thornton et al., 2009; Rowhani et al., 2011;

Gaudin et al., 2015; Agnolucci, De Lipsis, 2019). La figura 8 mostra i risultati ottenuti dall'analisi della letteratura evidenziando l'impatto delle precipitazioni e delle temperature sulle rese.

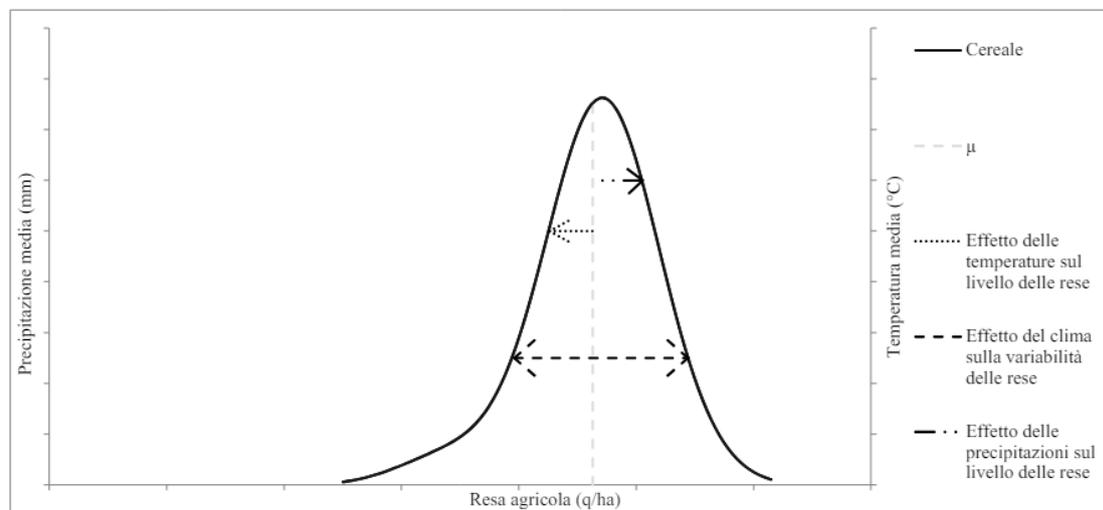


Figura 8, componenti che influenzano la resa dei cereali, in diverse regioni mondiali (Santeramo e Maccarone, 2022, pagina 80).

La figura 9 riassume i risultati di diversi studi riguardanti precipitazioni e temperature in relazione alle rese in diverse regioni geografiche. I dati mostrano che indipendentemente dallo sviluppo della regione, dall'arco temporale e dalla sua posizione geografica (Africa, America, Australia, Europa, India) e dalla variabile utilizzata (livello rese o variabilità rese) le temperature elevate tendono ad avere effetti negativi mentre una quota maggiore di precipitazioni ha effetti positivi.

Studio		Oggetto d'analisi				Risultati				
Autore	Anno pubblicazione	Coltura		Territorio		Periodo considerato	Livello rese		Variabilità rese	
		Cereali*	Altro	PS	PVS		T	P	T	P
Black and Thompson	1978	x	Fagioli	x		1870-1970	-			
Furuya and Koyama	2005	x	Soia	x	x	1961-2000	-	+		
Schlenker and Roberts	2006	x		x		1950-2004	-			
Thornton <i>et al.</i>	2009	x	Fagioli		x	2000-2050	-	+		
Cabas <i>et al.</i>	2010	x	Soia	x		1981-2006	-	+		
Finger	2010	x		x		1961-2006			+	+
Lobell and Burke	2010	x			x	2010-2050	-	+		
Peltonen-Sainio <i>et al.</i>	2010	x	Barbabietola, colza, patata	x		1975-2008	-	+		
Rowhani <i>et al.</i>	2011	x			x	1992-2005	-	+		
Sarker <i>et al.</i>	2012	x			x	1972-2009	-	+		
Barnwal and Kotani	2013	x			x	1971-2004	-	+		
Briche <i>et al.</i>	2014		Vite	x		1971-2000			+	+
Challinor <i>et al.</i>	2014	x		x		2010-2100	-	+	+	
Gaudin <i>et al.</i>	2015	x	Soia	x		1982-2012	-	+		
Ray <i>et al.</i>	2015	x	Soia	x	x	1979-2008			+	+
Trnka <i>et al.</i>	2016	x		x		1901-2012	-			
Kim and Moschini	2018	x	Soia	x		1971-2015	-	+		
Agnolucci and De Lipsis	2019	x		x		1960-2020	-			
Fletcher <i>et al.</i>	2020	x		x		1900-2016	-	+		
Diffenbaugh <i>et al.</i>	2021	x		x		1991-2017	-	+		

Nota: colture cerealicole considerate sono avena, frumento, mais, orzo, riso, sorgo; PS e PSV si riferiscono rispettivamente a Paesi Sviluppati e Paesi in Via di Sviluppo; temperatura è indicata con "T" mentre precipitazione con "P"; la simbologia "-" e "+" indica un decremento o incremento della variabile in esamina

Figura 9, riassunto di altri studi relativi alla relazione delle rese con il clima condotti a livello internazionale (Santeramo e Maccarone, pagina 81).

Volgendo l'attenzione alla situazione italiana la maggior parte degli studi si riferisce ad ambiti regionali o provinciali e analizza solo specifiche colture. Lo studio di Ferrara *et al.* (2010) analizza gli impatti del clima sul frumento nel Sud Italia, mentre lo studio di Zhu *et al.* (2016) riguarda la modificazione del sistema di coltivazione della vite a seguito dei cambiamenti climatici. In generale dai diversi studi analizzati si evince come sia in aumento la variabilità delle rese con una tendenza alla diminuzione delle stesse.

Lo studio di Santeramo e Maccarone (2022), condotto su scala nazionale, mostra risultati coerenti con quelli già presenti in letteratura. L'aumento delle temperature ha causato una diminuzione delle rese non lineare solo per mais e orzo, mentre non ha mostrato effetti sugli altri cereali. Le precipitazioni hanno mostrato invece una correlazione positiva e non lineare per tutti gli altri cereali oggetto dello studio, in particolare l'effetto è molto evidente sul mais. In generale si è riscontrato come l'aumento delle temperature

abbia una correlazione positiva con la deviazione standard delle rese, quindi l'aumento delle temperature introduce maggiore variabilità nel livello delle rese (soprattutto mais e orzo). Le scarse precipitazioni invece causano una diminuzione generalizzata delle rese, specialmente per il mais. In conclusione, è stato confermato che il livello delle temperature e delle precipitazioni influenza sia il livello medio delle rese che la loro variabilità con impatti particolarmente evidenti sul mais.

Possibili soluzioni per mitigare l'effetto del cambiamento climatico su colture maggiormente colpite, come il mais, sono riconducibili all'agricoltura di precisione. Uno studio condotto da Yost *et al* (2017) nel Missouri, nello specifico riguardante il mais, ha rivelato come, anche in presenza di scarse precipitazioni, l'agricoltura di precisione abbia avuto un'importante impatto non tanto sull'aumento delle rese ma sulla loro stabilizzazione. Ciò è stato reso possibile mappando l'appezzamento per suddividerlo in aree in cui applicare trattamenti diversi a seconda delle esigenze specifiche. Questo ha permesso una più oculata gestione delle risorse, comprese quelle idriche.

3 MATERIALI E METODI

3.1 AREA DI STUDIO

L'area nella quale è stato condotto lo studio coincide con la Pianura Padana, come mostrato nella figura 10.



Figura 9, delimitazione approssimativa della regione oggetto dello studio (Google Earth).

Sono state considerate le quattro principali regioni: Piemonte, Lombardia, Emilia – Romagna e Veneto e quasi tutte le rispettive province. In Piemonte sono state considerate tutte le province: Alessandria, Asti, Biella, Cuneo, Novara, Torino, Verbano-Cusio-Ossola e Vercelli. In Lombardia sono state analizzate le province di: Bergamo, Brescia, Como, Cremona, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Monza e Brianza, Pavia e Varese; mentre è stata esclusa la provincia di Sondrio in quanto l'orografia prevalentemente montuosa e la scarsità di SAU destinata alle colture oggetto di studio la rendono troppo

dissimile dalle altre. In Veneto le province oggetto di studio sono state: Verona, Vicenza, Padova, Rovigo, Venezia e Treviso, mentre Belluno è stata esclusa per gli stessi motivi citati per Sondrio. In Emilia – Romagna sono state considerate tutte le province: Piacenza, Parma, Reggio nell'Emilia, Modena, Bologna, Ferrara, Ravenna, Forlì – Cesena e Rimini.

Con riferimento alle caratteristiche di questo territorio, la Pianura Padana è una pianura di origine alluvionale, situata nel Centro-Nord Italia, compresa principalmente nel bacino idrografico del fiume Po. È tra le più grandi pianure europee e la più grande dell'Europa Meridionale. È una regione unitaria dal punto di vista geografico, è delimitata a nord e ad ovest dalle Alpi e Prealpi italiane, a sud dall'Appennino Settentrionale e ad est dall'Alto Adriatico. Oltre al Po e ai suoi maggiori affluenti (Ticino, Lambro, Adda, Oglio, Mincio, Tanaro, Scrivia, Trebbia, Secchia e Panaro) è attraversata anche da Adige, Brenta, Piave e Reno. Sono numerosi anche i laghi che ne fanno parzialmente parte e risultano spesso posti tra la pianura e i primi rilievi prealpini, i maggiori sono: Lago di Garda, Lago d'Iseo, Lago di Como e Lago Maggiore. La Pianura Padana può essere divisa in tre zone ben distinguibili tra loro: alta pianura, area delle risorgive e bassa pianura. L'alta pianura è situata ai piedi delle Prealpi e degli Appennini, è composta da terreni ghiaiosi e sabbiosi che non riescono a trattenere l'acqua. Di conseguenza questa penetra fino a raggiungere uno strato impermeabile, sul quale scivola fino al punto in cui può risalire mediante le falde freatiche, queste zone sono dette risorgive e segnano il confine tra alta e bassa pianura. La bassa pianura, detta anche irrigua, è caratterizzata da terreni argillosi, spesso impermeabili o poco permeabili. In passato era caratterizzata dalla presenza di vaste foreste paludose e acquitrini; l'agricoltura è stata resa possibile solo con un'accurata regimentazione delle acque.

Nella sua parte orientale la pianura è caratterizzata da centri urbani di medio-grandi dimensioni circondati dalla campagna ad elevata meccanizzazione agricola. I centri urbani di maggiori dimensioni sono situati nella parte occidentale, anch'essa ricca di campagne con elevata meccanizzazione agricola.

3.2 IL CLIMA

Secondo la classificazione di Köppen-Geiger la Pianura Padana ricade nella zona Cfa, ovvero clima subcontinentale umido, può anche essere definito temperato-umido con estate molto calda. Questa zona rappresenta il punto di passaggio tra il clima tipicamente mediterraneo, a cui è associata la restante parte dell'Italia Centro Meridionale e, il clima oceanico o marittimo temperato, tipico dell'Europa Occidentale. La regione padana è tipicamente caratterizzata da un'ampia escursione termica annuale.

Nel corso dei mesi invernali, le temperature minime possono scendere anche diversi gradi sotto lo 0 nelle ore notturne e, in casi particolari, restare sotto gli 0 °C per l'intera giornata; in queste occasioni sono possibili fenomeni come la galaverna. Nonostante la nebbia sia un fenomeno in diminuzione, rispetto al passato, resta una caratteristica tipica della regione, anche per via della scarsa ventilazione causata dalla conformazione del territorio. Durante il periodo estivo, al contrario, le temperature possono toccare punte di 38 °C e in rare occasioni superare i 40 °C. Questi elevati picchi termici sono sempre più frequenti a causa del riscaldamento globale, così come sono sempre più frequenti anche le "notti tropicali", ovvero le notti durante le quali la temperatura non scende mai al di sotto dei 20°C (ARPA Veneto, 2022).

3.3 LE COLTURE

Sulla base dei dati ISTAT (2024), è facile osservare come la Pianura Padana sia l'area agricola maggiormente produttiva in Italia. Le colture più diffuse in Pianura Padana sono proprio quelle cerealicole, ed in particolare frumento tenero, mais e riso. Queste tre colture sono quelle analizzate nella presente tesi.

3.3.1 FRUMENTO TENERO

Il frumento tenero (*Triticum aestivum* o *Triticum vulgare*) è una pianta erbacea appartenente alla famiglia delle *Poaceae*. Originario della Mesopotamia, oggi è coltivato largamente in tutti i continenti abitati e la sua produzione è in costante ascesa. È

largamente diffuso nel Centro-Nord Italia mentre al Sud Italia prevale il frumento duro. Questo è dovuto alle diverse esigenze climatiche che rendono il frumento tenero meglio adatto alle condizioni umide del Centro-Nord.

Il suo ciclo biologico è diviso in 5 fasi: germinazione, accestimento, levata, fioritura, maturazione. Nel Nord Italia la semina avviene generalmente in autunno tra la fine di ottobre e l'inizio di novembre. La germinazione avviene normalmente entro due settimane dalla semina. L'accestimento avviene tra fine inverno e inizio primavera, interessando i mesi di febbraio e marzo. Tra fine marzo e inizio aprile avviene la fase di levata. La fioritura può iniziare alla fine di maggio e generalmente non si protrae oltre la prima decade di giugno. Segue la fase di maturazione a fine giugno fino alla conclusione del ciclo produttivo con la raccolta. I mesi di marzo e aprile sono i più delicati dal punto di vista idrico sebbene nel Nord Italia, generalmente, il frumento tenero non sia una coltura soggetta ad irrigazione. Tuttalpiù sono molto pericolosi forti temporali e venti che possono causare allettamento e fenomeni di ristagno idrico che creano un microclima atto allo sviluppo di micotossine.

3.3.2 MAIS

Il mais (*Zea Mays*) è un'erbacea annuale appartenente alla famiglia delle graminacee. Viene coltivato sin dall'antichità dalle popolazioni indigene del Messico, oggi è tra i cereali più diffusi in tutto il mondo. È un prodotto molto versatile, può essere destinato all'industria mangimistica o alimentare, alla distillazione o alla produzione di bioetanolo. In Italia la sua coltivazione è dimezzata rispetto al decennio precedente: si passa dal milione di ettari del 2010 ai 500.000 ettari degli ultimi anni (ISTAT, 2024). Questo dato è legato in gran parte alle condizioni climatiche sempre meno favorevoli. Il fulcro della produzione nazionale è il Nord Italia dove Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna e Piemonte costituiscono oltre il 90% della produzione totale. Il Centro-Sud Italia ha produzioni marginali prevalentemente per motivi climatici, infatti il mais soffre le temperature elevate e soprattutto è una coltura irrigua. Le classi FAO maggiormente coltivate in Italia sono FAO 400 e FAO 500 (medio-precoci e medio-tardive).

Il suo ciclo biologico è composto da: germinazione, emergenza, accostamento, fioritura, impollinazione e maturazione. La semina avviene generalmente nel mese di aprile mentre l'emergenza tra fine aprile e inizio maggio. Dopo l'emergenza, tra fine maggio e metà giugno, il mais entra nella fase di accostamento che è tra le più delicate dell'intero ciclo. L'accostamento infatti è determinante per una buona resa. Tra fine giugno e metà luglio avviene la fioritura a cui segue l'impollinazione. Infine la maturazione si completa tra fine agosto e metà settembre. Il periodo più critico dal punto di vista idrico è tra giugno e luglio, in questa fase avviene la formazione della granella e la richiesta idrica da parte della coltura è molto elevata.

3.3.3 RISO

Il riso è il cereale più consumato al mondo per l'alimentazione umana. Appartiene alla famiglia delle *Poaceae*, in particolare alla tribù delle *Oryzaceae* alla quale appartengono le specie maggiormente coltivate *Oryza sativa* e *Oryza glaberrima*. Originario dell'Asia Sudorientale è oggi coltivato in quasi tutto il pianeta. Oltre che essere consumato come alimento può essere trasformato in farina, l'amido può essere utilizzato in cosmesi e tradizionalmente nell'Asia Orientale è utilizzato per la produzione di bevande alcoliche e analcoliche. In Italia l'uso è prevalentemente alimentare; la sua diffusione è concentrata nel Nord Italia, soprattutto in Piemonte, Lombardia e Veneto. La scarsa diffusione nel Sud Italia è dovuta al clima più caldo e secco e alla conformazione del territorio; al contrario le vaste pianure del Nord e la presenza di numerosi corsi d'acqua hanno permesso la sua diffusione.

Il ciclo biologico del riso è composto da: germinazione, accostamento, levata, fioritura e maturazione. L'allagamento delle risaie avviene generalmente tra fine marzo e metà aprile a seconda che la semina avvenga a secco o in sommersione. Nel caso si semini quando la risaia è già sommersa le operazioni si svolgono tra fine aprile e la prima metà di maggio, mentre la semina a secco richiede un leggero anticipo, si parla quindi di un periodo compreso tra fine marzo e metà aprile. La germinazione, a seconda di quando è avvenuta la semina, si registra tra fine aprile e maggio. L'accostamento accade in un periodo variabile che va da circa 20-30 giorni dopo la semina fino a 40-70 giorni dopo la

germinazione quindi ci troviamo tra fine maggio e i primi di luglio. Segue la levata tra fine giugno e metà luglio, dopo un paio di decenni inizia la fioritura che generalmente non si protrae oltre metà agosto. Il ciclo si conclude con la maturazione che avviene tra settembre ed ottobre e la raccolta che avviene intorno al mese di ottobre. Il periodo più critico dal punto di vista idrico è tra luglio e agosto, ovvero durante la fioritura; la pianta in questo momento è molto sensibile anche alle alte temperature, periodi prolungati oltre i 35 °C possono causare sterilità, disseccamento e cali qualitativi.

3.4 DATI

3.4.1 DATI PLUVIOMETRICI

I dati riguardanti le precipitazioni sono stati ottenuti consultando le banche dati dei siti regionali dell'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) di Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia – Romagna.

(<https://www.arpa.piemonte.it/>; <https://www.arpalombardia.it/>;
<https://www.arpa.veneto.it/>; <https://www.arpae.it/it>).

La figura 11 mostra la localizzazione approssimativa delle stazioni meteo dalle quali sono stati ottenuti i dati.



Figura 11, Pianura Padana vista da Google Earth, le puntine indicano le stazioni ARPA in cui sono stati raccolti i dati sulla piovosità.

La scelta di considerare il 2010 come anno di partenza per questo studio è stata dettata dal fatto che i dati delle province di Verona e Vicenza attualmente disponibili non permettono di risalire più indietro rispetto al 2009. Si è scelto di considerare come valore provinciale il dato di piovosità riferito al capoluogo di provincia. Questa scelta deriva dal fatto che generalmente il capoluogo si trova in una posizione centrale rispetto al territorio provinciale e può quindi rappresentare una buona approssimazione della media effettiva della provincia. Inoltre alcune delle province oggetto dello studio non sono situate in territorio completamente pianeggiante; in questi casi il capoluogo di provincia è spesso situato nella parte di pianura e ciò permette di avere dati che riflettono le reali precipitazioni occorse nelle zone di coltivazione delle colture oggetto dello studio. In ogni caso, si è consapevoli del livello di approssimazione che tale scelta può avere generato nella raccolta e analisi dei dati. Durante il processo di raccolta dei dati ci sono state difficoltà riguardanti la completezza dei dati stessi, soprattutto per quanto riguarda la regione Emilia – Romagna. Non di rado si sono presentati diversi buchi temporali in cui i dati non erano disponibili. In questi casi si è provveduto ad integrare i dati mancanti attingendo ad altre stazioni meteo secondo il principio di vicinanza alla stazione meteo originariamente prescelta e cercando, in ogni caso, di attingere a dati derivanti da zone pianeggianti.

I dati raccolti sono stati considerati prima a livello annuale, per verificare l'andamento generale del clima. Successivamente si è deciso di non basare lo studio sulle precipitazioni dell'anno solare ma di riorganizzare le precipitazioni in base alla stagione e in base alla fenologia delle colture oggetto dello studio (vedi successiva tabella x). Per questo, dopo un'analisi generale dei dati a livello annuale si è scelto di utilizzare dati su base mensile.

3.4.2 DATI AGRONOMICI

I dati riguardanti gli aspetti agronomici sono stati ricavati dal sito dell'ISTAT (Istituto nazionale di Statistica; disponibili all'indirizzo web:
http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_COLTIVAZIONI).

I dati si presentano divisi per tipo di coltura, e ambito geografico dettagliati, nella maggior parte dei casi, fino a livello provinciale. Per ogni provincia e per ogni coltura, vengono indicati: superficie totale, produzione totale e produzione raccolta dal 2006 al 2023, eccezion fatta per il riso i cui dati, al momento della stesura di questo studio, si fermano al 2022. Per avere uniformità tra le colture si è deciso di considerare il 2022 come ultimo anno per tutte tre le colture. Molto spesso il dato di produzione totale coincide con quello di produzione raccolta, in ogni caso ai fini dello studio è stato utilizzato il dato di produzione totale.

3.4.3 METODI

La prima fase dell'analisi ha riguardato il calcolo delle rese annue di ogni coltura rapportando la produzione totale alla SAU. Successivamente sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra le precipitazioni cumulate e le rese e tra le precipitazioni cumulate e la SAU per l'individuazione di eventuali rapporti. Le precipitazioni sono state cumulate a livello mensile e successivamente sono stati individuati due intervalli temporali specifici per ogni coltura. Il primo intervallo prende in considerazione i mesi in cui la coltura si trova in campo, mentre il secondo considera i due mesi più critici dal punto di vista idrico; le suddivisioni sono mostrate nella tabella 2.

		INTERVALLO TEMPORALE	
		Coltura in campo	Periodo critico
CULTURA	Frumento	Ottobre – Giugno	Marzo – Aprile
	Mais	Maggio – Settembre	Giugno – Luglio
	Riso	Aprile – Settembre	Luglio – Agosto

Tabella 2, assegnazione dei periodo temporali in cui correlare precipitazioni e resa per le colture oggetto dello studio.

Così definiti gli intervalli temporali sono state correlate le rese annuali con le precipitazioni cumulate nei mesi prescelti. Ottenuti i coefficienti di correlazione, ne è stata testata la significatività tramite il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman. Questa scelta è stata dettata dalla distribuzione non normale dei dati. La

correlazione viene considerata significativa per valori di p compresi tra < 5% e < 1%, mentre viene considerata altamente significativa per valori di p < 1%.

3.4.4 INDICATORI E MAPPE DI RISCHIO

Per realizzare indicatori e relative mappe di esposizione, pericolo e vulnerabilità sono stati utilizzati dati relativi a diverse variabili.

Come esposizione si è scelto di considerare la percentuale di SAU occupata da ciascuna coltura oggetto di studio rispetto alla SAU totale della provincia. In questo modo si evita che le province di maggiore estensione risultino sempre come le maggiormente esposte, mentre al contrario si fornisce un indice di esposizione relativo.

Come pericolo è stata considerata la variabilità delle precipitazioni. È stato calcolato lo scostamento delle precipitazioni di ogni anno, tra il 2010 e il 2022, rispetto alla media e poi è stata calcolata la deviazione standard dei vari scostamenti ottenuti.

La vulnerabilità è stata analizzata solo per il mais in quanto per frumento e riso non è stato possibile individuare delle variabili *proxy* della vulnerabilità che fossero ordinali e soprattutto di cui esistessero anche dati. Per esempio, l'assenza di barriere frangivento può essere un fattore di vulnerabilità per il frumento ma trovare dati dettagliati relativi ad esse non è possibile. Per il mais si è quindi scelto di usare la percentuale di SAU non irrigata. L'ISTAT offre dati relativi alla percentuale di SAU irrigata per coltura solo a livello regionale, oppure dati a livello provinciale ma che considerano l'intera SAU irrigata, senza fare distinzioni per coltura. Si è reso quindi necessario impostare la seguente proporzione per avere un dato più preciso a livello provinciale.

$$\% SAU_m \text{ irr. Reg.} : SAU_m \text{ Reg.} = X : SAU_m \text{ Prov.}$$

Dove:

- % SAU_m irr. Reg., percentuale di SAU coltivata a mais irrigata a livello regionale;
- SAU_m Reg., SAU media coltivata a mais a livello regionale;

- X, percentuale di SAU coltivata a mais irrigata a livello provinciale (incognita);
- SAU_m Prov., SAU provinciale coltivata a mais.

Va notato come gli unici dati completi riguardanti l'irrigazione risalgano al censimento agricolo del 2010, di conseguenza i valori di SAU utilizzati nella proporzione sono quelli resi disponibili nel medesimo anno. Altri enti come il CREA dispongono di dati riguardanti la SAU irrigata più recenti ma meno completi e mai divisi per tipo di coltura. Tuttavia è stato possibile valutare che nel corso dell'ultimo decennio la percentuale di SAU irrigata è variata di pochi punti percentuali, di conseguenza i dati del 2010 possono ancora essere ritenuti affidabili e indicativi della situazione.

Una volta completati, per ogni provincia, i calcoli riguardanti la percentuale di SAU, lo scostamento delle precipitazioni rispetto alla media e la percentuale di SAU irrigata le province sono state disposte in ordine decrescente, da quella con valori maggiori a quella con valori minori. Ad ognuna è stato assegnato un valore corrispondente a "Alto", "Medio" e "Basso" in base al punteggio ottenuto. Per quanto riguarda l'esposizione, le province sono state ordinate dalla più esposta alla meno esposta e mediante l'uso dei percentili gli è stata assegnata la classificazione: al 33% inferiore è stato assegnato il valore "Basso", al 33% superiore è stato assegnato il valore "Alto" ed infine alle province rimanenti è stato assegnato il valore "Medio". In riferimento al pericolo, il procedimento è stato il medesimo, ordinando le province da quelle con deviazione standard maggiore (più pericolo) a quelle con deviazione standard minore (meno pericolo). Per la vulnerabilità sono state utilizzate solo le classi "Alto" e "Basso", ciò per evitare eccessive complicazioni nella visualizzazione dei risultati. Anche in questo caso le province sono state ordinate da quella con percentuale di SAU irrigata maggiore (meno vulnerabile), a quella con percentuale di SAU irrigata minore (più vulnerabile): al 50% superiore è stato assegnato il valore "Basso", mentre al 50% inferiore il valore "Alto". Le tre componenti (esposizione, rischio e vulnerabilità) sono state poi combinate come nella tabella 3, ottenendo diverse classi.

MAIS		HAZARD					
		Low		MEDIUM		HIGH	
VULNERABILITY		Low	High	Low	High	Low	High
EXPOSURE	Low	0,5	1	1	2	1,5	3
	Medium	1	2	1,5	3	2	4
	High	1,5	3	2	4	2,5	5

Tabella 3, distinzione in classi per il mais, viene assegnata un scala numerica da 1 a 5 poi, se la vulnerabilità è bassa il punteggio viene dimezzato.

Come detto, per il frumento, non è stato possibile introdurre la vulnerabilità, quindi la tabella è stata riadattata come mostrato nella 4.

FRUMENTO		HAZARD		
		Low	MEDIUM	HIGH
EXPOSURE	Low	1	2	3
	Medium	2	3	4
	High	3	4	5

Tabella 4, distinzione in classi per il frumento, viene assegnata una scala numerica da 1 a 5.

Il riso, come detto, non è analizzabile dal punto di vista della vulnerabilità. Inoltre, come verrà a breve mostrato nella sezione 4 dei risultati, il riso non presenta evidenti correlazioni tra resa e precipitazioni. Di conseguenza le precipitazioni non possono essere considerate pienamente un pericolo, come invece è stato fatto per il mais e il frumento tenero. Verrà quindi mostrata la situazione delle rese e della SAU legate al riso, sottolineando la scarsa attinenza tra le precipitazioni e la resa del riso; tuttavia saranno evidenziate altre variabili climatiche che possono incidere sulla resa come la scarsa disponibilità idrica nel momento della semina e l'impatto delle alte temperature nel periodo della fioritura.

4 RISULTATI

4.1 SAU E RESE

4.1.1 FRUMENTO TENERO

La SAU coltivata a frumento tenero nel nord Italia sfiora il mezzo milione di ettari secondo i più recenti dati ISTAT; Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto e Piemonte sono le regioni dove la coltivazione è maggiormente diffusa. In Emilia – Romagna, tra gli anni 2010 e 2023, il frumento tenero occupa mediamente 141.152,80 ettari di SAU facendone la regione con la maggiore coltivazione. Nello stesso periodo la SAU media veneta si attesta 91.377,50 a ettari. Seguono Piemonte e Lombardia con rispettivamente 81.299,57 ettari e 57.866,93 ettari di SAU coltivata a frumento tenero. La provincia di Verbano-Cusio-Ossola non è stata presa in considerazione data la presenza di frumento quasi assente (5.4 ettari in media). La figura 12 mostra la diversa distribuzione della SAU coltivata a frumento tenero nelle regioni oggetto dello studio.

SAU regionale media

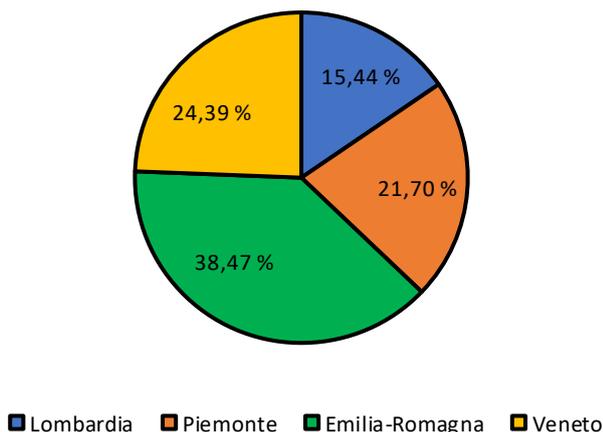


Figura 10, suddivisione della SAU di frumento tenero.

A livello generale la SAU mediamente occupata in Pianura Padana è di 93.644,20 ettari, con il valore minimo nel 2017 (83489 ettari) e il valore massimo nel 2013 (107.633 ettari). In generale si può definire la SAU media costante come mostrato nella figura 13.

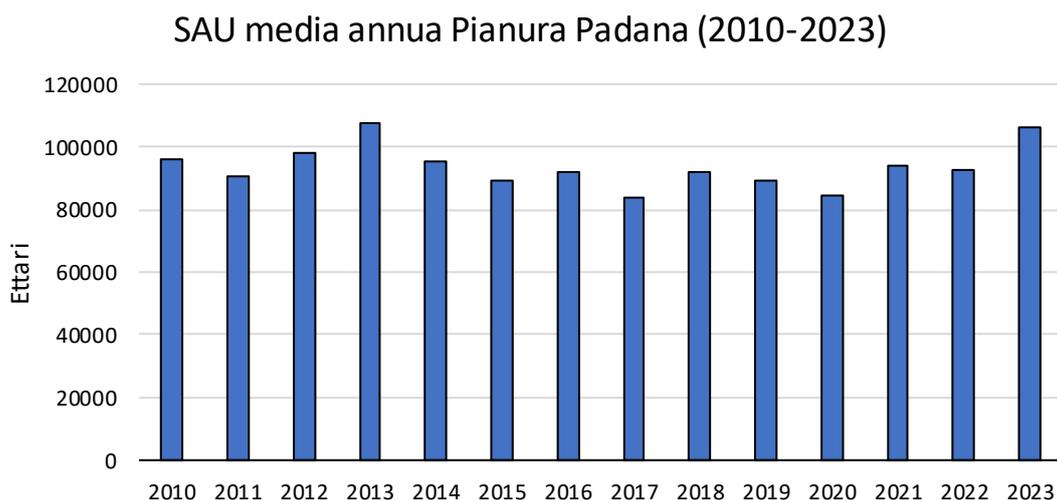


Figura 11, SAU media di frumento tenero nel periodo 2010-2023.

Per quanto riguarda le rese, nel periodo 2010-2023, nelle province oggetto dello studio, la media è di 58.70 q/ha. Il 2021 è stato l'anno con le rese maggiori (66.63 q/ha) mentre il 2011 ha registrato le rese peggiori (53.74 q/ha). La figura 14 mostra lo scostamento annuale rispetto alla media.

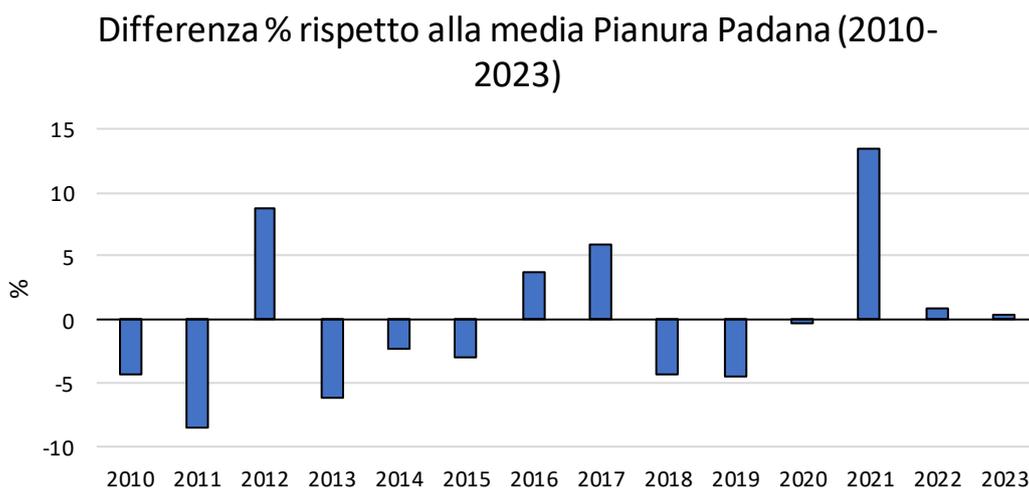


Figura 12, scostamento annuale della resa di frumento tenero rispetto alla media del periodo 2010-2023.

Come mostrato dalla figura 15 non ci sono evidenti differenze a livello regionale. Il Veneto (65.12 q/ha) è la regione più produttiva, seguita da Emilia – Romagna (60.66 q/ha), Lombardia (55.59 q/ha) e Piemonte (52.05 q/ha). Il Veneto è anche la regione con le rese più omogenee tra le province.

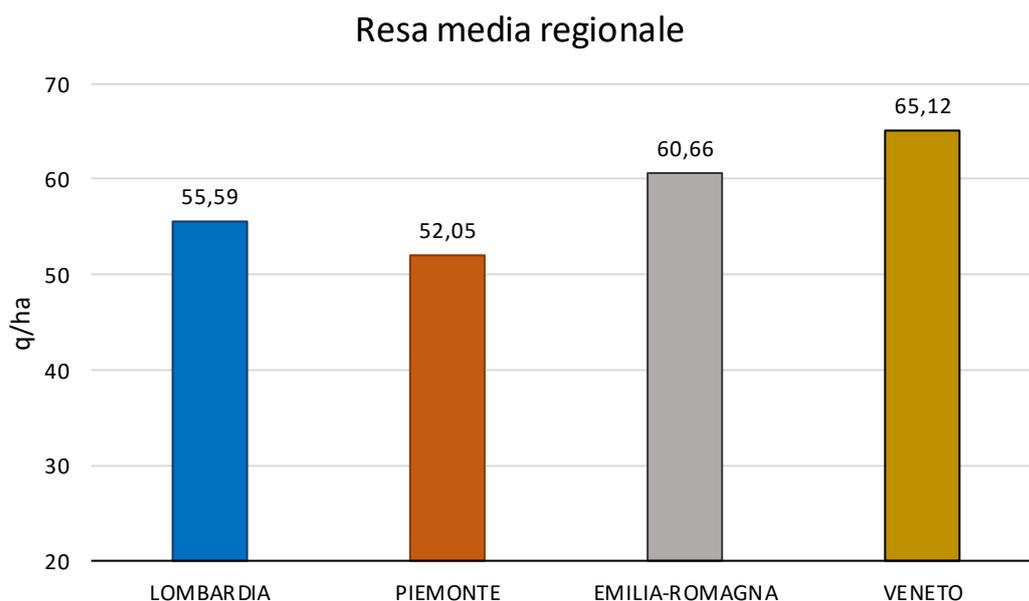


Figura 13, resa di frumento tenero a livello regionale nel periodo 2010-2023.

4.1.2 MAIS

Il mais in Veneto, tra gli anni 2010 e 2023, occupa mediamente 185.400,70 ettari di SAU. A breve distanza seguono Lombardia e Piemonte con rispettivamente 164.549,40 ettari e 153.454,90 ettari di SAU. A maggiore distanza chiude l'Emilia – Romagna con 76.563,71 ettari di SAU occupata dal mais. La figura 16 mostra la distribuzione della SAU coltivata a mais tra le diverse regioni oggetto dello studio.

SAU regionale media

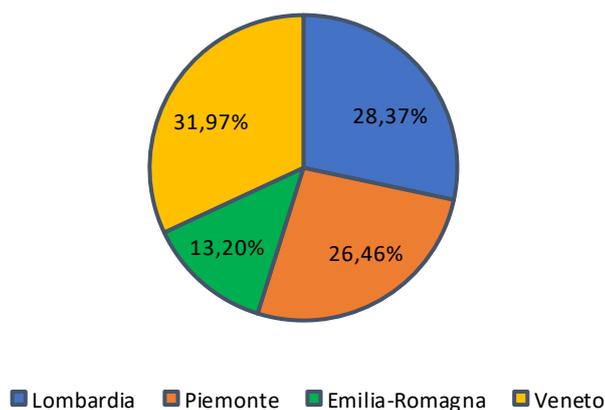


Figura 16, suddivisione della SAU di mais a livello regionale.

Nell'ambito della Pianura Padana, la SAU media di mais tra il 2010 e il 2023 è di 144.992,20 ettari, il valore massimo è stato raggiunto nel 2011 (200.613,20 ettari), mentre il valore minimo nel 2023 (101.413,80 ettari). Come mostrato dalla figura 17 l'andamento generale vede una diminuzione della SAU coltivata a mais.

SAU media annua Pianura Padana (2010-2023)

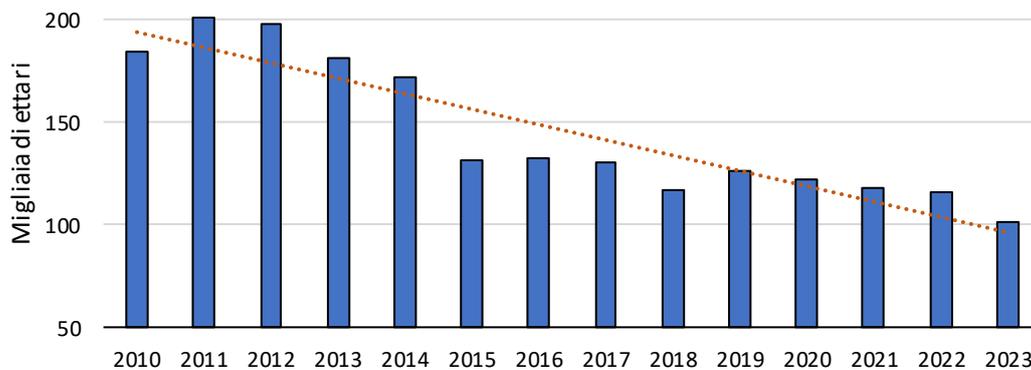


Figura 14, SAU annua media di mais, nel periodo 2010-2023, in tratteggiato la linea di tendenza.

Dalla figura 18 si nota come il Veneto abbia raggiunto il suo picco nel triennio 2011-2013 per poi avere un calo nel 2014 e stabilizzarsi a partire dal 2015. Lombardia ed Emilia – Romagna raggiungono entrambe il picco nel 2011 per poi calare gradualmente e stabilizzarsi nel 2015. Infine la SAU piemontese è stabile fino al 2014, ha un calo nel 2015 per poi rimanere abbastanza costante.

SAU annua a livello regionale (2010-2023)

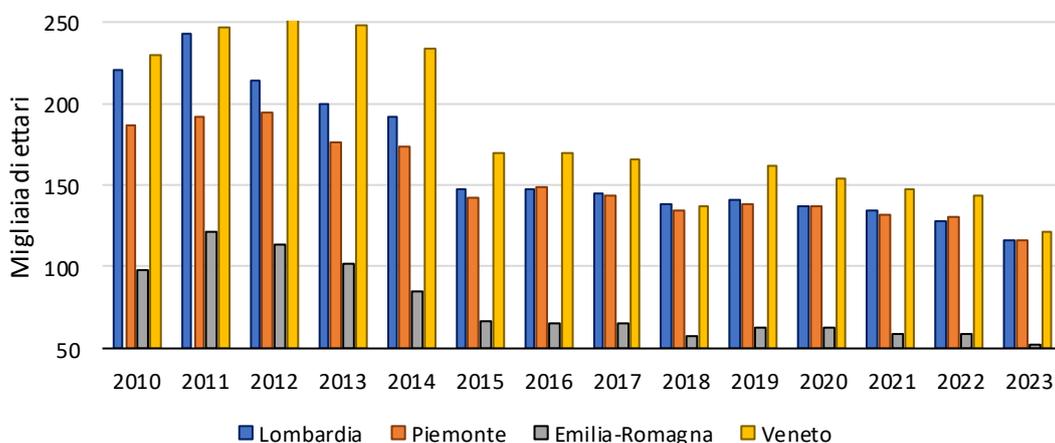


Figura 15, SAU annua media di mais divisa a livello regionale, nel periodo 2010-2023.

Un dato interessante è legato alla differenza tra la fisiologica riduzione della SAU totale e la ben più evidente riduzione della SAU coltivata a mais. Secondo i più recenti dati ISTAT la SAU nel Centro-Nord Italia è diminuita dell'1.5% (rispetto a una media nazionale del 2.5%), mentre nello stesso periodo la SAU coltivata a mais ha avuto riduzioni del 45% in Lombardia, del 26.5% in Piemonte, del 37% in Emilia – Romagna e del 33% in Veneto.

Le rese sono, nel periodo 2010-2023, mediamente di 94.80 q/ha. Il loro andamento è molto altalenante, come mostrato dalla figura 19, soprattutto nel 2022 (79.51 q/ha) dove la produzione è stata il 17.59% inferiore rispetto alla media. Tra le annate con maggiore resa ci sono il 2014 (109 q/ha) con un aumento del 12.98% e il 2020 (110.15 q/ha) con un aumento del 14.16%.

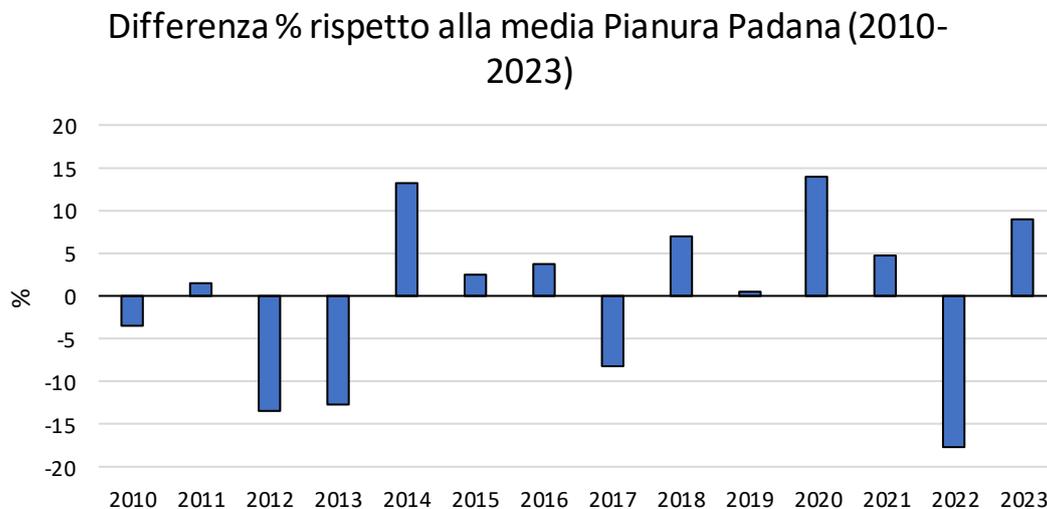


Figura 19, scostamento annuale della resa di mais, rispetto alla media del periodo 2010-2023.

La figura 20 mostra che la Lombardia risulta essere la regione con la resa maggiore (99.68 q/ha). Va però notato il dato estremamente negativo della Provincia di Monza e Brianza che raggiunge valori mediamente inferiori del 50% rispetto alla media lombarda, e i valori molto negativi delle province di Como e Lecco, circa il 30% inferiori della media regionale; escludendo queste province dalla media la resa media aumenta di circa 11 q/ha. Mediante il calcolo della differenza minima significativa si è infatti rilevato che le province di Como e Lecco siano significativamente meno produttive di tutte le altre e a sua volta lo è anche la provincia di Monza e Brianza. Seguono Veneto e Piemonte (99.29 q/ha e 94.01 q/ha). Anche in questo caso una provincia è significativamente meno

produttiva di tutte le altre (-24 %), si tratta di Asti che abbassa la media regionale di circa 3 q/ha. Più staccata è l'Emilia – Romagna (91.21 q/ha). In Quest'ultima regione le province di Rimini e Forlì-Cesena mostrano un distacco di circa il 25% rispetto alla media regionale; anche in questo caso la loro resa è statisticamente differente rispetto a quella di tutte le altre province della regione. Data la limitata estensione di SAU coltivata a mais nelle province di Monza e Brianza, Lecco, Como, Forlì-Cesena e Rimini e il loro impatto molto importante sulle rese medie si è deciso di escluderle dal grafico X per dare un'immagine maggiormente rappresentativa della realtà.

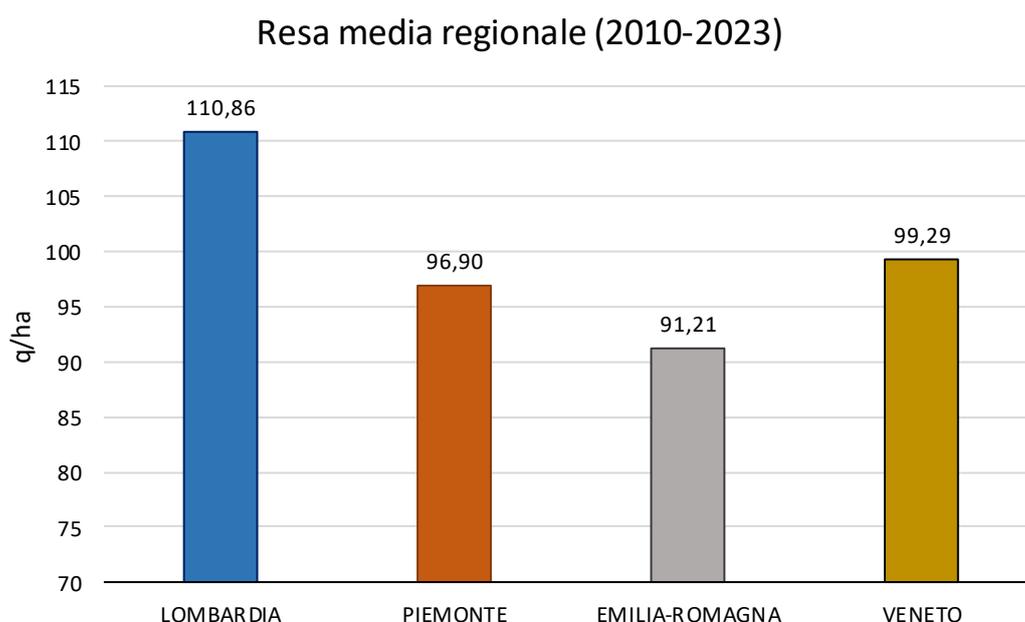


Figura 16, resa di mais a livello regionale, nel periodo 2010-2023.

4.1.3 RISO

Il riso, pur restando una coltura tipica e diffusa nel Centro-Nord Italia, non è coltivato in tutte le province oggetto dello studio. Le province interessate da questa coltivazione sono: Milano, Pavia, Mantova e Lodi in Lombardia; Novara, Cuneo, Alessandria, Torino, Vercelli e Biella in Piemonte; Modena, Bologna e Ferrara in Emilia – Romagna; Verona, Vicenza, Venezia, Padova e Rovigo in Veneto. I dati più recenti disponibili in questo caso sono del 2022, quindi il periodo di analisi è 2010-2022. Come mostrato nella figura 21 Veneto e Lombardia sono le regioni con maggiore SAU con rispettivamente 27.932,46

ettari e 24.305,88 ettari. Emilia – Romagna e Veneto invece hanno una superficie molto più ridotta, attestandosi rispettivamente a 2356,38 ettari e 715,32 ettari. Le province con maggiore estensione sono Pavia (80.842,62 ettari), Vercelli (70.309,42 ettari) e Novara (33.236 ettari) che insieme coprono il 93.5% della SAU totale.

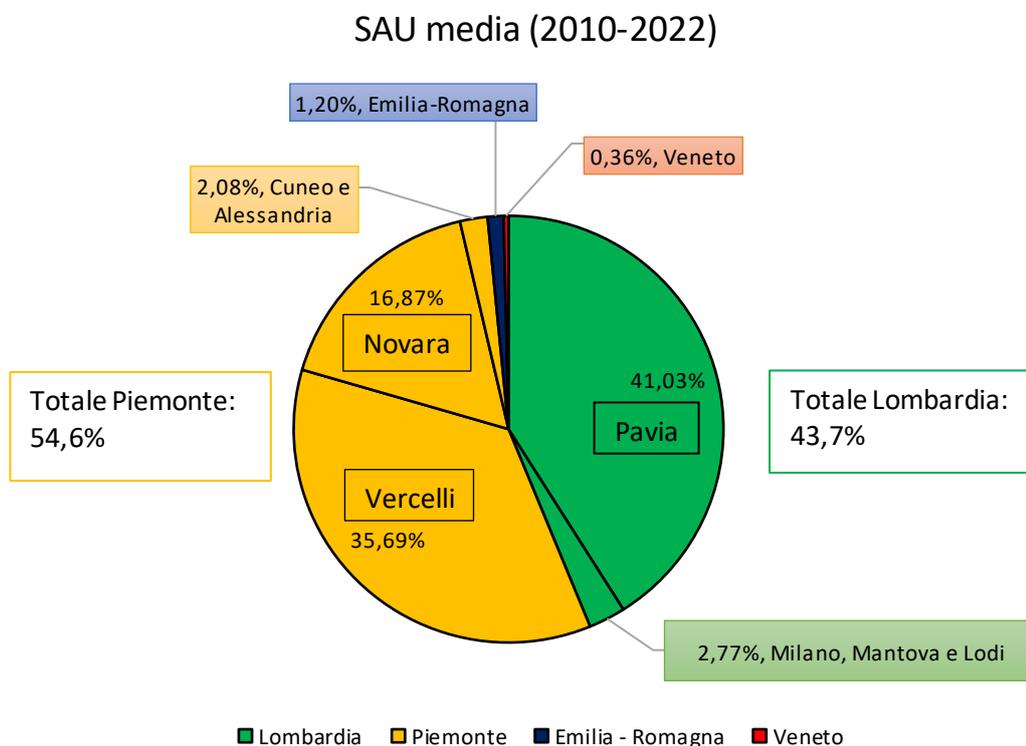


Figura 17, distribuzione della SAU di riso a livello regionale, nel periodo 2010-2022, in giallo il Piemonte evidenziando le province di Novara e Vercelli; in verde la Lombardia con evidenziazione della provincia di Pavia; in blu l’Emilia - Romagna; in rosso il Veneto.

In totale la SAU media tra il 2010 e il 2022 è di 13.827,51 ettari, il valore minimo è stato raggiunto nel 2015 (13.081 ettari), mentre il valore massimo nel 2010 (15.074 ettari). La tendenza sembra mostrare una SAU costante, in generale ci si discosta dalla media di pochi punti percentuali, come mostrato nella figura 22. Considerando le due regioni più influenti, il Piemonte risulta piuttosto costante mentre la Lombardia ha una leggera flessione tra il 2012 e il 2015, come mostrato nella figura 23.

SAU media annua Pianura Padana (2010-2022)

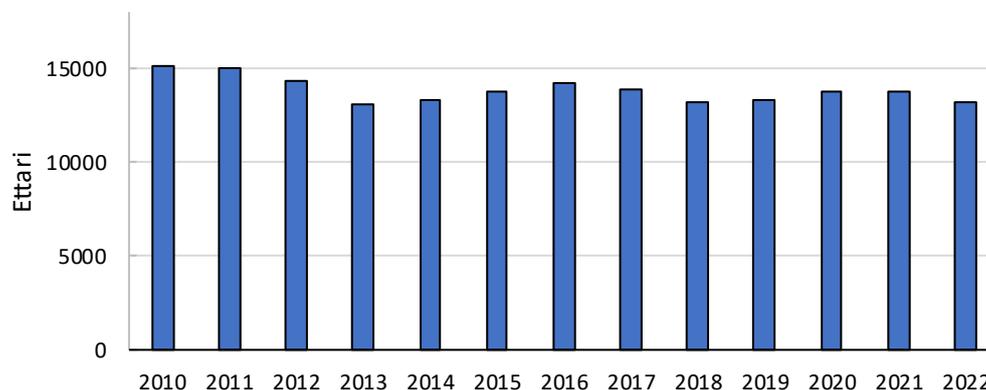


Figura 18, SAU annua media di riso in Pianura Padana.

SAU annua Lombardia e Piemonte (2010-2022)

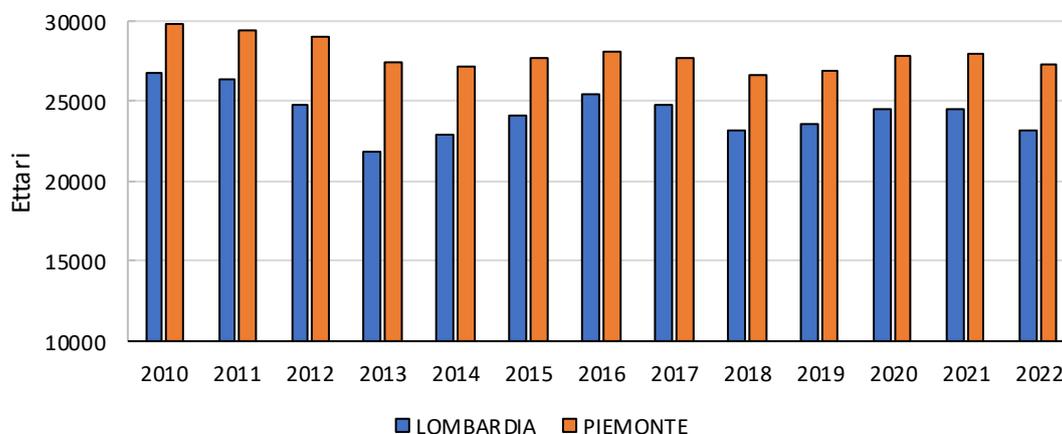


Figura 19, SAU annua media di riso divisa tra Lombardia e Piemonte.

La resa media nel periodo 2010-2022, nelle province considerate, è di 59.70 q/ha. Come mostrato dalla figura 24 il Piemonte è la regione maggiormente produttiva con 67.01 q/ha, seguono Emilia – Romagna e Lombardia con rispettivamente 59.32 q/ha e 58.49 q/ha, mentre il Veneto è più staccato, con 53.97 q/ha. Volgendo lo sguardo alle sole province di Pavia, Vercelli e Novara, che come visto rappresentano oltre il 90% della SAU risicola della Pianura Padana, la resa media si attesta a 67.02 q/ha.

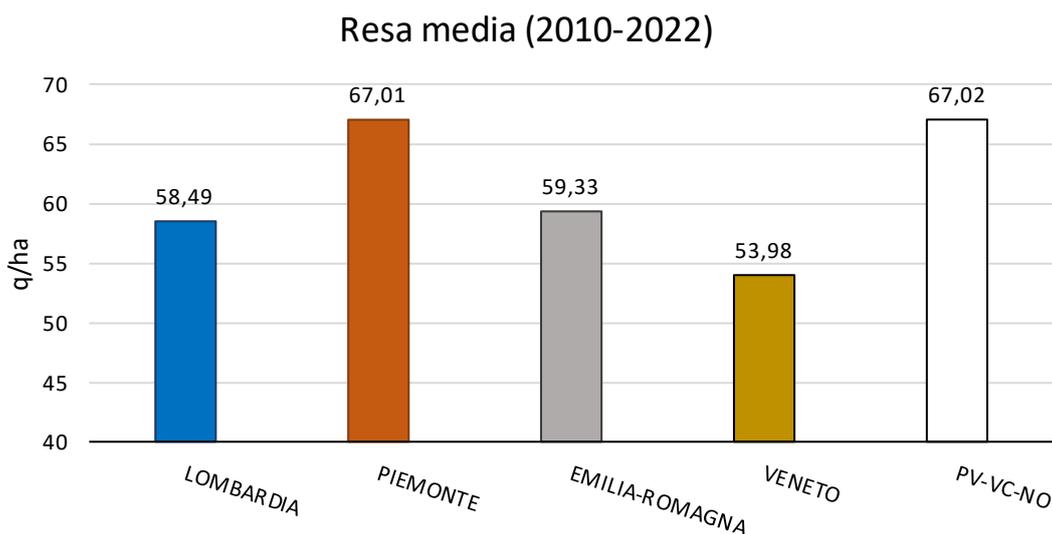


Figura 20, resa media di riso, nel periodo 2010-2022, a livello regionale e focus sulle province di Pavia, Vercelli e Novara.

Le annate più produttive sono concentrate tra il 2011 e il 2014 a seconda della regione considerata, a livello complessivo, l'annata migliore è stata il 2012. In generale gli scostamenti rispetto alla media, a livello padano, sono contenuti entro il $\pm 5\%$ escluso il 2022 che vede una riduzione del 15.52%; inoltre analizzando regione per regione si notano andamenti differenti, come evidenziato dalla figura 25. Piemonte e Lombardia, fino al 2021 hanno dati sempre costanti che raramente (e nel caso di pochi decimali) si discostano dalla media del $\pm 5\%$. L'Emilia – Romagna ha un andamento più frastagliato con alcuni picchi nel 2013 e nel 2014 e una diminuzione costante a partire dal 2019. Il Veneto ha invece un importante picco nel 2021 (+18%), per il restante periodo l'andamento è piuttosto altalenante. Tutte le regioni mostrano importanti riduzioni di produzione nel 2022, mediamente un calo del 17.72%. Volgendo lo sguardo alle 3 province più produttive gli scostamenti sono sempre vicini al $\pm 5\%$ e confermano la tendenza negativa del 2022; seppur Vercelli perda molto poco (-3.69%) sia rispetto alle medie regionali che rispetto a Novara (-12.45%) e Pavia (-25.43%).

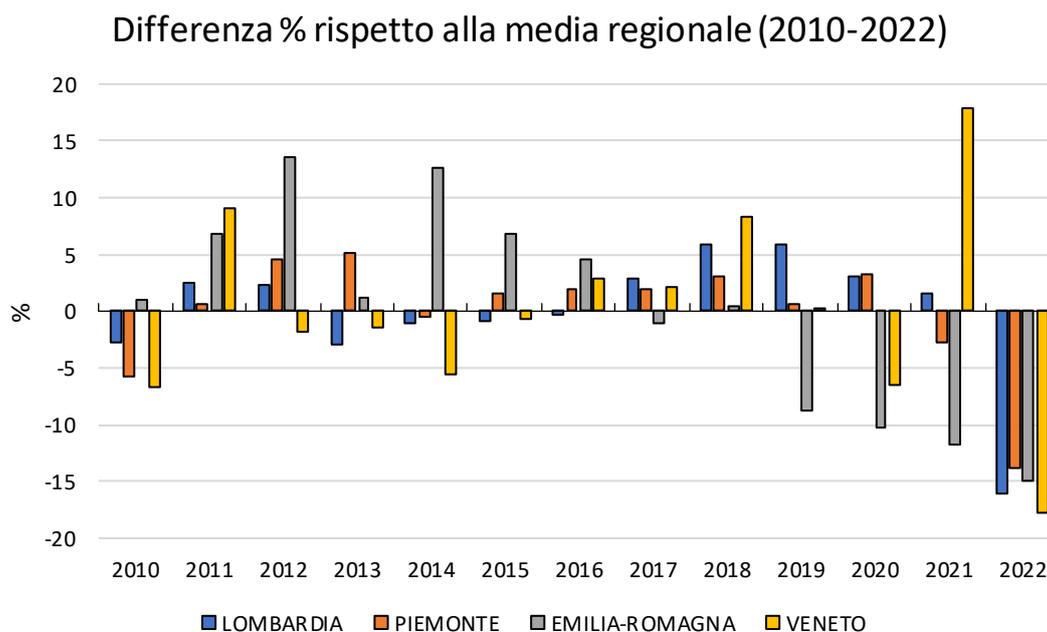


Figura 21, scostamento delle rese annue, a livello regionale, rispetto alla media del periodo 2010-2022.

4.2 CORRELAZIONI

Le tre colture oggetto dello studio dimostrano comportamenti piuttosto diversi in relazione alle precipitazioni. Nel frumento le correlazioni più significative ed evidenti sono negative, ciò significa che maggiori sono le precipitazioni minore è la resa. Al contrario il mais giova delle precipitazioni, mostra infatti diverse correlazioni positive con buon grado di significatività. Infine il riso non mostra evidenze di rapporti tra le precipitazioni e la resa, tuttavia, in alcune province, ci sono importanti significatività tra resa e SAU coltivata a riso. Di seguito verranno illustrati i risultati nel dettaglio.

Con riferimento al frumento tenero, un terzo delle province oggetto dello studio presenta correlazioni significative, tra resa e precipitazioni, in almeno uno dei due periodi considerati, come mostrato nella tabella 5. Si tratta prevalentemente di province lombarde e romagnole, solo una piemontese e nessuna veneta.

Province	Correlazione ottobre - giugno		Correlazione marzo - aprile	
Pavia	-0,45777	NS	-0,60999	*
Mantova	-0,64587	*	-0,38966	NS
Lodi	-0,79133	**	-0,56952	*
Bergamo	-0,54758	NS	-0,72137	**
Cremona	-0,48482	NS	-0,6826	*
Novara	-0,59578	*	-0,42304	NS
Piacenza	-0,65376	**	-0,36216	NS
Bologna	-0,5296	NS	-0,68199	**
Ravenna	-0,64399	*	-0,40919	*
Forlì – Cesena	-0,85964	**	-0,62292	**
Rimini	-0,84483	**	-0,78632	**

Tabella 5, correlazioni tra precipitazioni cumulate, nei periodi indicati, e resa del frumento tenero nelle province con maggiore significatività. NS = non significativo; * = significatività superiore al 95%; ** = significatività superiore al 99%.

Le province di Forlì – Cesena e Rimini mostrano un'elevata sensibilità alle precipitazioni sia nel periodo ottobre – giugno che nel periodo marzo – aprile. Casi particolari sono rappresentati da Bergamo e Bologna che vedono elevata significatività nel periodo marzo – aprile mentre non è significativo il periodo ottobre giugno; Piacenza ha invece il comportamento opposto.

Per quanto riguarda le correlazioni tra SAU e precipitazioni queste sono molto più deboli e con minori livelli di significatività

Con riferimento al mais, le rese risultano correlate alle precipitazioni con significatività, anche importanti, soprattutto in Emilia – Romagna e Veneto, come mostrato nella tabella 6. Questo dato risulta coerente con quello riguardante la SAU di mais soggetta ad irrigazione, infatti Lombardia e Piemonte sono le regioni dove è irrigata la percentuale maggiore di SAU coltivata a mais; mentre Emilia – Romagna e Veneto sono maggiormente in difficoltà da questo punto di vista. Va notato come le correlazioni del periodo maggio – settembre, nonostante superino spesso il valore di 0.5, raramente risultano significative, mentre nel periodo giugno – luglio i livelli di significatività sono

molto elevati. Questo dato è sintomo della fragilità della coltura nel periodo tardo primaverile/estivo agli stress idrici.

Province	Correlazione maggio - settembre		Correlazione giugno - luglio	
Milano	0,284683	NS	0,57447	*
Brescia	0,282763	NS	0,635558	**
Reggio nell'Emilia	0,433468	NS	0,564672	*
Modena	0,17456	NS	0,669817	**
Bologna	0,029719	NS	0,652424	**
Ferrara	0,14884	NS	0,73484	**
Ravenna	0,597768	*	0,538418	NS
Forlì – Cesena	0,612436	**	0,517801	NS
Verona	0,536049	NS	0,701	NS
Vicenza	0,077049	NS	0,5604	*
Treviso	0,553178	NS	0,793535	**
Venezia	0,51059	NS	0,652921	*
Padova	0,437436	NS	0,70649	**
Rovigo	0,337506	NS	0,667174	**

Tabella 6, correlazioni tra precipitazioni cumulate, nei periodi indicati, e resa del mais nelle province con maggiore significatività. NS = non significativo; * = significatività superiore al 95%; ** = significatività superiore al 99%.

Ravenna e Forlì – Cesena rappresentano le uniche eccezioni per le quali la correlazione è maggiore e più significativa nel periodo maggio – settembre, rispetto al periodo giugno – luglio. Verona è un caso particolare in quanto la correlazione di 0.70 del periodo giugno – luglio, nonostante sia elevata, risulta non significativa.

Benché le correlazioni tra SAU e precipitazioni siano prevalentemente positive, queste risultano significative solo nelle province di Cremona e Forlì – Cesena.

Un dettaglio da evidenziare è la netta decrescita della SAU coltivata a mais nel Centro-Nord Italia come visibile nelle figure 17 e 18. Le evidenti correlazioni tra resa di mais e precipitazioni, in accordo con la letteratura (Santeramo e Maccarone, 2022), dipingono uno scenario in cui la coltivazione del mais sarà sempre più difficoltosa in assenza di interventi strutturali (impianti irrigui e bacini di raccolta delle acque meteoriche).

Da ultimo, sebbene il riso sia una coltura estremamente legata all'acqua, dall'analisi delle correlazioni tra resa e precipitazioni, è emerso che quest'ultime non rappresentano un fattore limitante. Le risaie vengono infatti allagate all'inizio della primavera e lo rimangono generalmente fino alla fioritura. È quindi importante la disponibilità idrica nel mese di marzo. Questa non viene garantita dalle piogge, bensì dai corpi idrici che a loro volta ricevono acqua dalla fusione delle nevi alpine. Assume quindi rilevante importanza l'andamento della stagione invernale antecedente all'annata produttiva. La figura 26 mostra come la scarsità di precipitazioni del 2022 non sia un evento isolato, infatti anche il 2015 e il 2017 sono stati anni molto secchi ma la resa di riso ne ha risentito solo nell'annata 2022. Infatti, secondo i report di Aineva e Nimbus (2023) l'inverno 2021-2022 è stato tra i più secchi nelle Alpi italiane con una riduzione della copertura nevosa del 30%.

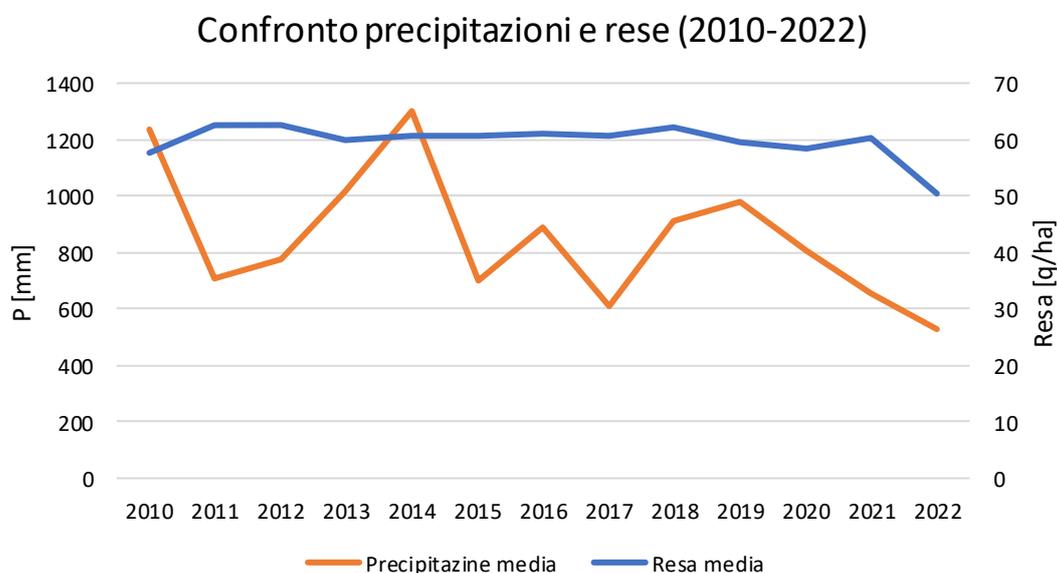


Figura 22, confronto tra le rese medie di riso e le precipitazioni medie a livello annuale nel periodo 2010-2022

Una recente tendenza è la coltivazione del riso in semi-asciutta. Questa pratica, unita al progresso tecnologico degli ibridi, sempre più resistenti agli sbalzi termici, e a prodotti anti-infestanti sempre più efficaci, può risolvere il problema dell'approvvigionamento idrico (Ente Nazionale Risi, 2022). Inoltre la coltivazione in semi-asciutta risulta più semplice e richiede macchinari meno complessi.

Nel 2022 la resa media in Pianura Padana è calata del 15.5%. Tra le province maggiormente interessate alla produzione di riso Pavia è quella che ha subito il calo maggiore con una riduzione delle rese di oltre il 25%. Novara ha invece registrato un calo del 12.5%. Altre due province importanti come Vercelli e Alessandria hanno subito meno cali nelle rese con rispettivamente il 3.7% e il 6.7%. I dati di Enteriso (2022) mostrano come proprio il Piemonte sia la regione dove la semi-sommersione si sta diffondendo maggiormente. Le province risicole più importanti della pianura orientale sono invece Verona e Mantova, anche in questo caso il 2022 non ha avuto un impatto eccessivamente negativo; Verona ha registrato un calo nelle rese del 5.3%, mentre a Mantova la resa è stata addirittura dello 0.64% oltre la media.

I dati mostrano importanti correlazioni tra resa e SAU coltivata a riso nelle province di Ferrara, Verona, Venezia e Rovigo, con significatività anche elevate, come mostrato nella tabella 7.

Province	Correlazione SAU - Resa	
Ferrara	0,665496	*
Verona	0,71415	**
Venezia	-0,63856	**
Rovigo	0,699578	**

Tabella 7, correlazioni tra resa di riso e SAU coltivata a riso, nelle province con maggiore significatività, * = significativo; ** = altamente significativo.

Venezia risulta essere l'unica provincia tra le quattro in cui all'aumentare della resa diminuisce la SAU coltivata a riso.

4.3 PERICOLO, ESPOSIZIONE E VULNERABILITÀ: MAIS

Con riferimento ai dati riconducibili a pericolo ed esposizione, e potendo stimare alcuni dati relativi alla vulnerabilità, è stato possibile realizzare le figure 27, 28 e 29. La figura 27 considera solamente pericolo ed esposizione, mostrando come sarebbe la situazione in assenza di interventi che possono incidere sulla vulnerabilità. La figura 28 mostra invece la vulnerabilità. Infine la figura 29 deriva dall'unione delle due precedenti, si tratta

di una mappa di rischio indicativa della situazione riguardante la coltivazione del mais nel Centro-Nord Italia.

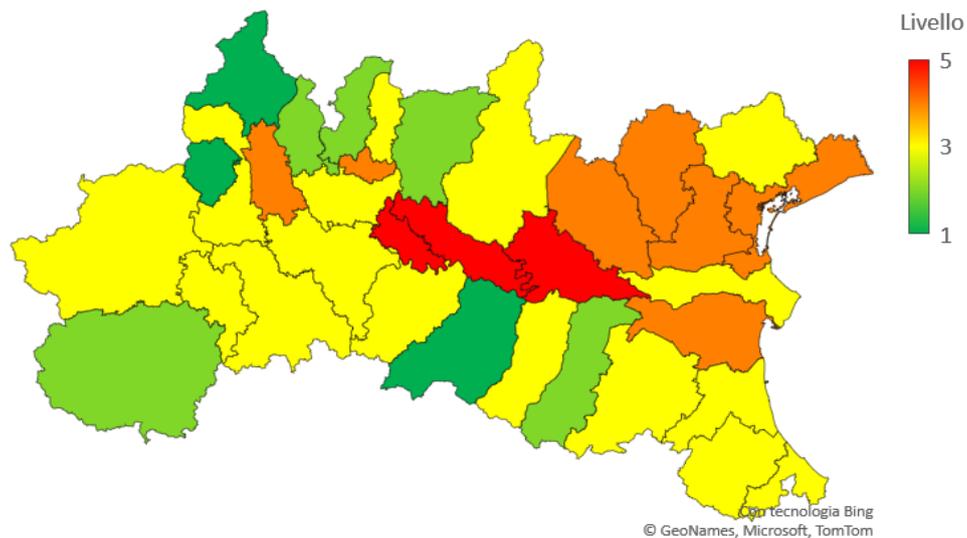


Figura 27, combinazione dei valori di pericolo ed esposizione della SAU coltivata a mais.

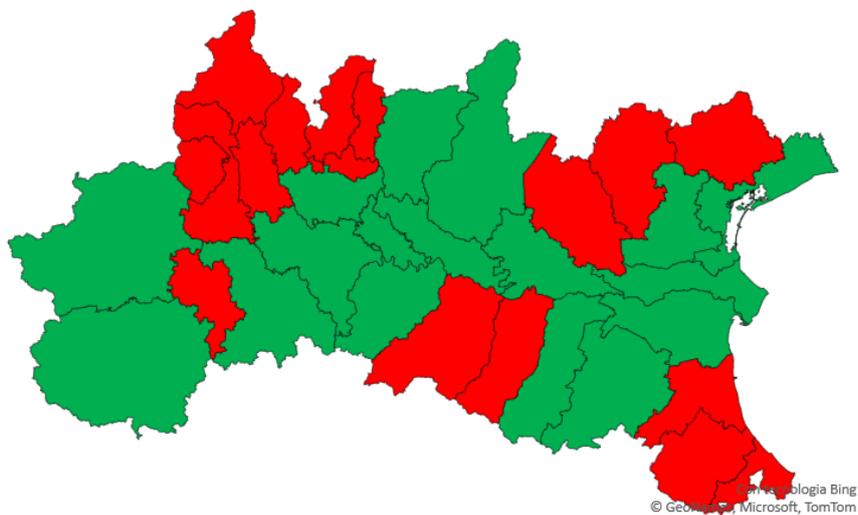


Figura 28, vulnerabilità della SAU coltivata a mais, in rosso le regioni maggiormente vulnerabili, in verde quelle meno vulnerabili.

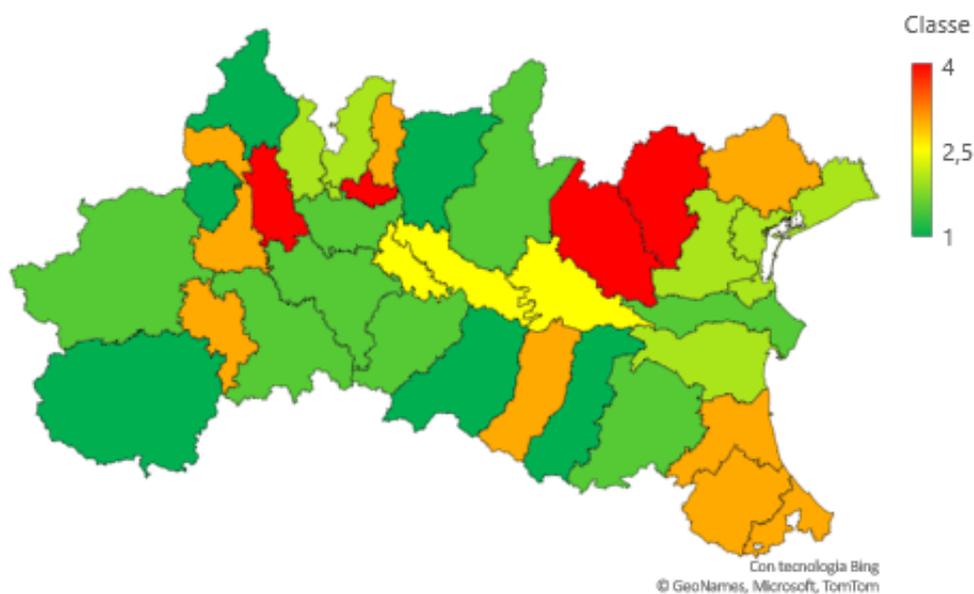


Figura 29, mappa di rischio derivante dalla combinazione di esposizione, pericolo e vulnerabilità della SAU coltivata a mais.

Lo scopo di queste mappe non è mostrare le province maggiormente influenzate dai cambiamenti climatici ma fornire una visuale sul rischio legato alla coltivazione del mais in ottica futura in relazione all’impatto che potrà esserci sulle rese. La valutazione del rischio è stata redatta in base a 3 fattori:

- Pericolo, considerando la deviazione standard delle precipitazioni nel periodo 2010-2022, nei mesi di giugno e luglio. Come visto nel paragrafo 4.1.2 la resa del mais ha una buona correlazione positiva con le precipitazioni. Di conseguenza a maggiori precipitazioni è associata maggiore resa e quindi minore pericolo.
- Esposizione, corrisponde alla percentuale di SAU coltivata a mais in ogni provincia. Le province in cui la percentuale di SAU coltivata a mais è maggiore sono le più esposte.
- Vulnerabilità, corrisponde alla percentuale di SAU coltivata a mais che viene irrigata. Maggiore è la percentuale di SAU coltivata a mais irrigata, minore è la vulnerabilità della provincia. La vulnerabilità incide particolarmente, infatti se la provincia ha bassa vulnerabilità il suo punteggio di rischio viene dimezzato.

Questi tre fattori sono stati combinati come già mostrato nella tabella 3, al paragrafo 3.2.4. Il punteggio massimo ottenibile per ogni provincia è 5 e corrisponde al rischio

estremo mentre il punteggio minimo è 1 e corrisponde a rischio molto basso. Questi valori vanno considerati solamente all'interno dell'areale oggetto dello studio e sono relativi solamente alle colture trattate. Nessuna provincia ha raggiunto il livello di rischio massimo (5), così come nessuna ha raggiunto il minimo (0.5). Il minimo raggiunto è stato il livello 1 in sei province, mentre il massimo è stato il livello 4 in quattro province.

Due delle province sottoposte a maggiore rischio si trovano in Veneto, sono Verona e Vicenza, entrambe a livello di rischio 4. La provincia di Verona risulta sia tra le più vulnerabili che tra quelle dove il pericolo è maggiore, mentre l'esposizione è media. La provincia di Vicenza figura tra le maggiormente esposte e vulnerabili, mentre il pericolo, in questo caso, è medio. Tuttavia, al momento, il rischio non si è concretizzato infatti entrambe le province non mostrano differenze significative nelle rese rispetto alle province di Venezia e Padova. La provincia di Treviso invece ha una resa significativamente maggiore di tutte le altre province Venete, nonostante la sua classe di rischio sia 3, ciò è dovuto all'alta esposizione e all'alta vulnerabilità, mentre il pericolo è tra i più bassi.

In Lombardia le province di Monza e Brianza e Lecco sono quelle con i livelli di rischio più elevati, in particolare Monza e Brianza raggiunge il livello 4, mentre Lecco il livello 3. Il risultato di Monza e Brianza è dovuto all'elevata esposizione e all'elevata vulnerabilità, è infatti la provincia lombarda in cui la SAU coltivata a mais è meno irrigata dopo le sole Como e Lecco; il pericolo è invece medio. La provincia di Lecco come detto ha elevata vulnerabilità, a cui si aggiunge l'elevato pericolo, l'esposizione è però bassa. In Lombardia anche le province di Mantova, Cremona e Lodi destano l'attenzione, tutte con livello di rischio 2.5. Ad accumunarle ulteriormente è il fatto che tutte abbiano alta esposizione e alto pericolo, il che deve destare preoccupazione, ma grazie alla bassa vulnerabilità il loro livello di rischio, da un potenziale 5, viene dimezzato a 2.5. Queste tre province occupano infatti il primo, terzo e quarto posto tra le province in cui la SAU coltivata a mais è maggiormente irrigata. Questo dato deve portare a una riflessione legata ai maggiori costi che potrebbero incorrere qualora fosse necessario irrigare più del consueto per mantenere livelli di resa accettabili. Cremona e Mantova, secondo i dati ricavati dall'ISTAT, sono tra le province nazionali più produttive e tra quelle con maggiore

SAU dedicata al mais. Un'altra provincia molto importante da questo punto di vista è Brescia dove però risulta elevata solo l'esposizione, mentre pericolo e vulnerabilità sono bassi, conferendole un punteggio di rischio di 1.5.

Spostandosi a sud si nota come la Romagna sia maggiormente a rischio rispetto all'Emilia, soprattutto nella parte più meridionale della regione. Le province di Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini condividono il livello di rischio 3, a queste si aggiunge quella emiliana di Reggio nell'Emilia. Tutte hanno bassa esposizione mentre risultano elevati pericolo e vulnerabilità. Le rese di Forlì-Cesena e Rimini risultano statisticamente più basse di quelle di tutte le altre province; Reggio nell'Emilia è invece perfettamente nella media regionale, mentre Ravenna risulta sotto la media ma senza differenze statisticamente significative. Le province di Piacenza e Modena sono le più produttive con Piacenza statisticamente più produttiva rispetto a tutte le altre province tranne Modena; entrambe hanno livelli bassi di rischio (1.5 e 1).

Infine, in Piemonte, troviamo l'ultima provincia tra le quattro che hanno raggiunto il livello di rischio più alto: Novara. Questo dato è la risultante di un'esposizione media ma di un pericolo e una vulnerabilità elevati. Altre due province con livello di rischio importante sono Vercelli ed Asti che si attestano a livello 3. Entrambe le province hanno livelli di esposizione e pericolo medi ma la vulnerabilità è elevata. La provincia più produttiva è Torino con livelli di resa significativamente maggiori di tutte le altre, ha elevata esposizione ma grazie a un basso pericolo e una bassa vulnerabilità il suo livello di rischio è 1.5. Cuneo è la seconda provincia più produttiva ma senza differenze significative rispetto alle altre più (ad eccezione di Verbano-Cusio-Ossola, Alessandria e Asti) e ha il livello di rischio più basso.

È interessante notare che su 12 province indicate con elevata esposizione, 9 presentano invece bassa vulnerabilità. Questo può essere un indice che mostra come le aziende siano consapevoli del rischio e si tutelino di conseguenza. Solo le province di Monza e Brianza, Treviso e Vicenza hanno sia elevato livello di esposizione che di vulnerabilità ma non raggiungono in nessun caso il livello elevato di pericolo. Per questo motivo il livello massimo di rischio teoricamente raggiungibile non si verifica mai.

4.4 PERICOLO ED ESPOSIZIONE: FRUMENTO

A differenza del mais, per il frumento, non è stato possibile realizzare una mappa di rischio completa, data la mancanza di dati rilevabili ed ordinabili riguardanti la vulnerabilità. La figura 30 mostra quindi la combinazione di esposizione e pericolo nelle diverse province oggetto dello studio. La vulnerabilità potrà essere valutata in dettaglio conoscendo le caratteristiche dell'azienda interessata.

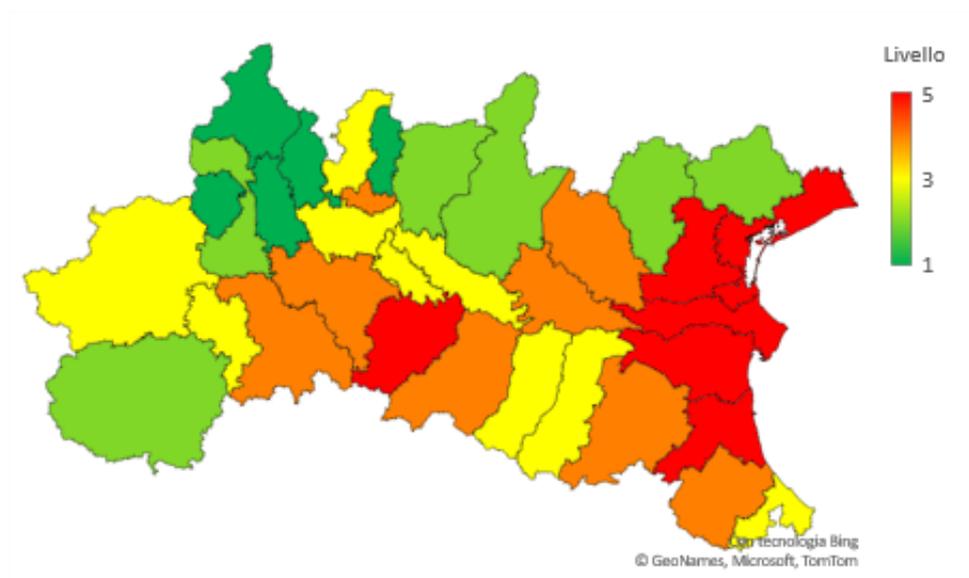


Figura 23, combinazione di esposizione e pericolo per il frumento.

Anche in questo caso i fattori valutati per la composizione delle mappe sono:

- Pericolo, come per il mais, corrisponde alla deviazione standard delle precipitazioni nel periodo 2010-2022, ma i mesi presi in considerazione sono marzo e aprile. Al contrario del mais la correlazione tra resa del frumento e precipitazioni è negativa, quindi più queste sono concentrate maggiore è il pericolo. Questa valutazione è basata sul fatto che le precipitazioni, soprattutto nel periodo primaverile considerato, possono essere quantitativamente importanti e associate a fenomeni temporaleschi causando così fenomeni di allettamento.
- Esposizione, come per il mais, corrisponde alla SAU coltivata a frumento rispetto alla SAU totale della provincia.

Balza all'occhio la differenza tra la zona orientale e quella occidentale. I valori di esposizione e pericolo maggiori si riscontrano infatti sulla costa Adriatica, tra il Veneto e la Romagna. Le province di Ravenna, Ferrara, Rovigo, Venezia e Padova si distinguono per avere tutte elevata esposizione ed essere soggette ad elevato pericolo raggiungendo il livello 5. L'altra provincia che raggiunge il livello massimo si trova in Emilia e corrisponde a Piacenza.

Modena è la provincia dell'Emilia – Romagna con resa significativamente maggiore di tutte le altre e registra alta esposizione e basso pericolo. Forlì-Cesena e Rimini, entrambe con alta esposizione ma la prima con medio pericolo e la seconda con basso pericolo, risultano le province significativamente meno produttive rispetto a tutte le altre.

In Veneto la provincia significativamente più produttiva delle altre è Venezia, che come visto è molto esposta e ha elevato pericolo, per le altre province è difficile individuare differenze significative di resa.

In Lombardia sono Mantova, Pavia e Monza e Brianza a raggiungere il livello maggiore della regione (4), mentre nel settore nord-occidentale le province di Varese e Lecco si attestano al livello minimo (1). A livello di rese in Lombardia si nota scarsa variabilità. Le province con resa significativamente maggiore delle altre sono Cremona, Brescia, Mantova e Lodi; mentre quelle significativamente meno produttive sono Como, Lecco e Monza e Brianza.

In Piemonte si notano chiaramente i bassi livelli raggiunti nel nord della regione per via dei livelli bassi di esposizione e pericolo, tranne Vercelli il cui rischio è medio. Come già detto la provincia di Verbano-Cusio-Ossola ha una resa nettamente più bassa delle altre e influenza il calcolo della differenza minima significativa (aumenta molto la varianza) ponendo le altre province sullo stesso livello. Escludendo quindi Verbano-Cusio-Ossola, le Province di Torino e Cuneo sono quelle con resa significativamente maggiore; Torino risulta mediamente esposta e con livello medio di pericolo mentre Cuneo è anch'essa mediamente esposta ma con basso livello di pericolo. A risultare la significativamente meno produttiva è invece Asti che vede elevata esposizione e basso rischio.

4.5 FOCUS SICCIÀ E RESE: 2022 ANNO RECORD

Abbiamo visto come, in diversi casi, le scarse precipitazioni hanno un'influenza sulle rese, sia questa positiva o negativa. Anche in letteratura si trovano molte evidenze che relazionano le precipitazioni con le rese. Ciò è particolarmente evidente nel caso dell'annata 2022, un'annata nella quale diverse colture hanno subito importanti cali di resa. Tra queste sono presenti anche il mais e il riso, mentre il frumento tenero non ne è stato influenzato.

Il 2022 è stato l'anno meno piovoso dal 1961 nel Nord Italia e in particolare in Pianura Padana (ISPRA, 2023). Che l'Italia sia un hotspot per lo studio dei cambiamenti climatici è un fatto già appurato, infatti un importante studio di Montanari, Nguyen *et al.* (2023) sulla situazione del Po durante il 2022 ha coinvolto, oltre che le università di Bologna e Venezia, ricercatori della Columbia University (USA), Singapore University of Technology and Design e Alfred Wegener Institute (Germania). Il dato più eclatante elaborato dallo studio riguarda il livello idrologico del fiume Po, il più basso mai registrato dal 1807, minore del 30% rispetto al secondo peggior dato mai registrato. Due elementi chiave per la comprensione di questo fenomeno sono il cambiamento climatico e le esigenze dell'agricoltura (Montanari, Nguyen *et al.*, 2023). Dallo studio emerge come questi periodi di prolungata siccità siano sempre più frequenti e quindi più probabili in futuro. Una situazione di questo tipo causa un maggior prelievo di acqua dai corpi idrici da parte dell'agricoltura. Ciò rischia di innescare un circolo vizioso in cui il livello dei corpi idrici è sempre più basso e i prelievi agricoli da essi sempre più elevati (Montanari, Nguyen *et al.*, 2023).

Per avere un quadro chiaro della situazione alla quale è stata sottoposta l'agricoltura nel 2022 è necessario considerare anche l'ultimo trimestre del 2021, poiché l'annata agraria non coincide con l'anno solare. Non avere adeguati accumuli idrici nell'anno precedente significa iniziare l'anno nuovo già in una situazione emergenziale. La figura 31 mostra lo scostamento percentuale del 2021-2022 rispetto alla media 2010-2023.

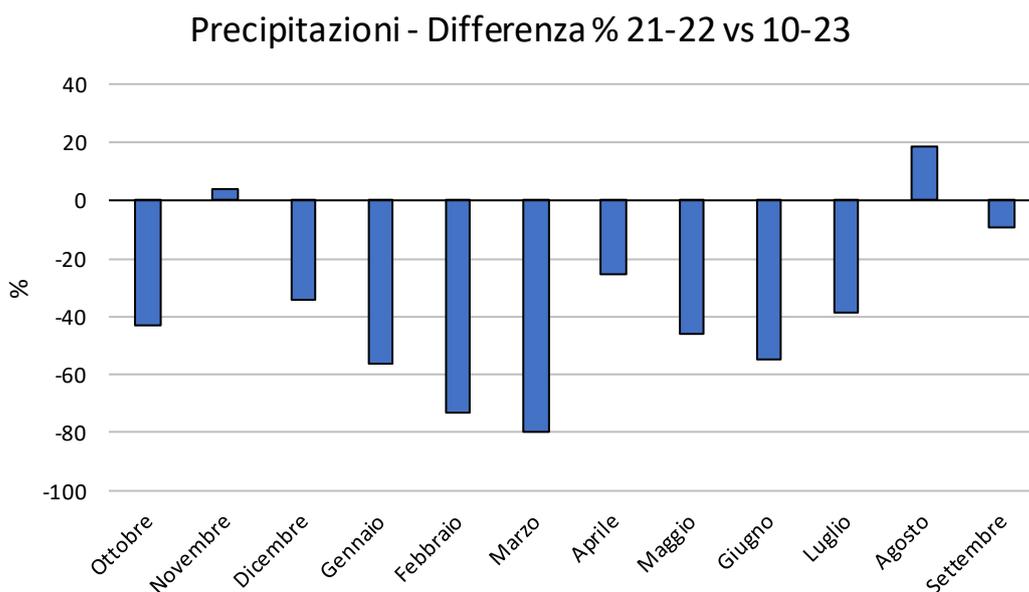


Figura 24, differenza percentuale relativa alla precipitazione nei mesi da ottobre a settembre (2021-2022), rispetto alla media storica (2010-2023).

La fine del 2021 è stata caratterizzata dai mesi di ottobre e dicembre piuttosto secchi mentre novembre è stato nella media del periodo. La positività di novembre è dovuta a +33 % che ha fatto registrare la Lombardia rispetto alla media del periodo, le piogge sono state distribuite in modo omogeneo lungo tutto il mese, senza far registrare fenomeni intensi nell'arco di pochi giorni. Nel 2022 la primavera è stata sicuramente la stagione più critica, marzo è il mese più emblematico avendo registrato un calo delle precipitazioni dell'80% rispetto alla media del periodo. Agosto 2022 sembrerebbe in controtendenza ma analizzando i dati nel dettaglio è stato fortemente influenzato dall'anomalia positiva dell'Emilia – Romagna dove è piovuto il doppio (+100%) rispetto alla media del periodo. Questa anomalia è data dalle province di Ferrara, Reggio nell'Emilia e Parma dove sono caduti rispettivamente 95 mm, 60.4 mm e 92.7 mm di pioggia tra il 18 e il 19 agosto. Questi veri e propri nubifragi, volgarmente detti bombe d'acqua, sono una fedele rappresentazione di come sta evolvendo il clima. Siamo sempre più spesso posti dinnanzi a lunghi periodi siccitosi compensati da, tanto brevi quanto intensi, periodi piovosi. La sezione dell'ARPA dell'Emilia – Romagna e la regione stessa confermano l'avvenimento di questa precipitazione a forte carattere temporalesco con grandinate, con chicchi localmente di grandi dimensioni, e forte intensità del vento, la cui eccezionalità è stata menzionata nel report mensile dell'ARPA. Si sono infine registrati

diversi danni sia ad attività economiche che immobili residenziali. Anche le zone centro-orientali della Lombardia hanno vissuto fenomeni simili nello stesso periodo seppur con minore intensità se non nelle zone di confine meridionali e a livello locale.

Il 2022 è stato un anno particolarmente critico dal punto di vista delle precipitazioni così come lo è stato anche per le rese di diverse colture. Come già ampiamente discusso, dal momento che il frumento tenero non è una coltura irrigua, la sua resa non è influenzata dall'ammontare delle precipitazioni. La figura 32 mostra infatti come il 2022 sia perfettamente in media rispetto alla media del periodo 2010-2023 mentre il 2021, nelle province oggetto dello studio, è stato un anno positivo con una resa media superiore del 13% rispetto alla media storica.

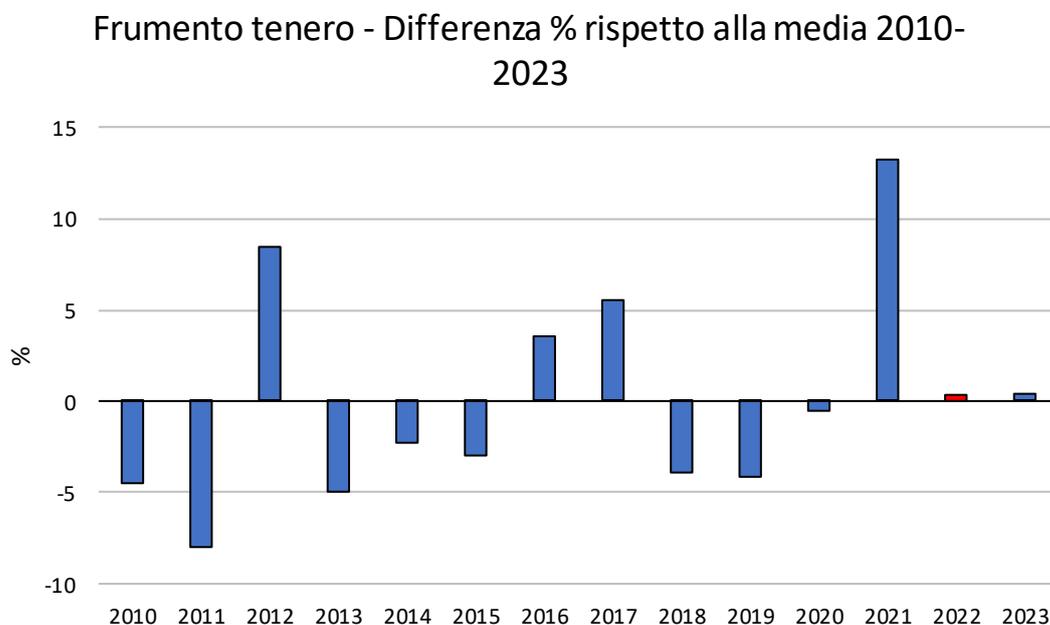


Figura 32, differenza percentuale delle rese annue di frumento rispetto alla resa media del periodo 2010-2023.

Per quanto riguarda il mais la figura 33 mostra il netto calo del 2022 rispetto alla resa media del periodo 2010-2023. È interessante notare come in generale la resa del mais sia incostante e altalenante. Questo risultato è in accordo con la letteratura che, come discusso in precedenza, ravvisa come colpevole della variabilità delle rese del mais il cambiamento climatico in atto.

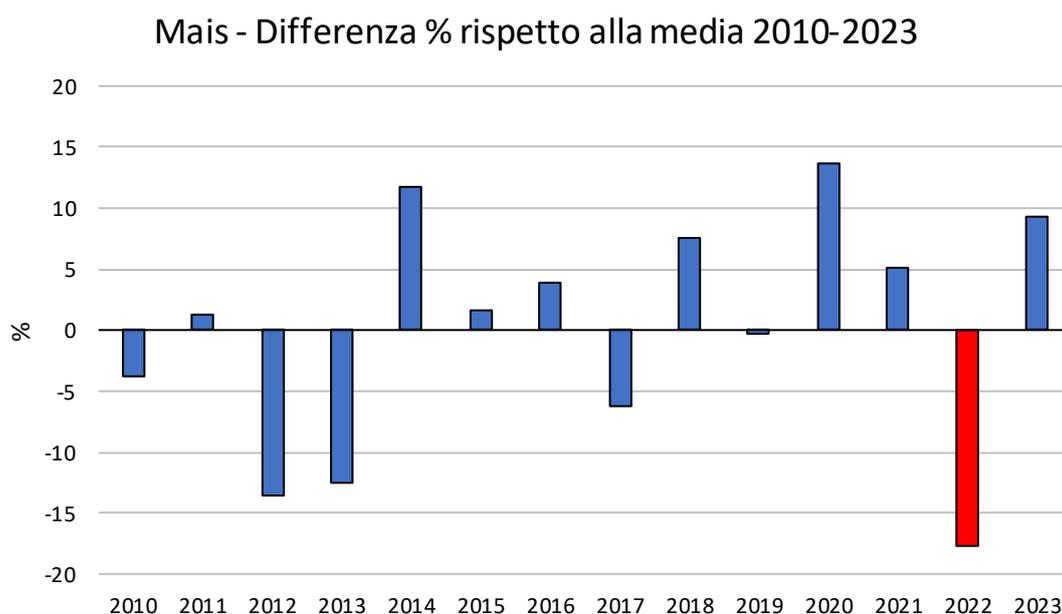


Figura 25, differenza percentuale delle rese annue di mais rispetto alla resa media del periodo 2010-2023.

Infine il riso necessita di un discorso a parte. È evidente come il 2022 sia un'annata negativa (figura 34), il riso sappiamo essere una coltura molto legata all'elemento acqua e abbiamo visto come il 2022 sia stato un anno molto severo dal punto di vista idrico. Addossare le colpe delle scarse rese esclusivamente all'andamento delle precipitazioni sarebbe però un errore. Questo studio ha evidenziato come non vi sia evidenza di correlazioni significative tra la resa del riso e le precipitazioni. Questo dato può essere spiegato con l'unione di diversi fenomeni. Innanzitutto la scarsità di acqua nel periodo primaverile può aver causato ritardi nelle semine o germinazioni non ottimali. Successivamente è importante ricordare che il riso ha una spiccata sensibilità alle temperature elevate. La loro analisi non è oggetto di questo studio ma il report ISPRA (2023) sul 2022 evidenzia come questo sia stato l'anno più caldo dal 1961 con marcate anomalie termiche soprattutto in estate (+ 2.18 °C rispetto alla media 1991-2020) e in particolare a giugno (+ 3.09 °C rispetto alla media 1991-2020). La fioritura è il momento in cui il riso è maggiormente sensibile e avviene nel periodo estivo, proprio quando si sono registrate le temperature record. Si può quindi concludere che la scarsa resa del riso nel 2022 sia da assoggettare a una serie di concause e non solamente alla scarsità delle precipitazioni.

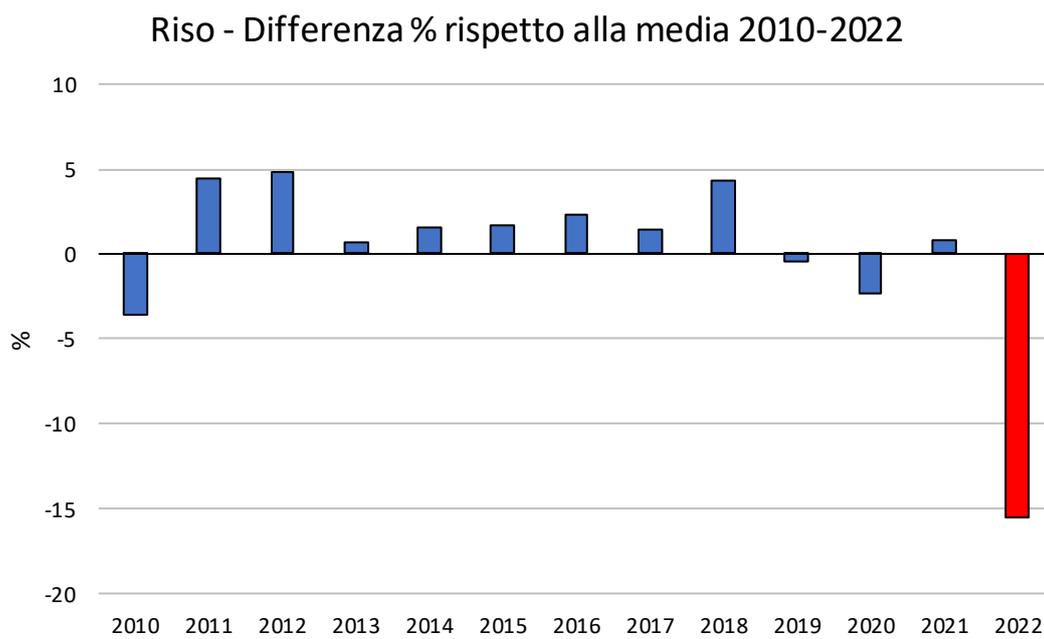


Figura 26, differenza percentuale delle rese annue di riso rispetto alla resa media del periodo 2010-2022.

5 CONCLUSIONI

L'interesse relativo agli impatti dei cambiamenti climatici in agricoltura è crescente nel corso degli ultimi anni. Lo scopo di questa ricerca è stato quello di analizzare, nel caso della Pianura Padana, il rapporto tra precipitazioni e rese di frumento tenero, mais e riso, ovvero le tre colture più importanti in quell'area.

In primo luogo, sono state analizzate le precipitazioni cumulate a livello annuale. Successivamente sono stati individuati alcuni sottoperiodi nei quali considerare le precipitazioni cumulate da correlare alla resa. Tali sottoperiodi variano a seconda della coltura considerata. Infine, sono state creati degli indicatori e delle mappe che mostrano l'esposizione, il pericolo, la vulnerabilità e la combinazione di questi fattori per quanto concerne alla coltivazione di mais e frumento.

L'andamento delle precipitazioni ha mostrato un calo importante soprattutto a partire dal 2020 con frequenti fenomeni di siccità e più rari, ma intensi, eventi piovosi, spesso in grado di causare danni sia alla popolazione civile che all'agricoltura. In particolare il 2022 è stato l'anno più secco da quando questo tipo di dati è registrato in modo preciso e costante (ISPRA, 2023).

In alcuni casi l'andamento climatico ha influenzato le rese. È stato osservato un comportamento opposto tra frumento tenero e mais in relazione all'influenza delle precipitazioni sulla resa. Il frumento tenero mostra correlazioni negative tra resa e precipitazioni con significatività importanti in un terzo delle province oggetto dello studio. Il frumento tenero non è una coltura irrigua, inoltre un eccesso di acqua e umidità può favorire lo sviluppo di malattie fungine, infine un'eccessiva intensità della pioggia, eventualmente associata a vento, può causare allettamento. Al contrario, il mais è una coltura che ha un importante fabbisogno in termini idrici. È stata infatti rilevata un'importante correlazione positiva con significatività elevate tra le precipitazioni nel periodo giugno-luglio e la resa del mais. La maggior parte delle province in cui questo dato è significativo sono province in cui la percentuale di SAU irrigata coltivata a mais è bassa (Emilia – Romagna 44.5% e Veneto 40%). Al contrario Lombardia e Piemonte hanno elevate percentuali di SAU coltivata a mais irrigata e poche province con

correlazioni significative tra resa e precipitazioni. Se ne deduce quindi come l'irrigazione sia fondamentale per la coltivazione del mais, nonostante possa portare ad un aumento dei costi di produzione. Il riso, benché abbia avuto una resa molto bassa nel 2022 in concomitanza con un'annata particolarmente secca, non ha mostrato correlazioni evidenti tra precipitazioni e resa. Ciò è dovuto alla tecnica di coltura del riso che nasce e passa parte del suo ciclo in appezzamenti che vengono sommersi d'acqua a inizio primavera e successivamente necessita di scarsi apporti idrici. Tuttavia il riso è particolarmente sensibile alle elevate temperature, motivo per il quale ha avuto una resa scarsa nel 2022, ma non in altri anni siccitosi come il 2017. In conclusione, è possibile affermare che, in linea generale, nelle province oggetto dello studio, la riduzione delle precipitazioni ha un'influenza positiva sulla resa del frumento tenero, negativa sulla resa del mais, mentre non ha evidenti correlazioni con il riso.

Infine questo studio ha provato ad individuare le province in cui la coltivazione di mais e frumento tenero risulta maggiormente rischiosa. Il rischio deriva dalla combinazione di esposizione, pericolo e vulnerabilità. Non è stato possibile individuare quest'ultima variabile per il frumento tenero quindi la mappa che ne risulta considera solamente esposizione e pericolo. La vulnerabilità potrà essere valutata in dettaglio conoscendo le caratteristiche dell'azienda interessata in modo da ottenere l'indice di rischio. Con riferimento al mais, nessuna coltura ha raggiunto il livello massimo di rischio. Le province con maggiore pericolo e maggiore esposizione (Lodi, Cremona e Mantova) hanno bassa vulnerabilità grazie ad un'elevata percentuale di SAU irrigata. Inoltre su 12 province con elevata esposizione ben 9 presentano bassa vulnerabilità, di conseguenza la maggior parte della SAU coltivata a mais risulta irrigata. Con riferimento al frumento tenero è emerso come le province che si affacciano sulla costa adriatica abbiano maggiore esposizione e maggiore pericolo rispetto alla restante parte della Pianura Padana. Livelli moderati di esposizione e pericolo si sono manifestati anche nelle province ai piedi della dorsale appenninica, mentre le province più settentrionali riscontrano i valori più bassi.

Il cambiamento del clima, indipendentemente dal fatto che sia causato da fenomeni di origine antropica o naturale, indubbiamente ha un impatto sulle attività umane. Il settore agricolo, dato il suo stretto legame con l'ambiente, è tra i più colpiti. Ne è un

esempio il mais che ha visto la sua SAU dimezzarsi in poco più di 10 anni anche a causa delle avverse condizioni climatiche, soprattutto il calo delle precipitazioni. I risultati riguardanti il mais sono in accordo con la letteratura, come esposto nel paragrafo 2.7, le criticità riguardanti questa coltura sono diffuse a livello mondiale. Altre colture come il frumento tenero sembrano invece trarre vantaggio, entro certi limiti, dalla riduzione delle precipitazioni. Questo dato è congruo rispetto alle esigenze idriche del frumento in relazione all'areale di studio; infatti storicamente, in Pianura Padana, il frumento non rientra tra le colture irrigue. Di fatti la SAU coltivata a frumento è rimasta molto costante nel corso dell'ultimo decennio. Altre colture ancora non risentono in modo diretto della riduzione delle precipitazioni, come nel caso del riso. Infatti in questo caso la letteratura è concorde nell'imputare la riduzione delle rese, almeno in parte, al cambiamento climatico, ma la distribuzione delle precipitazioni non ha un impatto diretto sulle rese.

Da questo studio emergono importanti evidenze sulla coltivazione cerealicola nella Pianura Padana che conducono ad alcune considerazioni. Dato il legame tra la resa di mais e le precipitazioni si presentano due alternative. In primo luogo è importante, da parte degli imprenditori agricoli, potenziare ed efficientare l'utilizzo delle risorse idriche in modo da stabilizzare le rese e contenere le perdite anche in stagioni poco piovose. Ciò richiede importanti interventi strutturali che devono essere affrontati in sinergia tra i privati e gli enti pubblici. Un esempio è la creazione di bacini per la raccolta delle acque meteoriche in modo da massimizzare il recupero dell'acqua piovana per poterla riutilizzare in momenti di crisi idrica. Qualora non sia possibile o non sia conveniente intraprendere investimenti di tale portata, l'alternativa è preferire altre colture che, rispetto alla siccità, risultano meno sensibili del mais. Da questo studio emerge che il frumento tenero può essere una valida alternativa in quanto è in controtendenza rispetto al mais, per quanto riguarda l'andamento delle rese in relazione alle precipitazioni. Infine, per quanto riguarda il riso è importante che la sua coltivazione non venga abbandonata, poiché l'allagamento delle risaie svolge importanti servizi per gli ecosistemi circostanti. In questo caso può essere d'aiuto la ricerca scientifica finalizzata all'ottenimento di ibridi meno sensibili alle nuove condizioni climatiche che si stanno ripetendo sempre più frequentemente. Inoltre, per far fronte all'eventuale minor

disposizione di acqua la semina in semi-asciutta, già diffusa in alcune importanti realtà risicole, è una valida alternativa.

Oggi più che mai le condizioni ambientali sono dinamiche e il cambiamento sempre più impattante. Il settore agricolo necessita quindi di innovarsi di conseguenza per fronteggiare ed adattarsi all'evoluzione del clima.

6 BIBLIOGRAFIA

Barbiero L., Lo Valvo S. D. C. (2013), Il ciclo dell'acqua in un programma pedagogico di sviluppo dell'intelligenza naturalistica. – *Università della Valle d'Aosta*.

Barili E. (2023), Il bacino del Mediterraneo, hotspot dei cambiamenti climatici, *Due Gradi* [<https://www.duegradi.eu/news/mediterraneo-cambiamenti-climatici/>].

Carboni K., (2023), L'agroalimentare in Italia non vale un terzo del PIL – *Wired* [<https://www.wired.it/article/agroalimentare-terzo-pil-governo-coldiretti/>].

Cicinelli I. (2023), Il ciclo dell'acqua non è più regolare: la maggior parte dei disastri sono causati da questo – *EURONEWS* [<https://it.euronews.com/>].

Cook S. J., Juvet G., Millan R., Rabatel A., Zekollari H., Dussailant I. (2023), Committed Ice Loss in the European Alps Until 2050 Using a Deep-Learning-Aided 3D Ice-Flow Model With Data Assimilation. – *Geophysical Research Letters*, 50(23).

De Leo S., Bonati G., Di Fonzo A., Gaito M., Giuca S. (2022), I cambiamenti climatici in agricoltura - una valutazione dei costi-benefici delle misure di adattamento. – *CREA-PB (Politiche e Bioeconomia)*, [<https://rica.crea.gov.it/i-cambiamenti-climatici-in-agricoltura-una-valutazione-costi-benefici-delle-misure-di-adattamento-865.php>].

IPCC (2023), AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. [<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>].

ISMEA (2023), La competitività dell'agroalimentare italiano. [<https://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12542>].

ISMEA (2023), Rapporto ISMEA sull'agroalimentare italiano. [<https://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12753>]

ISMEA-QUALIVITA (2023), L'agroalimentare: DOP, IGP e STG nel 2023. [<https://www.qualivita.it/news/rapporto-ismea-qualivita-2023-dop-economy-primavolta-sopra-20-miliardi/>].

ISPRA (2022) Clima in Italia nel 2022

[<https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2023/07/caldo-record-e-siccita-nel-2022>].

LEGAMBIENTE (2023), 2023 anno da bollino rosso per il clima.

[<https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/2023-anno-da-bollino-rosso-per-il-clima/>].

MedECC (*Mediterranean Experts on Climate and environmental Change*) (2020) Climate and environmental change in the mediterranean basin. Current situation and risks for the future. [<https://www.medecc.org/medecc-reports/climate-and-environmental-change-in-the-mediterranean-basin-current-situation-and-risks-for-the-future-1st-mediterranean-assessment-report/>].

Montanari A., Nguye H., Rubinetti S., Ceola S., Galelli S., Rubino A., Zanchettin D. (2023), Why the 2022 Po River drought is the worst in the past two centuries. – *Science Advances*, 9(32).

Pitacco A., Tezza L. (2022), L'evapotraspirazione del vigneto: risultati del monitoraggio nella stazione di Lison. *Università degli Studi di Padova*.

Sannino G., Sonnino A. (2020), Agricoltura e cambiamento climatico. – *ENEA*, 58(60).

Solazzo R., Borsotto P., Catellotti T., De Maria F., Romeo Lironcurti S. (2023), Commercio con l'estero dei prodotti agroalimentari 2022. *CREA*

[<https://www.crea.gov.it/documents/68457/0/Rapporto+commercio+estero+2022>].

Santeramo F. G., Maccarone I. (2022), Analisi storica delle rese agricole e la variabilità del clima: analisi dei dati italiani sui cereali. – *Italian Review of Agricultural Economics*, Firenze University Press, 77(2), pp. 77-91.

Slater T., Shepherd A., McMillan M., Leeson A., Gilbert L., Muir A., Munneke P. K., Noël B., Fettweis X., van den Broeke M., Briggs K. (2021), Increased variability in Greenland Ice Sheet runoff from satellite observations. – *Nature Communications*, 21(1).

van Westen Kliphuis R. M., Dijkstra M., Henk A. (2024), Physics-based early warning signal shows that AMOC is on tipping course. – *Science Advances*, 10(6).

Walzer U., Hendel R. (2023), Natural climate change and glaciations. – *Earth-Science Reviews*, 241.

Yost M. A., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Sadler, E. J., Drummond, S. T., Volkman, M. R. (2016), Long-term impact of a precision agriculture system on grain crop production. – *Precision Agriculture* (2017), 18(5), pp. 823-842.

7 SITOGRAFIA

ARPA EMILIA – ROMAGNA – <https://www.arpae.it/it>

ARPA LOMBARDIA – <https://www.arpalombardia.it/>

ARPA PIEMONTE – <https://www.arpa.piemonte.it/>

ARPA VENETO – <https://www.arpa.veneto.it/>

ISPRA – <https://www.isprambiente.gov.it/it>

ISTAT – <https://www.istat.it/>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA – US Department of Commerce) – <https://www.noaa.gov/>

National Snow and Ice Data Centre (NSIDC – CIRES, University of Colorado Boulder) – <https://nsidc.org/home>

TRECCANI – <https://www.treccani.it/>