

AREA TEMATICA – CLIMA

Scheda Indicatore 4: Indicatore di anomalia delle temperature

1 INQUADRAMENTO CONCETTUALE	1
2 METODO DI CALCOLO DELL'INDICATORE	2
3 APPLICAZIONE DELL'INDICATORE AL TERRITORIO PUGLIESE	4
4 RISCHIO CLIMATICO CONNESSO ALLE ANOMALIE DI TEMPERATURA	10
5 CONCLUSIONI	15

1 INQUADRAMENTO CONCETTUALE

La temperatura è uno dei fattori principali nel regolare i cicli fenologici delle colture e ne influenza quindi anche la resa finale. L'aumento delle temperature medie nel tempo può comportare uno slittamento geografico delle condizioni ottimali per la coltivazione di alcune colture agricole ed inoltre, le temperature eccessive, possono causare danni puntuali da stress termico determinando ingenti perdite produttive e ripercuotendosi sulla sicurezza alimentare e sul sostentamento degli attori del settore agricolo.

Per indagare la dinamica delle temperature nella regione Puglia, in relazione al cambiamento climatico in atto, si è fatto riferimento all'analisi spaziale del trend e dell'anomalia di temperatura. **L'anomalia di temperatura (°C)** consiste nella differenza tra il valore di temperatura riscontrata nell'intervallo temporale d'analisi e la relativa temperatura media

registrata nel periodo climatologico di riferimento. Il periodo climatologico di riferimento è solitamente equivalente a 30 anni e viene aggiornato ogni 10 anni dalla *World Meteorological Organization* (WMO) per riflettere meglio i cambiamenti climatici in corso e consentire deliberazioni più tempestive in ambito energetico, agricolo, ecc. Dal 2021, la WMO raccomanda di adottare a livello globale il nuovo periodo di riferimento trentennale 1991-2020 (WMO, 2017¹; WMO, 2021²). In generale, un'anomalia di temperatura positiva indica che la temperatura osservata è stata maggiore del valore di riferimento, mentre un'anomalia negativa indica che la temperatura osservata è stata inferiore di quanto riscontrato nel valore di riferimento.

Il trend della temperatura, quando statisticamente significativo, individua la direzione (incremento/decremento) e la magnitudine della variazione media annua riscontrata nel periodo analizzato.

2 METODO DI CALCOLO DELL'INDICATORE

Per la stima degli indicatori si sono utilizzati i dati raster spazializzati di temperatura (risoluzione 1km) messi a disposizione da ISPRA nell'ambito del progetto BIGBANG³ v.6.0 a scala nazionale.

In particolare, si sono valutate:

- i) l'anomalia di temperatura per l'anno 2021 (ultimo disponibile) rispetto al periodo di riferimento climatico 1991-2020;
- ii) l'anomalia media di temperatura per gli ultimi 5 anni, ovvero per il periodo dal 2017 al 2021 rispetto al periodo di riferimento climatico 1991-2020;
- iii) il trend delle temperature medie annue dal 1991 al 2021, stimato attraverso il modello di regressione lineare semplice.

¹ WMO - World Meteorological Organization (2017). WMO guidelines on generating a defined set of national climate monitoring products. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4213.

² WMO - World Meteorological Organization (2021). Updated 30-year reference period reflects changing climate. World Meteorological Organization.

³ https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/BIGBANG_ISPRA.html.

Le elaborazioni eseguite in ambiente GIS hanno previsto i seguenti step:

- Download dei dati raster di temperatura media annua a scala nazionale
- Riproiezione dei dati raster dal sistema di riferimento ETRS89-LAEA a WGS84_32633
- Ritaglio con limite ISTAT regione puglia (2022)

i) Per anomalia del 2021

- Media delle temperature medie annue rilevate nella regione Puglia dal 1991 al 2020 (periodo di riferimento utilizzato) tramite tool *r.series* di QGIS_GRASS
- Differenza tra la temperatura media annua del 2021 e la media delle temperature medie annue del periodo di riferimento climatico (1991-2020) tramite *raster calculator*

ii) Per anomalia media degli anni dal 2017 al 2021

- Media delle temperature medie annue dal 1991 al 2020 (periodo di riferimento utilizzato) tramite tool *r.series* di QGIS_GRASS
- media delle temperature medie annue dal 2017 al 2021 tramite tool *r.series* di QGIS_GRASS
- Differenza tra la media delle temperature medie annue (anni 2017-2021) e la media delle temperature medie annue del periodo di riferimento climatico (1991-2020).

iii) Per il trend di temperature medie annue

- Si è utilizzato il modello di regressione lineare semplice ed in particolare le funzioni “slope” e “t-value” del tool *r.series* di QGIS_GRASS sul set di raster di temperatura media annua (dal 1991 al 2021) della regione Puglia. La funzione “slope” consente di ottenere per ogni pixel il valore della variazione media annua, mentre il “t-value” restituisce per ogni pixel il valore del test di student, utile nella determinazione della significatività o meno del trend (in questo caso si è utilizzata la soglia del 95% di confidenza).

3 APPLICAZIONE DELL'INDICATORE AL TERRITORIO PUGLIESE

Il valore medio di temperatura media annua per l'intera regione Puglia nel periodo climatico di riferimento si attesta sui circa 15,6°C, con medie minime pari a 10,3 °C localizzate in corrispondenza dei rilievi dei monti Dauni e Gargano e medie massime pari a 17,5°C nel sud della regione ed in particolare nel Salento (figura 1).

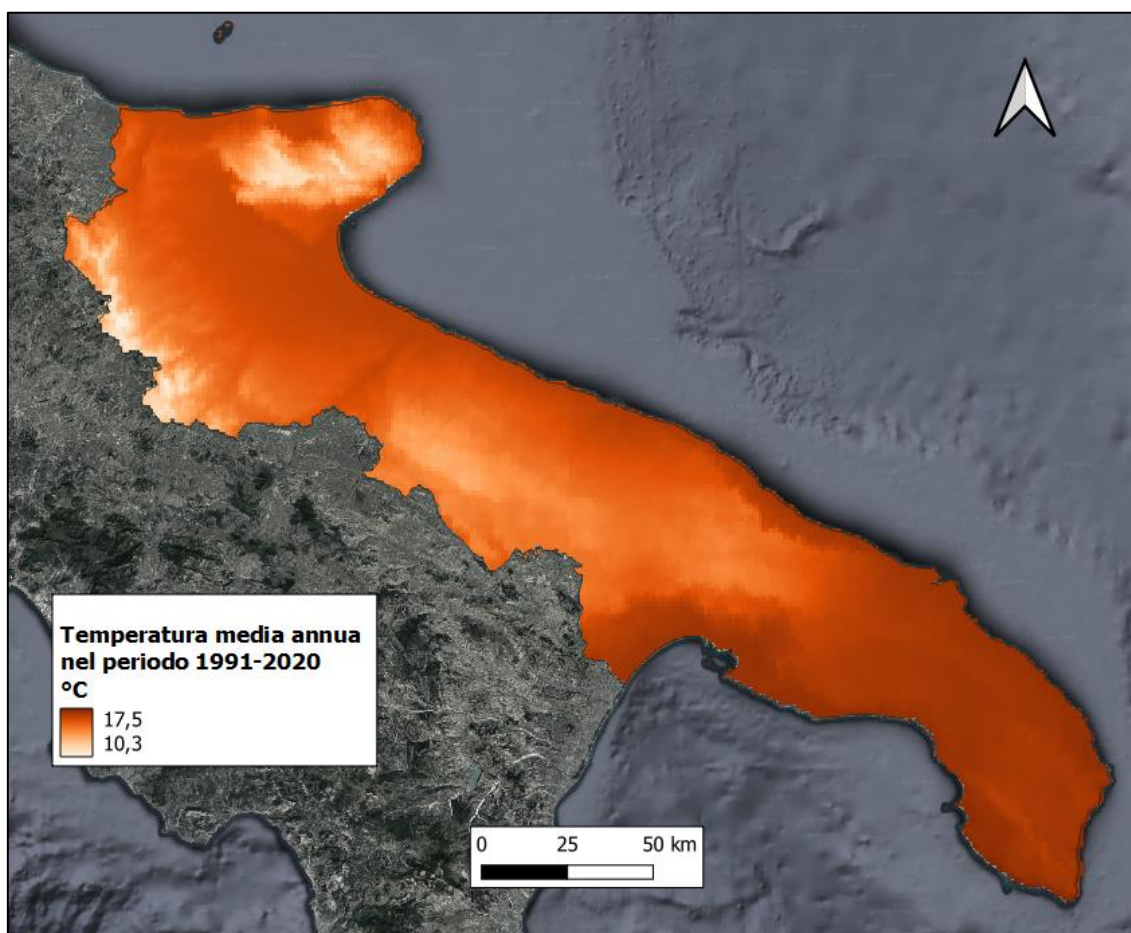


Figura 1 – Media delle temperature medie annue nel periodo di riferimento climatico 1991-2020.

Nelle figure che seguono si riportano l'anomalia di temperatura per l'anno 2021 (figura 2), l'anomalia media per gli anni dal 2017 al 2021 (figura 3) ed il trend delle temperature medie annue dal 1991 al 2021 (figura 4) nella regione Puglia.

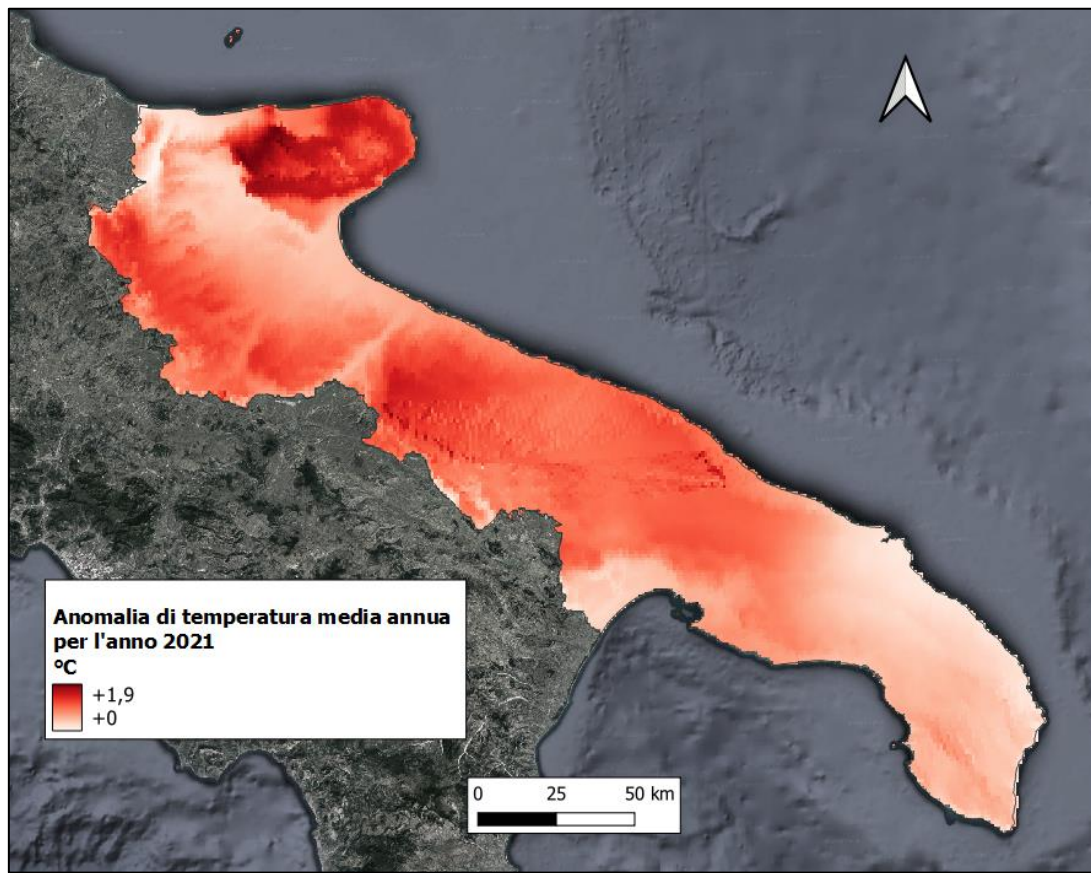


Figura 2 - Anomalia di temperatura media annua per l'anno 2021.

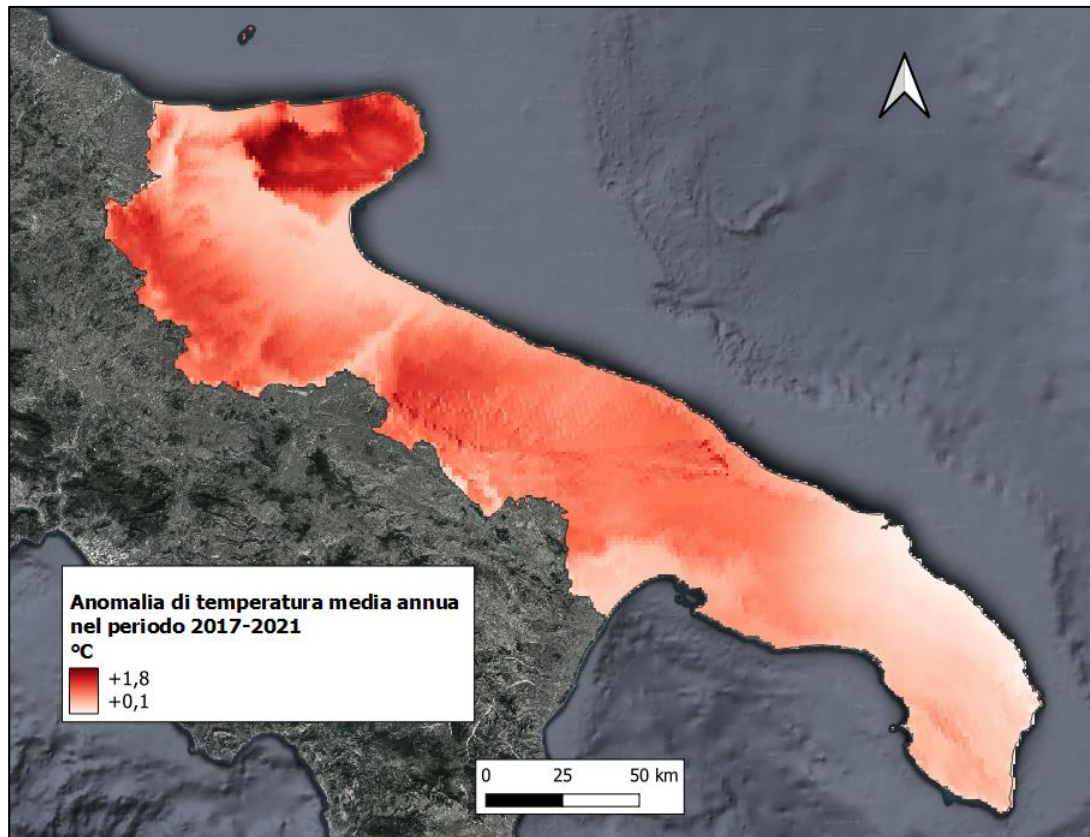


Figura 3 - Anomalia media della temperatura media annua per gli anni dal 2017 al 2021

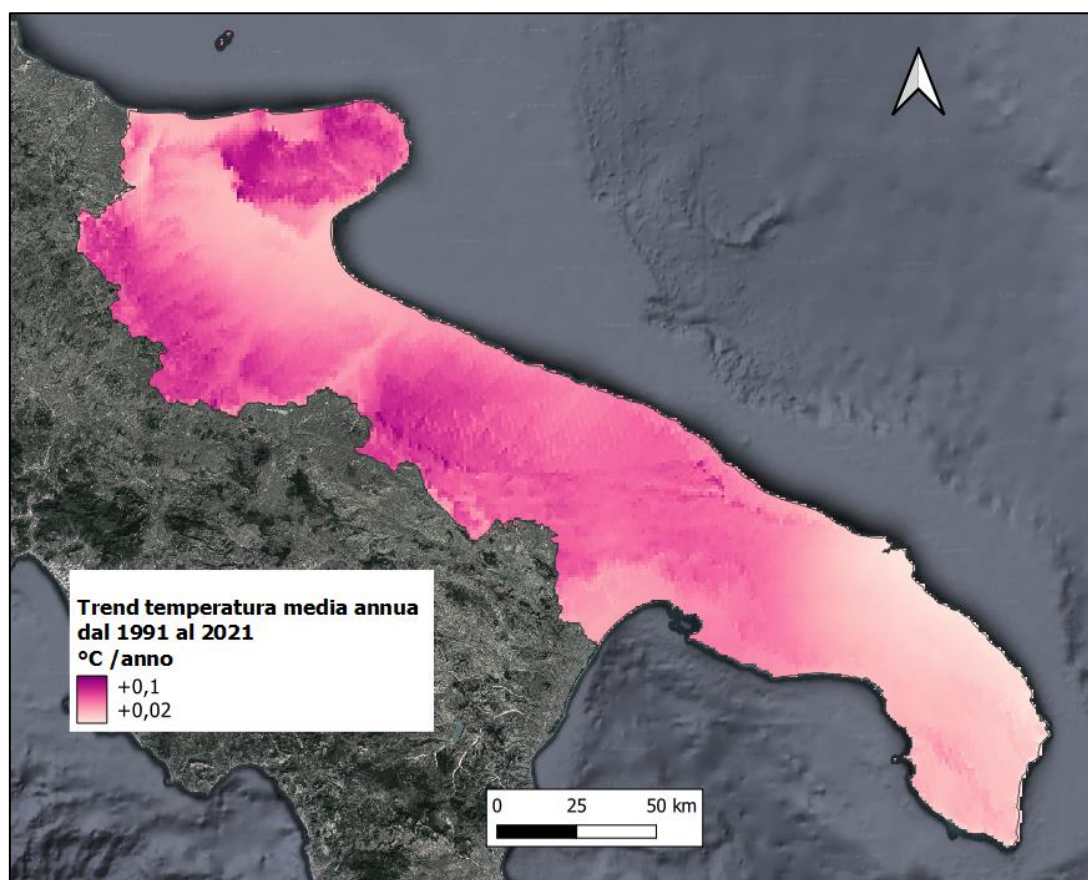


Figura 4 - Trend della temperatura media annua dal 1991 al 2021 (95% di confidenza) nella regione Puglia.

Riferendosi all'analisi delle **anomalie di temperatura** (Figure 2 e 3), una prima osservazione che scaturisce è che, per entrambi i periodi analizzati, è presente un'anomalia positiva (la temperatura rilevata è stata cioè superiore alla media di riferimento climatico) diffusa sull'intero territorio regionale. Anche per quanto riguarda l'intervallo di valori, le due elaborazioni restituiscono valori molto simili, con massimi puntuali di quasi 2°C e minimi intorno a 0°C.

Da notare che i valori massimi di anomalia sono localizzati in prossimità dei rilievi collinari e montuosi pugliesi (dove si registrano temperature medie annue inferiori alla media regionale), questo potrebbe essere dovuto al fenomeno conosciuto in letteratura scientifica come

“elevation-dependent warming” (sul tema si vedano, fra gli altri, *Bruley et al. 2022⁴*).

In generale la distribuzione spaziale dei valori dell’anomalia tra le due elaborazioni sembra sovrapponibile, con i massimi localizzati nell’area geografica del Gargano ed i minimi nella zona costiera del Brindisino. Questo lascia intendere un possibile pattern regolare nel tempo e nello spazio, della distribuzione dell’anomalia di temperatura media annua. La precedente ipotesi pare confermata dall’analisi del **trend** (significativo al 95% di confidenza) di temperatura (fig.4): i valori d’incremento medio annuo maggiori e minori corrispondono in massima parte alle zone dove l’anomalia si esprime con maggiore o minore intensità. I valori d’incremento maggiori, ad esempio, sono localizzabili nelle aree collinari e montuose, ad ulteriore possibile conferma del fenomeno dell’*elevation dependent warming*, visto in precedenza. In particolare, quindi, l’analisi di tendenza della temperatura dal 1991 al 2021 dimostra, come sia in atto sull’intera regione, un processo d’incremento della temperatura media annua, che raggiunge localmente anche punte di 0,1 °C/anno, in particolare nei rilievi collinari e montuosi del Gargano e dei Monti Dauni.

A completamento delle precedenti elaborazioni si riportano i) la serie completa di anomalie di temperatura media regionale rispetto al periodo di riferimento climatico 1991-2020 (**Grafico 1**) e ii) il trend della temperatura media annua regionale (**Grafico 2**) per gli anni dal 1991 al 2021.

⁴ Bruley E, Mouillot F, Lauvaux T, Rambal S. Enhanced spring warming in a Mediterranean mountain by atmospheric circulation. *Sci Rep.* 2022 May 11;12(1):7721. doi: 10.1038/s41598-022-11837-x. PMID: 35545646; PMCID: PMC9095602.

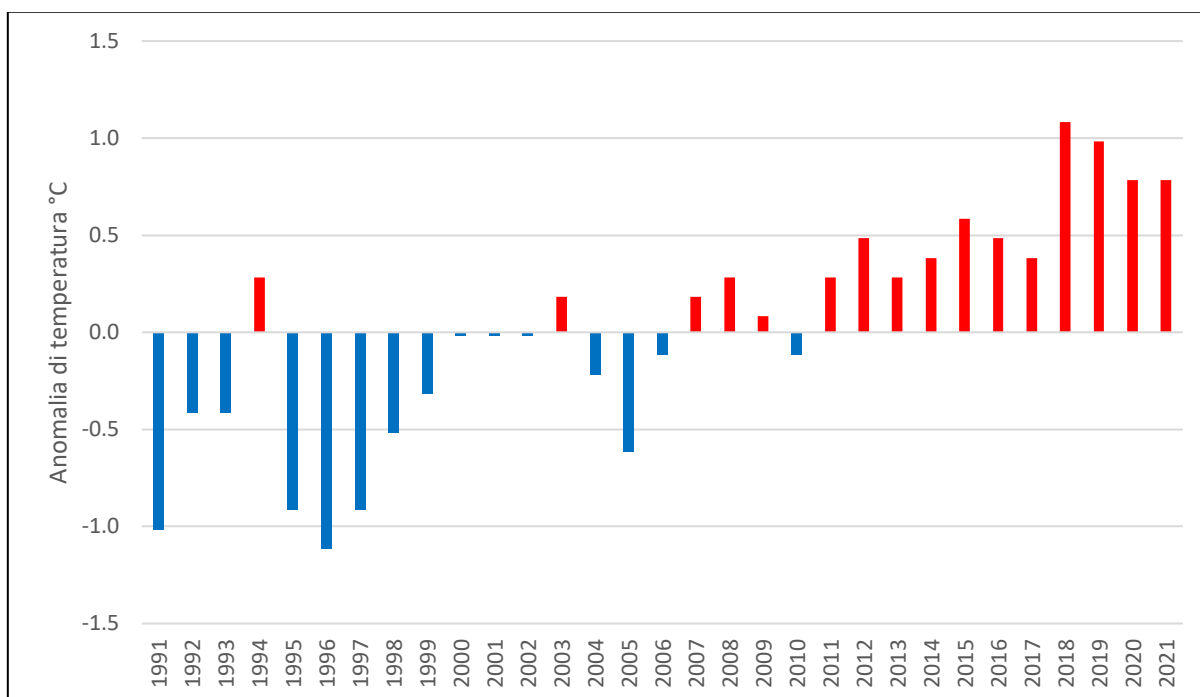


Grafico 1 – Anomalie annuali di temperatura media annua regionale (°C) rispetto al periodo di riferimento climatico 1991-2020.

Come si evince dal grafico 1, le anomalie della prima decade analizzata (1991-2000) sono principalmente negative (9 anni su 10) e presentano valori massimi di -1,1 °C nel 1996. La seconda decade (2001-2010) vede ridursi a 6 il numero di anni con anomalie negative, con valori massimi negativi quasi dimezzati (-0,6 °C nel 2005) rispetto alla prima decade. E' invece nel periodo più recente, dal 2011 al 2021, che si registrano tutti i valori annuali di temperatura superiori alla media del periodo di riferimento climatico 1991-2020. In particolare, l'anomalia media regionale raggiunge i valori massimi di +1,1 °C nel 2018. La tendenza all'aumento della temperatura media regionale è evidenziata ancor meglio nel grafico che segue.

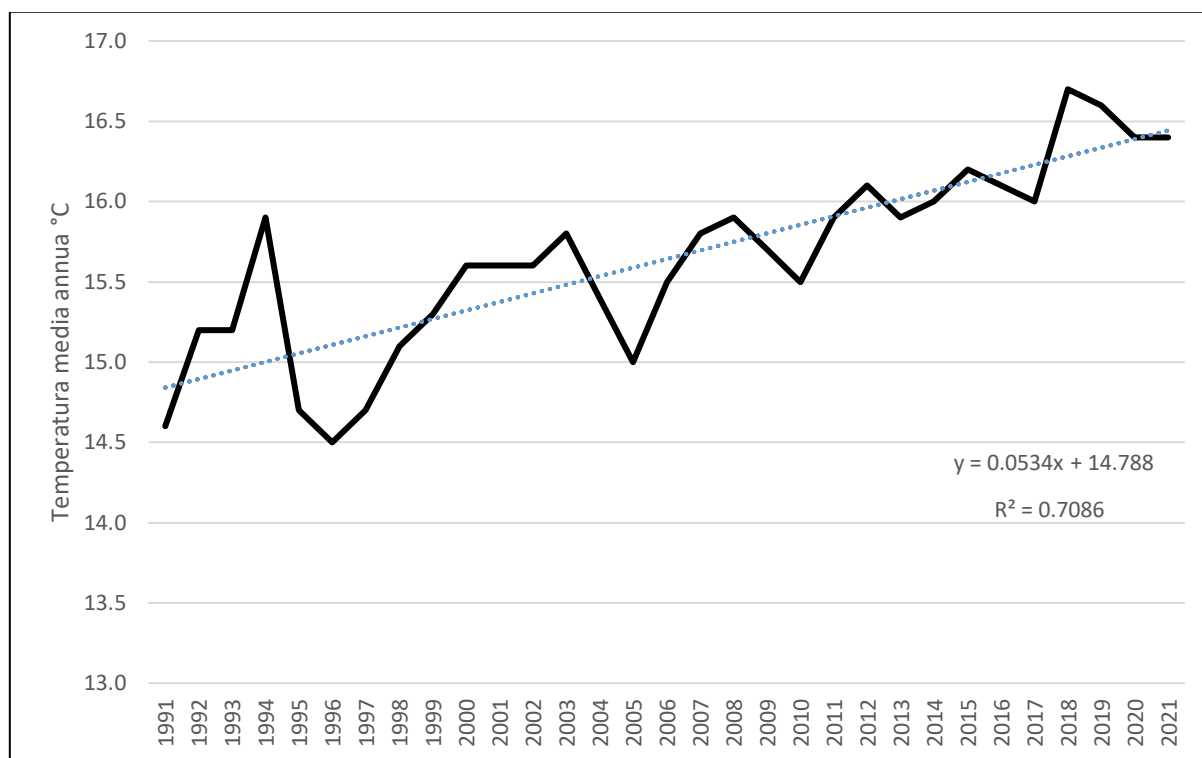


Grafico 2 - Trend di temperatura media annua regionale calcolato nel periodo 1991-2021

Nel grafico 2, si nota chiaramente come esiste una tendenza significativa ($p < 0,05$) all'incremento della temperatura media regionale, con valori d'incremento pari a circa $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ all'anno e una differenza di $+1,8^{\circ}\text{C}$ tra la temperatura media regionale registrata nel 1991 e quella del 2021.

4 RISCHIO CLIMATICO CONNESSO ALLE ANOMALIE DI TEMPERATURA

Individuare e mappare le zone dove la temperatura sta aumentando in maniera più consistente e che presentano quindi valori d'anomalia termica più elevati, può essere un'utile indicazione sulla pressione esercitata dai cambiamenti climatici in atto sul sistema agricolo pugliese.

Con riferimento all'equazione del rischio climatico (rischio = pericolosità x esposizione x

vulnerabilità) così come proposta dall'IPCC (vedi ad esempio Resinger et al. 2020⁵) l'aumento delle temperature può essere inteso in questo caso come il fattore di pericolosità, che andrebbe accompagnato a stime sulla vulnerabilità specifica delle singole colture e sul loro grado di esposizione.

Per discernere meglio il grado di potenziale pericolosità (e quindi di pressione esercitata) dall'aumento di temperatura a livello territoriale, si è proceduto a suddividere la magnitudine del trend (1991-2021) di temperatura media annua in tre classi uguali (per numero di osservazioni contenute), con valori (indicativi) di pericolosità crescente (bassa, media, alta) (figura 5).

La suddivisione in classi a pericolosità crescente permette d'individuare le porzioni di territorio esposte al differente grado d'incremento della temperatura.

⁵ Reisinger, Andy, Mark Howden, Carolina Vera, et al. (2020) The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, p. 15.



REGION OF
IONIAN
ISLANDS



HELLENIC REPUBLIC
REGION OF EPIRUS



REGION
OF WESTERN
GREECE
full of contrast!



**PUGLIA
REGION**

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT,
LANDSCAPE AND URBAN QUALITY

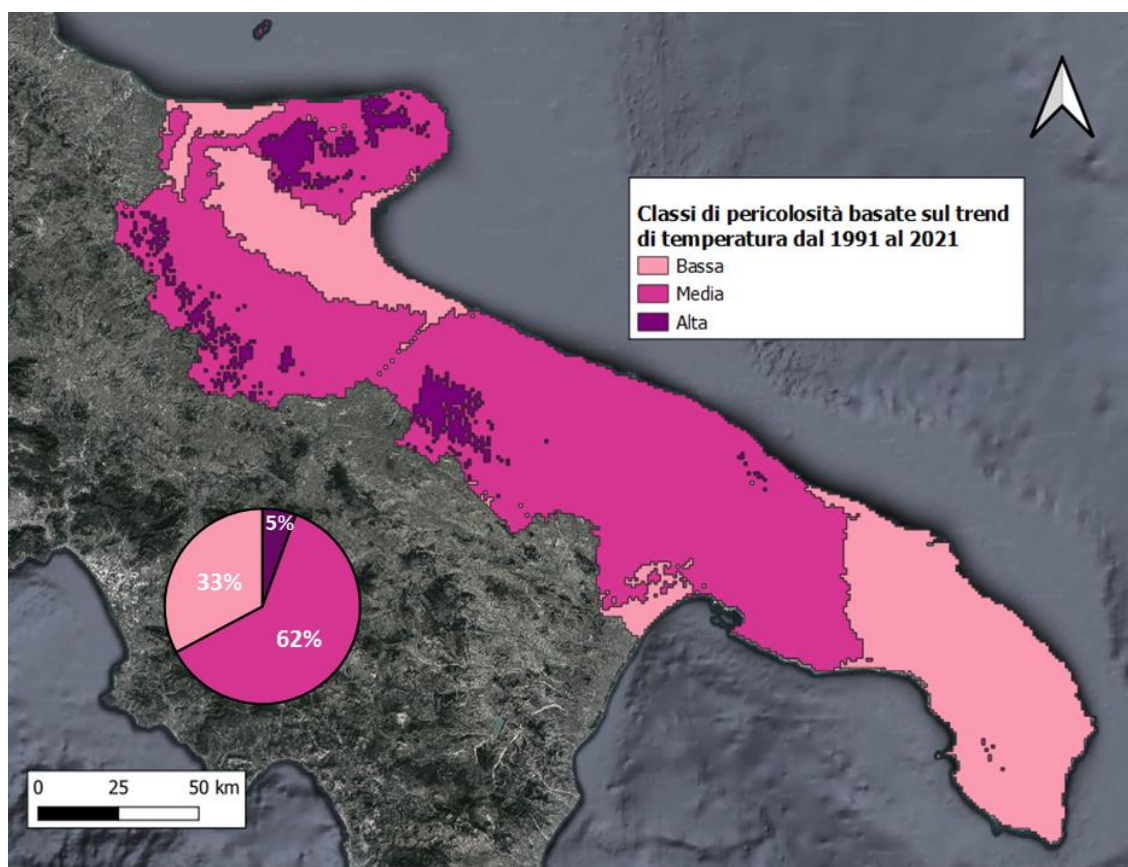


Figura 5 - Classi di pericolosità crescente individuate tramite il trend delle temperature medie annue dal 1991 al 2021.

Come è possibile notare in figura 5, la classe a media pericolosità (da $+0,05$ a $+0,07$ °C/anno) è la più estesa (1.192.934 ha, 62%) e si estende sulla parte centrale e parzialmente su quella settentrionale della regione. La classe di alta pericolosità (da $+0,07$ a $+0,1$ °C/anno) è la meno estesa ma comunque rilevante in termini di superficie (107.873 ha, pari al 6% del totale superficie territoriale) e si estende sul Gargano (altopiano carsico e foresta umbra) e Monti Dauni. Infine, la fascia a bassa pericolosità ($+0,02$ a $+0,05$ °C/anno), occupa il 33% del territorio regionale, e si estende sul sud della regione e fascia orientale del Tavoliere.

Con il fine di ottenere l'esposizione delle colture agricole alle diverse fasce di pericolosità individuate si è proceduto ad intersecare il dataset territoriale delle suddette fasce di

pericolosità con il dato cartografico contenente la localizzazione ed estensione degli usi del suolo agricolo. In questo modo si sono individuate le colture esposte (tipologia ed estensione in ettari) agli incrementi crescenti di temperatura.

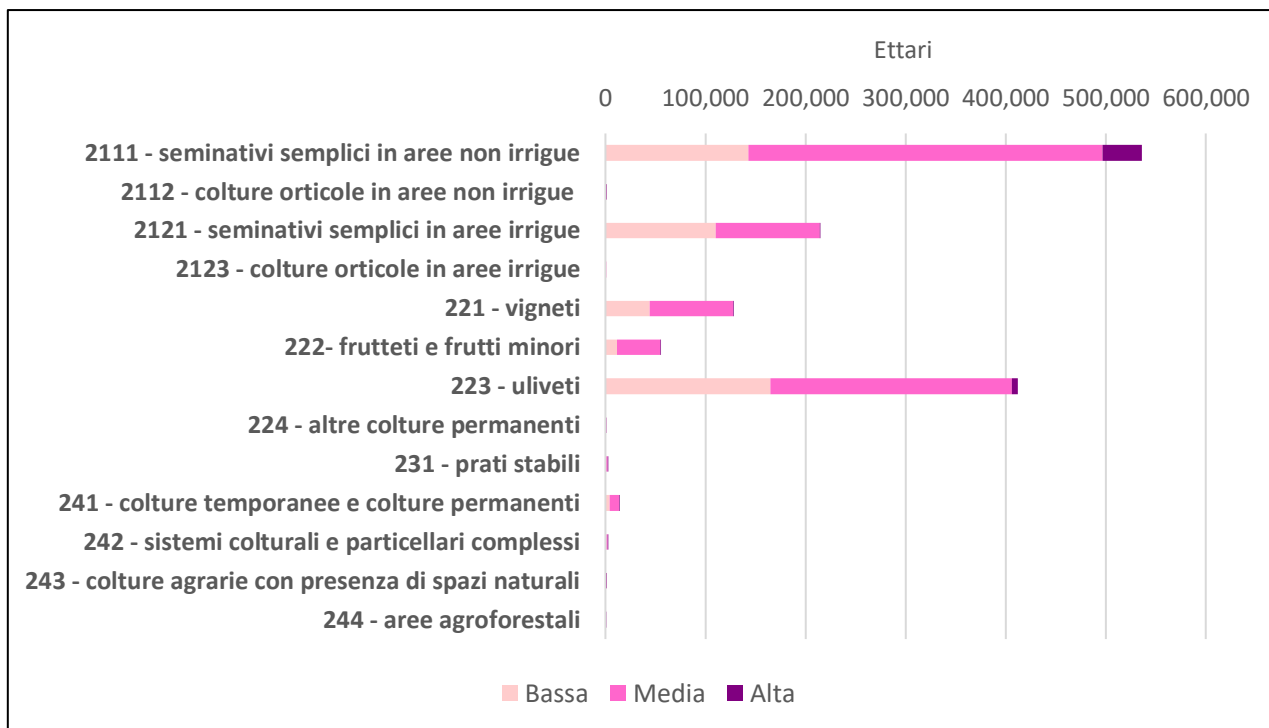


Grafico 3 – Esposizione assoluta (ettari) delle colture agricole alle classi di pericolosità individuate (bassa, media, alta).

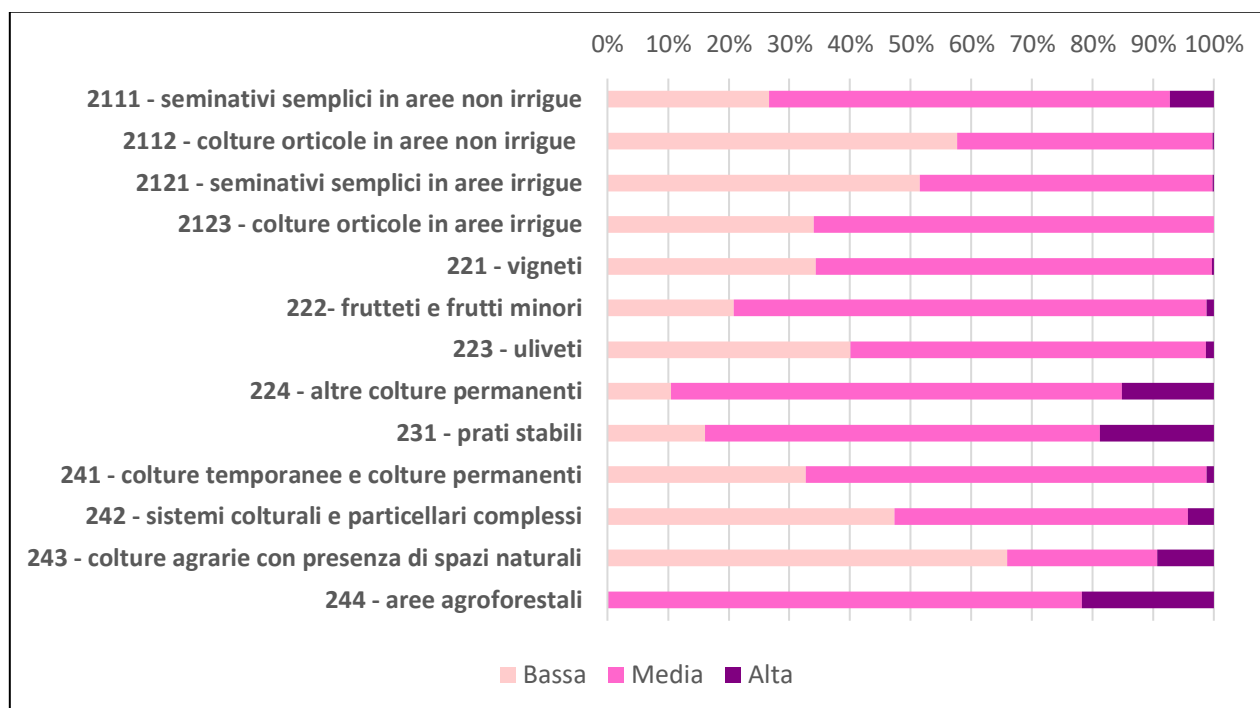


Grafico 4 - Esposizione relativa (percentuale sul totale della rispettiva superficie) delle singole colture alle classi di pericolosità individuate (bassa, media, alta).

L'analisi sull'esposizione in termini assoluti di superficie vede ricadere nella fascia ad alta pericolosità, 38.979 ettari di seminativi semplici non irrigui e 5.519 ettari di uliveti. L'esposizione ad alta pericolosità delle altre categorie culturali si riduce (anche a causa della minore superficie totale), andando dai 648 ettari dei frutteti alla non esposizione di alcune colture orticole in aree irrigue. In termini di esposizione relativa, ovvero in termini di esposizione percentuale sul totale di superficie della specifica categoria culturale, si trovano più esposte a pericolosità alta le aree agroforestali (22%), i prati stabili (19%) e altre colture permanenti (15%), mentre i seminativi semplici non irrigui ricadono, in questo caso, "solo" per il 7% della propria superficie totale in area ad alta pericolosità.

5 CONCLUSIONI

Come riportato nell'introduzione, la temperatura è uno dei fattori principali nel regolare i cicli fenologici delle colture ed influenza quindi anche la resa finale in termine di produzione.

L'analisi qui presentata conferma la presenza di un trend crescente e significativo di temperatura per la regione pugliese con anomalie di temperatura che arrivano localmente anche a +1,9 °C gradi per il 2021 rispetto alla media climatica di riferimento 1991-2020. Il grado di potenziale pericolosità individuato in questa analisi (seppur indicativo perché basato sulla semplice suddivisione in intervalli uguali del range d'incremento medio annuo di temperatura) può essere utile nell'individuare le porzioni di territorio dove la variazione di temperatura è più marcata e di conseguenza le categorie colturali più esposte ai recenti aumenti di temperatura. Se in generale infatti è sicuramente necessario prestare attenzione all'intero processo nel suo insieme, identificare le zone che stanno sperimentando aumenti maggiori di temperatura e quindi approfondire, anche con rilevazioni più puntuali le dinamiche in atto, può essere funzionale ad azioni mirate di adattamento per le singole tipologie colturali (in termini, ad esempio, di tecniche colturali o varietà utilizzata).

A completamento di questa prima analisi, sarebbe auspicabile indagare maggiormente sia la variabilità della temperatura in termini di valori massimi raggiunti e frequenza dei giorni con valori elevati di temperatura, sia la specifica sensibilità e quindi vulnerabilità delle specifiche colture agricole. Inoltre, di notevole importanza risultano anche la capacità di adattamento del sistema umano ed infrastrutturale coinvolto.