

## Metodologia, indicatori e base dati per il monitoraggio agrometeorologico

La scelta degli indicatori per il monitoraggio agrometeorologico si è basata sulla ricerca in letteratura di quelli maggiormente applicati negli studi sul settore, che ha come riferimento importante i lavori dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (World Meteorological Organization- WMO), dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (IPCC, 2007 and 2012) e dell'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* - ETCCDI<sup>1</sup> (i riferimenti bibliografici principali sono riportati di seguito per singolo indicatore). Inoltre, per l'agricoltura italiana si è fatto riferimento agli studi già svolti dai ricercatori del CREA-Agricoltura e Ambiente (Parisse et al., 2020; Pontrandolfi et al., 2020; Beltrano et al., 2017; Esposito et al., 2015), nonché ai prodotti elaborati e diffusi da principali servizi agrometeorologici internazionali.

Per la scelta degli indicatori di monitoraggio sono stati definiti alcuni criteri principali:

- disponibilità di dati per il calcolo;
- validità riconosciuta dalla letteratura scientifica;
- capacità descrittiva delle relazioni tra agricoltura e meteo-clima a livello italiano;
- capacità di evidenziare cambiamenti, come ad esempio le anomalie rispetto ad un periodo di riferimento;
- possibilità di utilizzare soglie locali (e non fissate uniformemente su tutto il territorio nazionale) per la stima degli eventi estremi, in modo da tener conto della variabilità territoriale;
- capacità di descrivere l'evoluzione delle condizioni agrometeo-climatiche nelle diverse fasi della stagione agraria.

Gli indicatori scelti consentono di descrivere sia la situazione attuale che gli andamenti nel tempo, anche in termini di anomalie rispetto al clima.

Per il calcolo delle anomalie, il periodo climatico di riferimento scelto è attualmente il 1981-2010 (di seguito e nel monitoraggio definito anche "clima") secondo le indicazioni della *World Meteorological Organization* (WMO), che richiede di considerare le medie delle variabili climatiche calcolate per un periodo di 3 decenni consecutivi (WMO, 2017).

In relazione alla stagione agraria, si evidenzia che nel corso dei mesi potrà variare lo schema degli indicatori, poiché alcuni di questi sono significativi solo per determinati periodi (ad esempio, il monitoraggio delle gelate tardive è utile solo nei mesi di marzo e aprile, quando le colture sono in fasi fenologiche particolarmente sensibili).

Alcuni indicatori sono specifici per gli eventi meteorologici estremi che possono potenzialmente danneggiare produzioni agricole e strutture aziendali. I rischi meteorologici possono essere molto diversi in base alla natura e alla frequenza stagionale degli eventi, derivare da tutti i fenomeni meteorologici e influenzare direttamente e indirettamente le condizioni di crescita delle colture.

Il monitoraggio agrometeorologico (attraverso gli indicatori di seguito illustrati) richiede serie di dati complete e disponibili in quasi *real time* e ad adeguata risoluzione temporale e spaziale. Attualmente la fonte dati di riferimento consiste nei dataset di rianalisi accessibili tramite il servizio C3S - *Climate Change Service* (<https://climate.copernicus.eu/>) del programma europeo Copernicus. Gli indicatori sono stati calcolati utilizzando il *gridded dataset ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*.

---

<sup>1</sup> [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)

Gli indicatori sono stati stimati a livello di ogni singola cella della griglia e i risultati sono presentati sotto forma di mappe a scala nazionale.

## **Indicatori di monitoraggio agrometeorologico**

### ***Temperature***

*Anomalie di Temperatura massima (TX2 Anomaly)*: differenza in °C tra il valore medio del mese ed il rispettivo valore del riferimento climatico 1981-2010

*Anomalie di Temperatura minima (TN2 Anomaly)*: differenza in °C tra il valore medio del mese e il rispettivo valore del riferimento climatico 1981-2010

*Temperatura minima estrema (TN90p)*: numero di giorni del mese in cui la Temperatura minima è stata superiore al 90° percentile della distribuzione climatica del giorno<sup>2</sup>.

*Temperatura massima estrema (TX90p)*: numero di giorni del mese in cui la Temperatura massima è stata superiore al 90° percentile della distribuzione climatica del giorno.

*Sommatorie termiche cumulate (Growing degree days - GDD Tb 0°C e GDD Tb 10°C)*: calcolate dal mese di gennaio di ogni anno con soglie di temperatura base (Tb) pari a 0°C e 10°C e rispettive anomalie dal clima 1981-2010. Il calcolo si basa sulle temperature medie giornaliere.

Le due soglie di temperatura di base scelte consentono di dare indicazioni generali per le principali colture. L'accumulo termico rispetto a 0 °C consente di valutare lo sviluppo delle specie autunno-vernine (per es. il frumento), mentre l'accumulo termico rispetto a 10 °C dà indicazioni utili per le specie vegetali più esigenti, come le colture a ciclo primaverile-estivo (per es. il mais e la vite). La soglia a 10 °C è utile anche per il monitoraggio di alcuni parassiti entomatici (Felber et al., 2018).

*Gelate tardive (Late frost days - LFD)*: numero di giorni del mese con temperatura minima = <0 °C nel periodo marzo-aprile. Il calcolo di questo indicatore si limita ai mesi di marzo e aprile, quando la maggior parte delle colture si trova nella fase fenologica più sensibile al gelo (fioritura) (Gobin, 2018). L'indicatore è espresso anche come scarto dai valori climatici 1981-2010.

*Gelate precoci (First frost days - FFD)*: numero di giorni mensili con temperatura minima = <0 °C nel periodo settembre-novembre. L'indicatore è espresso anche come scarto dai valori climatici.

### ***Precipitazioni***

*Precipitazione cumulata (Ptot)*: precipitazione in mm cumulata nel mese

*Anomalia di Precipitazione (P Anomaly)*: differenza in mm tra il totale del mese ed il rispettivo valore del riferimento 1981-2010.

*Scarto della Precipitazione (TP Anomaly %)*: anomalia di precipitazione, espressa come percentuale del valore di riferimento.  $(100 * [\text{valore osservato} - \text{valore climatico}] / \text{valore climatico})$

---

<sup>2</sup> Per tutti gli indicatori a seguire, il calcolo dei percentili giornalieri sulla serie climatica viene fatto su una finestra di 5 giorni centrata su ogni giorno dell'anno

*Giorno più piovoso (rx1 day)*: rappresenta la precipitazione, espressa in mm, del giorno più piovoso del mese potenzialmente in grado di provocare danni alle colture e perdita da *runoff*.

### **Temperature e precipitazioni**

*Evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>)*: l'evapotraspirazione è la quantità d'acqua perduta dal terreno per effetto congiunto dell'evaporazione diretta e della traspirazione delle piante ed è espressa come quantità di acqua per unità di superficie per unità di tempo; analogamente alla precipitazione, viene misurata in mm. Per evapotraspirazione di riferimento, indicata come ET<sub>0</sub>, si considera un prato di erba medica in condizioni ottimali di disponibilità idrica e nutrizionale, privo di attacchi da agenti patogeni, caratterizzato da alcuni parametri standard (Allen, 1998). Per il calcolo di questo indicatore è stata applicata l'equazione di Penmann-Monteith, adottata in ambito FAO (Allen, 1998). I valori presentati si riferiscono ai cumulati mensili.

*Bilancio idro-climatico (BIC)*: rappresenta la differenza tra le precipitazioni (P) e l'evapotraspirazione potenziale (ET<sub>0</sub>) calcolata con l'equazione di Penmann-Monteith (Allen et al., 1998). Il calcolo di questo indice consente in prima analisi di individuare situazioni di surplus o deficit idrico. L'andamento cumulato evidenzia le disponibilità idriche nei periodi di ricarica (novembre-marzo) e di utilizzo della risorsa (aprile-ottobre). È calcolato con passo giornaliero e aggregato a livello mensile e poi come anomalia rispetto al clima.

*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)*: lo SPEI è un indicatore di siccità (Vicente - Serrano S.M. et al., 2010), che deriva dal bilancio idrico climatico mensile (o *precipitazione efficace - Peff*), calcolato come differenza tra la precipitazione totale e l'evapotraspirazione di riferimento. Si basa sul confronto tra i valori di bilancio idrico registrati e il loro andamento mostrato nella serie storica disponibile; in generale, si utilizza la più ampia serie temporale a disposizione, nel nostro caso dal 1981 al presente. L'indicatore può essere calcolato su scale temporali diverse (da 1 a 48 mesi) in base agli obiettivi dell'analisi (valutazione della siccità meteorologica, agricola o idrologica). La scala temporale di 6 mesi (SPEI6) è ritenuta più adatta a descrivere fenomeni di siccità in agricoltura poiché quantifica il deficit di Peff accumulato nei 6 mesi precedenti. Trattandosi di un indice standardizzato, lo SPEI non ha unità di misura. Valori di SPEI < -1 indicano situazioni di siccità, mentre valori di SPEI > 1 indicano condizioni di umidità, ossia di surplus idrico rispetto all'andamento medio di lungo periodo.

I valori dell'indice SPEI sono tradotti in classi di diversa intensità (WMO e GWP, 2016), come riportato nella tabella seguente.

<b>Intensità di Siccità/Umidità</b>	<b>Valori SPEI</b>
Umidità estrema	≥ 2.00
Umidità rilevante	1.50 ÷ 1.99
Umidità moderata	1.00 ÷ 1.49
Nella norma	-0.99 ÷ 0.99
Siccità moderata	-1.00 ÷ (-1.49)
Siccità severa	-1.50 ÷ (-1.99)
Siccità estrema	≤ (-2.00)

## **Focus sulla vite**

*Indice eliotermico di Huglin* (Heliothermal Index - HI): l'indice eliotermico permette di valutare l'evoluzione delle condizioni termiche e di luce, rispetto alle esigenze delle diverse varietà di vite messe a coltura (Huglin, 1978). L'indice si basa sostanzialmente sul calcolo di una particolare sommatoria termica (a soglia 10) che dà più peso al contributo della temperatura massima e su di un fattore di correzione che tiene conto delle condizioni di irraggiamento, legate alla latitudine. Il computo avviene per il periodo da aprile a settembre e permette di valutare le condizioni termiche raggiunte quando l'attività fotosintetica è massima.

$$HI = k \sum_4^9 \max \left[ \left( \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - 10 + T_{max} - 10 \right); 0 \right]$$

L'interpretazione dei valori dell'indice raggiunti a fine ciclo varia per i differenti vitigni:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Huglin\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Huglin_index)<sup>2</sup>

<https://wiki.wiforagri.com/wiki/indici-bioclimatici>

e per le diverse destinazioni dell'uva:

<http://www.sar.sardegna.it/documentazione/agro/huglin.asp>

## **Mappe fenologiche del mese**

L'analisi mensile include la redazione di mappe fenologiche relative allo stato raggiunto dalle colture a fine mese, pubblicate nel bollettino IPHEN (<https://www.reterurale.it/bollettinofeno>). Queste sono generate da modelli fenologici e corrette con i dati rilevati in campo dai rilevatori IPHEN (Mariani et al., 2013).

Al momento sono disponibili mappe per vite (varietà Chardonnay e Cabernet-Sauvignon) e olivo.

Dalla stagione 2022 saranno disponibili mappe fenologiche anche per la *Robinia pseudoacacia* e *Castanea sativa* (castagno).

## **Bibliografia essenziale**

- Allen R.G., Pereira R.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Roma Italy, 300 pp.
- Gobin, A., 2018. Weather related risks in Belgian arable agriculture. *Agricultural Systems* 159: 225-236 DOI: 10.1016/j.agry.2017.06.009.
- Beltrano M.C., De Natale F., Esposito S., Parisse B., **A survey on regional agrometeorological network in Italy**. F. Ventura, G. Seddaiu, G. Cola (a cura di), Atti del XX Convegno AIAM e XLVI Convegno SIA. Milano, 12-14 settembre 2017. pp. 38-42. DOI 10.6092/unibo/amsacta/5692.
- Esposito S., Beltrano M.C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafrate L., Libertà A., Parisse B., Scaglione M., 2015. Atlante italiano del clima e dei cambiamenti climatici. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura. Roma, pp. 264 ISBN 978-88-97081-80-7.
- Felber, R., Stoeckli, S. & Calanca, P., 2018. Generic calibration of a simple model of diurnal temperature variations for spatial analysis of accumulated degree-days. *Int J Biometeorol* 62, 621–630. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1471-5>.
- Huglin P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viti-cole. *C. R. Académie d'Agriculture (Acad. Agric.)*, 1117–1126.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Geneva.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [(eds.)]*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC, 2013. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mariani L., Alilla R., Cola G., Dal Monte G., Epifani C., Puppi G., Failla O., 2013. IPHEN a real time network for phenological monitoring and modelling in Italy. *IJBiom* 57: 881-893 DOI:10.1007/s00484-012-0615-x.
- Vicente - Serrano S.M., Begueria S., Lopez-Moreno J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*. 23: 1696-1718 DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Parisse B., Pontrandolfi A., Epifani C., Alilla R., De Natale F. (2020). An agrometeorological analysis of weather extremes supporting decisions for the agricultural policies in Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* (3): 15-30. <https://doi.org/10.13128/ijam-790>
- Pontrandolfi A., Alilla R., De Natale F., Parisse B. and Pepe A.G. (2020). Droughts and extreme events in agriculture: a comparison of three November – June periods in Italy. In *Book of Abstracts ClimRisk*

2020, SISC International Conference 21-23 October 2020, ISBN: 978-88-97666-16-5, DOI: 10.13140/RG.2.2.25961.11362, pp. 96-99

- WMO World Meteorological Organization and GWP Global Water Partnership, 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. ISBN: 978-92-63-11173-9.

- WMO World Meteorological Organization, 2017. WMO Guidelines on the calculation of climate normals. WMO-No. 1203. ISBN: 978-92-63-11203-3 [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4166](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166).