

Scheda Indicatore 6:

Indice di aridità di De Martonne

1 INQUADRAMENTO CONCETTUALE	1
2 METODO DI CALCOLO DELL'INDICATORE	3
3 APPLICAZIONE DELL'INDICE AL TERRITORIO PUGLIESE	4
4 ANALISI DEI FABBISOGNI IRRIGUI NEL TERRITORIO REGIONALE	10
5 CONCLUSIONI	13

1 INQUADRAMENTO CONCETTUALE

Nel contesto dei cambiamenti climatici, l'aumento dei fenomeni di siccità e l'ampliarsi delle zone a clima arido costituiscono uno dei maggiori rischi associati alla produzione agricola a livello globale (IPCC 2022¹). L'aridità è definita come una condizione climatica con scarse precipitazioni (e quindi disponibilità di acqua) in grado di inibire i processi biologici; questa si differenzia dalla siccità per il carattere di permanenza, laddove invece i fenomeni siccitosi assumono un carattere temporaneo (NCEI 2023²).

¹ IPCC, 2022: Summary for Policymakers [P.R. Shukla, J. Skea, A. Reisinger, R. Slade, R. Fradera, M. Pathak, A. Al Khouradajie, M. Belkacemi, R. van Diemen, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, D. McCollum, S. Some, P. Vyas, (eds.)]. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

² NCEI – National Center for Environmental Information (2023). Drought vs. Aridity. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/dyk/drought-aridity>.

Per misurare il grado di aridità di un contesto territoriale sono stati sviluppati diversi indicatori che utilizzano fondamentalmente diverse combinazioni dei principali fattori climatici quali temperatura, precipitazione ed evapotraspirazione.

In questa elaborazione si è utilizzato l'indice di De Martonne (1926³), ampiamente adoperato sia a livello nazionale che internazionale con buoni risultati (Pellicone et al 2019⁴). L'indice è costruito mettendo in relazione la temperatura media annua e la precipitazione cumulata annua di una determinata regione geografica tramite la seguente formula matematica:

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10}$$

Con P = precipitazione cumulata annua (mm)

T = temperatura media annua (°C)

I risultati ottenuti dell'indice di De Martonne permettono di classificare il clima di una determinata regione e di determinare condizioni climatiche potenzialmente critiche, come l'aridità o l'estrema umidità, che possono influire sulla produzione agricola. Questo indice è considerato di grande importanza quindi, non solo per applicazioni ambientali o climatologiche, ma anche per l'agricoltura. Di seguito si riporta l'associazione tra i valori finali

³ De Martonne, E. (1926). Aerisme, et indices d'aridité. Comptesrendus de L'Academie des Sciences, 182, 1395–1398.

⁴ Pellicone G., Caloiero T. & Guagliardi I. (2019) The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy), Journal of Maps, 15:2, 788-796, DOI: 10.1080/17445647.2019.1673840.



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

dell'indice di De Martonne, la relativa tipologia climatica individuata e la conseguente necessaria gestione irrigua (**Tabella 1**).

Tabella 1 – Tipi di clima e necessità irrigua associata ai valori dell'indice di De Martonne (modificato da Passarella et al. 2020⁵, Zucaro&Nencioni 2006⁷).

Valore I_{DM}	Tipo di clima	Necessità irrigua
$I_{DM} < 5$	Extra-arido	Irrigazione indispensabile
$5 \leq I_{DM} < 10$	Arido	Irrigazione indispensabile
$10 \leq I_{DM} < 20$	Semiarido	irrigazione indispensabile/utile
$20 \leq I_{DM} < 24$	Secco subumido (mediterraneo)	irrigazione spesso utile
$24 \leq I_{DM} < 28$	Subumido	irrigazione spesso utile
$28 \leq I_{DM} < 35$	Umido	irrigazione occasionale
$35 \leq I_{DM} < 55$	Perumido A	irrigazione non richiesta
$55 \leq I_{DM}$	Perumido B	irrigazione non richiesta

2 METODO DI CALCOLO DELL'INDICATORE

In questa elaborazione, l'indice I_{DM} è stato calcolato in ambiente GIS, in termini di media per il trentennio passato (1951- 1980) e per il trentennio più recente (1991-2020), col fine di evidenziare un possibile shift nella condizione climatica (sul metodo vedi anche JRC 2019⁷) del territorio pugliese (trent'anni è il periodo temporale minimo per analisi di tipo climatico secondo la WMO). Si è proceduto quindi all'intersezione dei due layer generati per i due periodi analizzati, ottenendone un terzo, raffigurante le porzioni di territorio dove è avvenuto un

⁵ Passarella, G., Bruno, D., Lay-Ekuakille, A., Maggi, S., Masciale, R., & Zaccaria, D. (2020). Spatial and temporal classification of coastal regions using bioclimatic indices in a Mediterranean environment. *Science of the Total Environment*, 700. <https://doi.org/10.1016/J.SCIOTENV.2019.134415>.

⁶ Zucaro, Raffaella, Nencioni, Cristina (2007), Rapporto sullo stato dell'irrigazione nel Lazio. Roma: INEA, pp. 272.

⁷ JRC – Joint Research Center (2019) WORLD ATLAS OF DESERTIFICATION. Change in Aridity. <https://wad.jrc.ec.europa.eu/changearidity>.

cambio nella tipologia climatica individuata dall'indice I_{DM} .

Infine, basandosi sui risultati dell'indice nel periodo recente 1991-2020, si sono individuate (attraverso un'intersezione con il layer degli usi del suolo agricoli) le coltivazioni pugliesi esposte alle differenti condizioni climatiche e quindi alle differenti necessità irrigue.

Per quanto riguarda i dati utilizzati, l'indice si è calcolato attraverso i dati raster (risoluzione 1km) di i) precipitazione cumulata annua e ii) temperatura media annua messi a disposizione da ISPRA per il progetto BIGBANG 6.0 (Braca et al., 2021⁸).

3 APPLICAZIONE DELL'INDICE AL TERRITORIO PUGLIESE

Valori dell'indice di De Martonne nei due periodi considerati

Il calcolo dell'indice di De Martonne per i due periodi climatici restituisce la suddivisione del territorio regionale pugliese in tipologie climatiche basate sul livello di aridità/umidità nei due periodi considerati (**Figura 1** e **Figura 2**).

⁸ Braca, G., Bussetтини, M., Lastoria, B., Mariani, S., & Piva, F. (2021). Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 339/21, Roma.



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

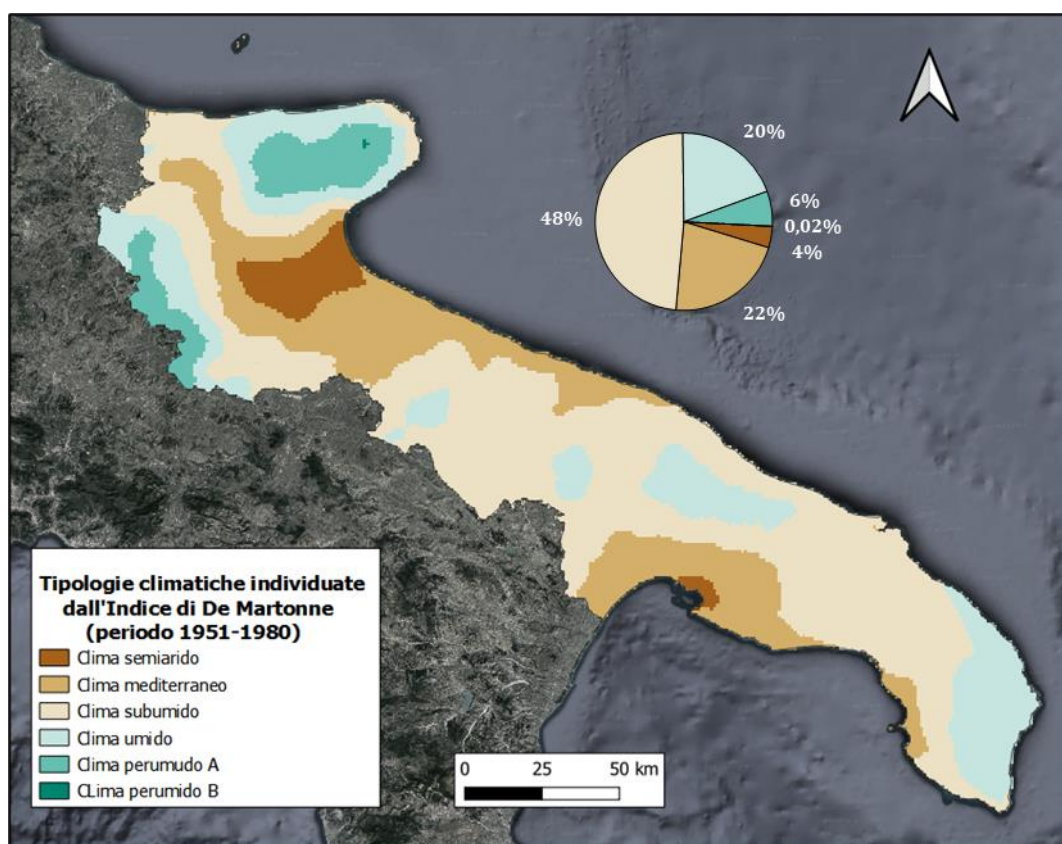


Figura 1 – Tipologie climatiche (e relativo rapporto percentuale) individuate dall'indice di De Martonne nel periodo 1951-1980 nella regione Puglia.

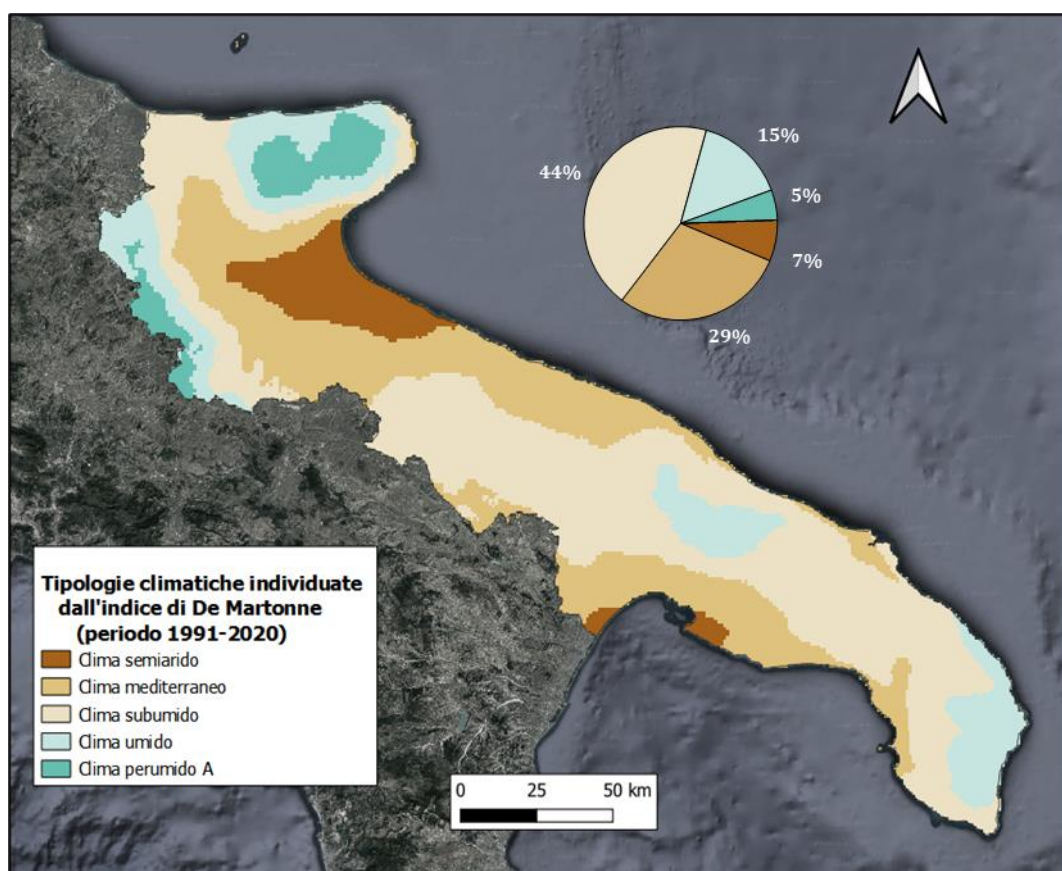


Figura 2 – Tipologie climatiche (e relativo rapporto percentuale) individuate dall'indice di De Martonne nel periodo 1991-2020 nella regione Puglia.

Nella **Figura 3** che segue, inoltre, è riportato il layer risultante dall'operazione di intersezione tra i due sopra riportati. In questo modo si possono localizzare, con maggiore precisione, le zone del territorio pugliese dove sono avvenuti i cambi tra tipologie climatiche e in quale direzione.

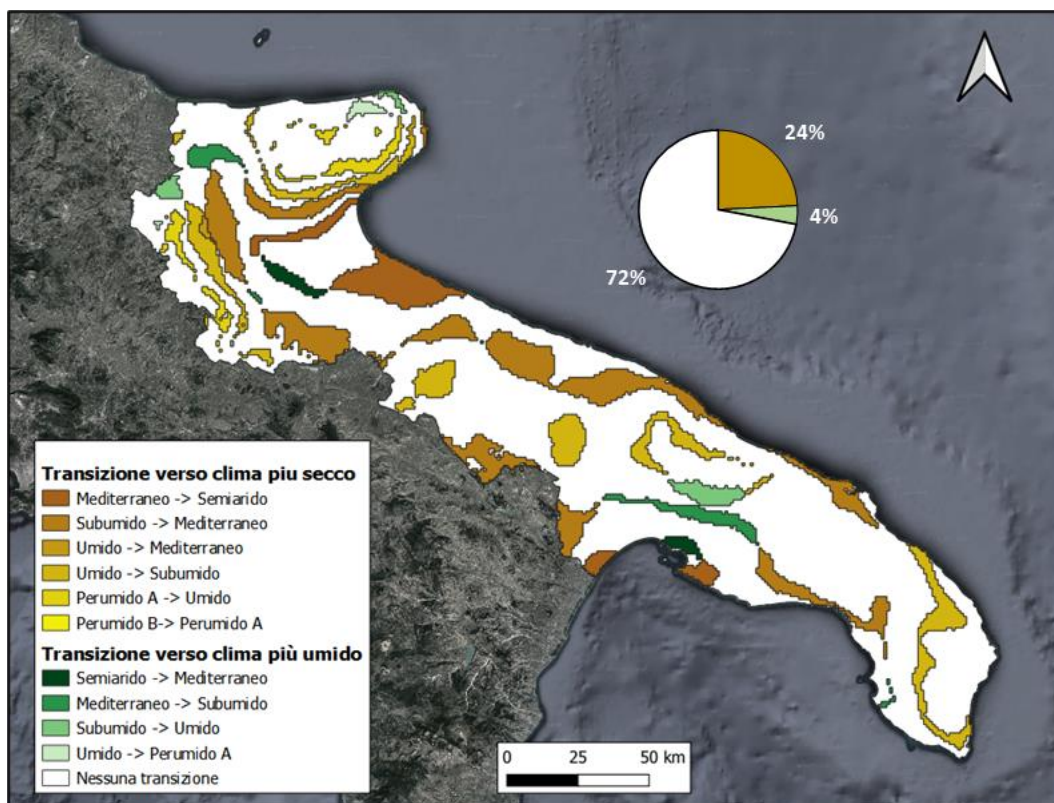


Figura 3 – Transizioni tra tipologie climatiche individuate dall’indice di De Martonne nel periodo 1991-2020 rispetto al periodo 1951-1980 nella regione Puglia. Nota: le percentuali riportate nel grafico a torta si riferiscono al totale delle transizioni verso climi più secchi (in marrone) e climi più umidi (verde), mentre in bianco è riportata la percentuale del territorio che non ha sperimentato una transizione.

È possibile notare come il territorio regionale non sperimenti e non abbia sperimentato nel passato (per lo meno quello indagato in questa elaborazione) livelli di aridità propri delle classi più estreme dell’indice come quelle rinominate in clima “**extra-arido**” ($I_{DM} < 5$) e “**arido**” ($5 \leq I_{DM} < 10$).

D’altro canto, le classi più umide dell’indice, ovvero le tipologie climatiche definite “**perumido A**” ($35 \leq I_{DM} < 55$) e “**perumido B**” ($55 \leq I_{DM}$), sono presenti con valori percentuali sul totale della superficie regionale molto ridotti in entrambi i periodi indagati, con riduzioni relative

significative nel periodo più recente (-100% per il perumido B, - 21% per il perumido A), vedi anche tabella 2 riportata di seguito. La zone a clima perumido B, inizialmente localizzata all'interno della foresta Umbra e occupante circa 400ha, scompare del tutto nel periodo più recente, mentre la zona a clima perumido A, si riduce di circa 25.919 ha, rimanendo localizzata solamente in porzioni areali localizzabili nelle zone del Gargano e dei Monti Dauni con un estensione totale equivalente al solo 5% del totale della superficie regionale.

In entrambi i periodi analizzati la classe maggioritaria in termini di superficie risulta quella associata al **clima subumido** ($24 \leq I_{DM} < 28$), con una riduzione relativa però di circa il 9% (86.260ha), avvenuta soprattutto nel Tavoliere e nella Puglia centrale a favore del sopravanzare della classe a clima mediterraneo ($20 \leq I_{DM} < 24$). Nel periodo recente il clima subumido ricopre circa il 44% della superficie regionale a fronte del 48% nel clima passato, occupando un totale di 849.689 ettari, distribuiti prevalentemente nella Puglia interna centrale e meridionale.

La classe a **clima mediterraneo** ($20 \leq I_{DM} < 24$) è quella che ottiene un incremento in termini assoluti maggiori (142.230 ha) e ricopre nel periodo 1991-2020 il 29% del territorio regionale, a fronte del 22% del periodo climatico passato. Come specificato in precedenza l'allargarsi dell'areale a clima mediterraneo è dovuto soprattutto allo shift dalla classe a clima a sub-umido nelle zone del Tavoliere e della Puglia centrale, con transizioni anche nel Tavoliere salentino, arco jonico, alta Murgia e costa brindisina.

Infine, anche per la classe più arida riscontrata in questa analisi, ovvero quella a **clima semiarido** ($10 \leq I_{DM} < 20$), si riscontra un sopravanzare nel periodo più recente, con un aumento in termini assoluti di 56.632 ha (+76% in termini relativi) localizzato in particolare nel Tavoliere, nella zona di Ofanto e nell'arco jonico. In termini percentuali questa classe passa dal 4% al 7% della superficie regionale.



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

In generale le transizioni verso tipologie climatiche più secche sono avvenute sul 24% (468.431 ha) della superficie regionale, mentre solo il 4% del territorio ha sperimentato una transizione verso tipologie climatiche più umide. Il 72% della superficie regionale non è interessata invece da una transizione nella tipologia climatica individuata dall'indice di De Martonne.

Tabella 2 – *Variazioni relative (%) ed assolute (ettari) delle classi climatiche individuate dall'indice di De Martonne nel periodo 1991-2020 rispetto al 1951-1980.*

CLASSI I_{DM}	TIPOLOGIA CLIMATICA	GESTIONE IRRIGUA	AREA 1951-1980 (ha)	AREA 1991-2020 (ha)	VARIAZIONE assoluta (Ha)	VARIAZIONE relativa (%)
$I_{DM} < 5$	Iperarido	Irrigazione indispensabile	0,00	0,00	/	/
$5 \leq I_{DM} < 10$	Arido	Irrigazione indispensabile	0,00	0,00	/	/
$10 \leq I_{DM} < 20$	Semiarido	irrigazione indispensabile/util e	75.648	133.279	+57.632	+76%
$20 \leq I_{DM} < 24$	Secco subumido (mediterraneo)	irrigazione spesso utile	419.934	562.164	+142.230	+34%
$24 \leq I_{DM} < 28$	Subumido	irrigazione spesso utile	935.949	849.689	-86.260	-9%
$28 \leq I_{DM} < 35$	Umido	irrigazione occasionale	379.485	292.203	-87.282	-23%
$35 \leq I_{DM} < 55$	Perumido A	irrigazione non richiesta	123.489	97.570	-25.919	-21%
$55 \leq I_{DM}$	Perumido B	irrigazione non richiesta	400	0,00	-400	-100%

Come possibile notare nella tabella riassuntiva, le classi che sono aumentate in superficie sono quelle con valori dell'indice di De Martonne corrispondenti ai climi "più secchi" (semiarido e mediterraneo), a scapito delle classi "più umide". La configurazione finale regionale nel periodo 1991-2020 vede primeggiare in termini di superficie occupata la classe a clima subumido, seguita da quella mediterraneo, umido, semiarido e perumido A.

4 ANALISI DEI FABBISOGNI IRRIGUI NEL TERRITORIO REGIONALE

Tenendo conto delle necessità irrigue associate alle tipologie climatiche è possibile valutare la percentuale di territorio regionale che, in base ai risultati dell'indice per il periodo recente (1991-2020), necessiterebbe di irrigazione per assicurare una produttività agricola adeguata. Queste indicazioni ovviamente sono da rapportare alla complessità originata a livello locale e determinata da altri fattori che possono determinare la vulnerabilità delle colture all'assenza ad esempio d'irrigazione, quali appunto la presenza di un sistema irriguo, la tipologia di terreno ed infine le caratteristiche e necessità irrigue delle singole coltivazioni.

Al netto di quanto detto sopra, raggruppando le classi a clima semiarido, mediterraneo e sub umido, ovvero quelle dove, secondo l'indice l'irrigazione risulta necessaria (irrigazione indispensabile e utile), si ottiene che queste occupano circa l'80% del territorio regionale (**Figura 4**).

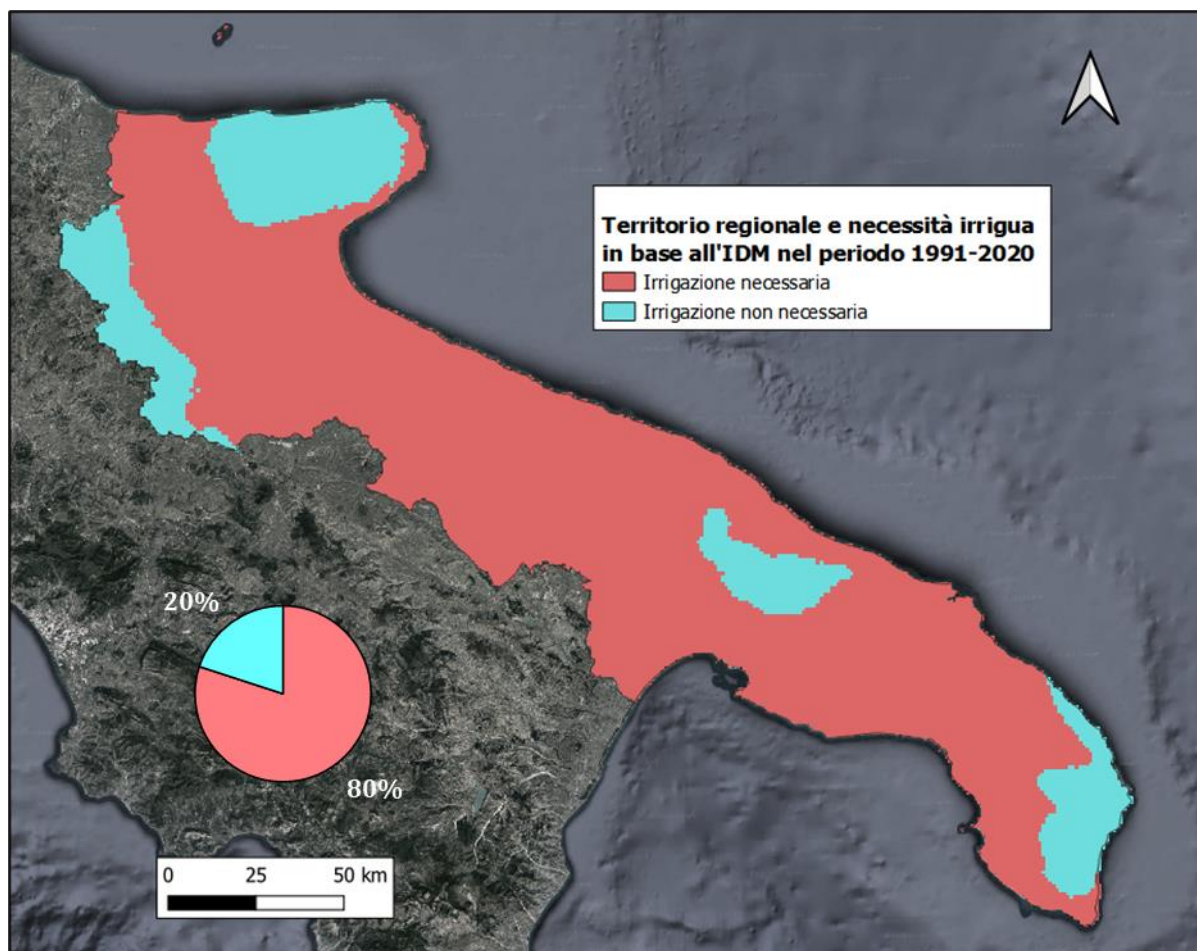


Figura 4 – Classificazione del territorio regionale pugliese in aree con o senza necessità irrigua in base ai valori medi dell'Indice di De Martonne nel periodo 1991-2020.

Le sole aree dove non risulta necessaria l'irrigazione si estendono sui Monti Dauni, buona parte del Gargano, Salento orientale e Valle d'Itria.

Per quanto riguarda le aree che necessitano irrigazione, tramite l'intersezione con il dato relativo alle superfici agricole, si è ottenuto che ivi ricadono l'86% delle coltivazioni agricole pugliesi – la differenza con la percentuale di territorio interessata dai corrispondenti tipi di clima essendo dovuta alla prevalenza nelle aree caratterizzate da climi più umidi di ambienti

seminaturali (sul promontorio del Gargano e i Monti Dauni). A tal proposito si riportano due grafici che raffigurano le categorie colturali ricadenti in ciascuna tipologia climatica individuata dall'indice di De Martonne (**Grafico 1** e **Grafico 2**), sia in termini assoluti di superficie (ettari) che relativi (percentuale sul totale della rispettiva superficie). In base a quanto definito in precedenza, le barre dei grafici con gradazioni marrone-giallo indicano le superfici agricole ricadenti nelle classi con necessità irrigue, mentre le gradazioni del verde indicano quelle ricadenti in classi climatiche senza necessità irrigue rilevanti secondo l'indice di De Martonne.

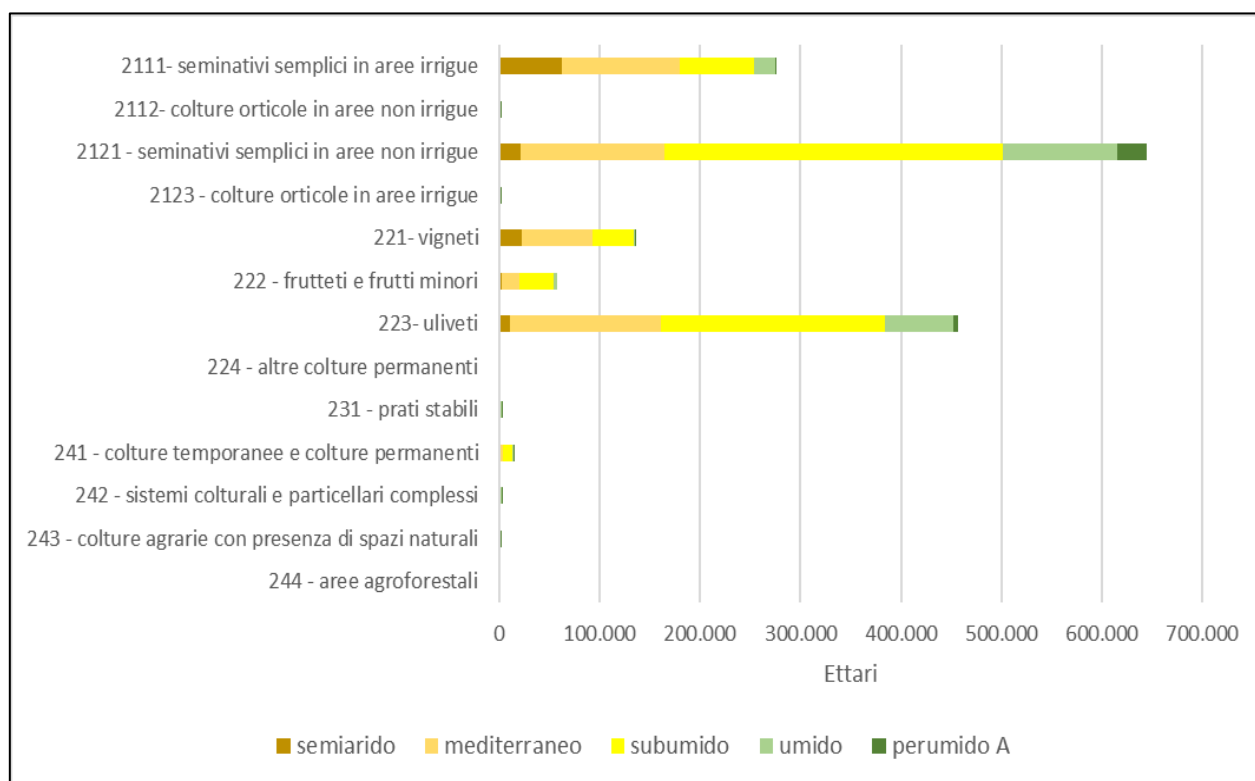


Grafico 1 – Tipologia e superfici agricole (ettari) ricadenti nelle tipologie climatiche individuate dall'indice di De Martonne nella regione Puglia per il periodo 1991-2020.

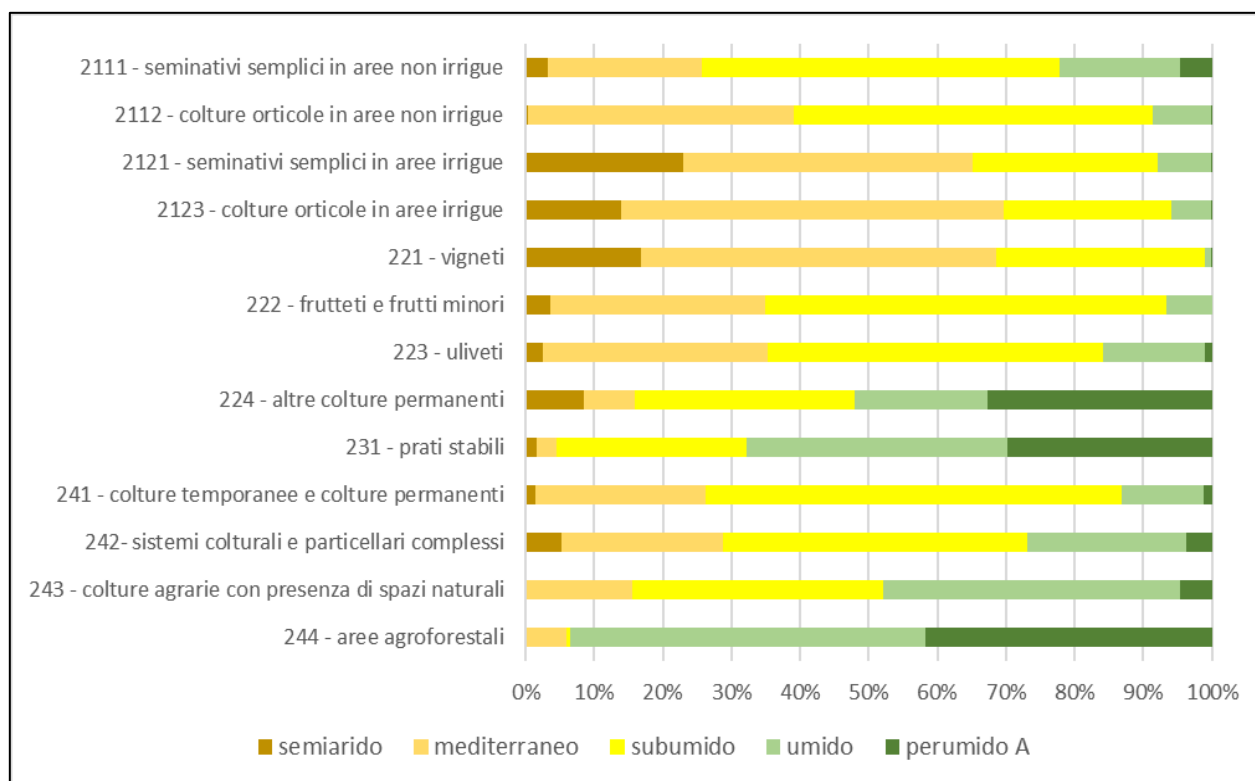


Grafico 2 – Tipologia e superfici agricole (percentuale sul totale della rispettiva superficie per tipologia) ricadenti nelle tipologie climatiche individuate dall'indice di De Martonne nella regione Puglia per il periodo 1991-2020.

5 CONCLUSIONI

Queste elaborazioni possono fornire delle utili informazioni per la potenziale vocazionalità delle aree agricole pugliesi poiché permettono d'individuare a livello territoriale alcune tipologie climatiche con caratteristiche peculiari e necessità irrigue differenti.

L'individuazione delle colture agricole che giacciono nelle aree con differenti tipologie climatiche (vedi Grafici 1 e 2), unita a considerazioni aggiuntive sulla specifica sensibilità

colturale alla carenza idrica, alla presenza o meno d'infrastrutture irrigue e alla tipologia di terreno presente, potrebbero condurre a considerazione ancora più specifiche sulle potenzialità e vulnerabilità del comparto agricolo pugliese.

Le considerazioni riguardo il cambiamento avvenuto nelle tipologie climatiche individuate dall'indice nei due periodi considerati, dove si registra un sostanziale ampliamento delle aree con tipologie climatiche relativamente più secche ed aride nel periodo recente, unite alle proiezioni climatiche che vedono il sopravanzare di condizioni a maggiori aridità anche per i prossimi decenni, dovrebbero far riflettere sull'importanza dell'utilizzo sia di colture adatte al clima che verrà, sia di alcune pratiche di adattamento al cambiamento climatico come le pratiche di agricoltura conservativa, l'irrigazione di precisione ed in generale le pratiche di climate smart agriculture (EEA 2019⁹).

⁹ EEA – European Environment Agency (2019). Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report No 4/2019. ISBN 978-92-9480-072-5
<https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>.



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