

# **Allegato A: la meteorologia in provincia di Modena**

Report dati anno 2022

# Sommario

Introduzione	3
Le caratteristiche climatiche di Modena	4
Temperatura	5
Precipitazioni	7
Intensità e direzione del vento	8
Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono	9

# Introduzione

I processi meteorologici influenzano in modo vario e complesso l'inquinamento atmosferico: all'interno dell'atmosfera gli inquinanti vengono dispersi e subiscono varie trasformazioni del loro stato fisico e chimico. In particolare, gli episodi di inquinamento sono regolati **sia da processi meteorologici a scala regionale, sia da quelli a scala locale**, che avvengono all'interno dello strato di atmosfera direttamente sopra la superficie, detto strato limite atmosferico (atmospheric boundary layer)<sup>1</sup>.

Per quanto riguarda i fenomeni a **scala regionale** risultano particolarmente rilevanti i fenomeni di stagnazione della massa d'aria chimica<sup>2</sup>. Le masse d'aria vengono create quando l'aria diviene stagnante su una determinata regione d'origine (oceano, mare, continente o bacino aerologico) e di conseguenza assume caratteristiche tipiche di quella regione (ad es. aria calda e umida oceanica, fredda e secca continentale). Accade così che l'aria che risiede per un certo periodo sull'area padana (ricca di industrie, ad elevato traffico ed intensa attività umana) si arricchisce di sostanze inquinanti quali ossidi di azoto e composti organici volatili che, oltre a produrre direttamente inquinamento, rappresentano potenziali precursori dell'inquinamento da ozono. Al contrario, una massa d'aria proveniente dal mare, dove non sono presenti sorgenti inquinanti significative, sarà relativamente povera di inquinanti.

I processi meteorologici a **scala locale** sono responsabili del grado di rimescolamento e quindi di diluizione dell'inquinante dopo il suo rilascio; tali processi si verificano principalmente nello strato limite atmosferico e dipendono sia da fenomeni di turbolenza meccanica, che termica, legate rispettivamente al gradiente di vento e al bilancio di calore in prossimità della superficie.

In particolare, le principali grandezze meteorologiche misurabili, tipiche dello strato limite e che influenzano maggiormente i processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione degli inquinanti sono:

- le **temperature** che, se sufficientemente elevate, facilitano i processi di rimescolamento turbolento in prossimità della superficie e quindi la rimozione di inquinanti; temperature elevate favoriscono però anche la formazione di ozono e di inquinanti secondari;
- le **precipitazioni** responsabili dei processi di deposizione e rimozione umida degli inquinanti in atmosfera;
- l'**intensità del vento**, che allontana più o meno rapidamente gli inquinanti dalle zone di rilascio, e la sua **direzione**, che determina verso quale direzione gli inquinanti vengono trasportati; importante è anche la frequenza delle calme di vento e di bave di vento secondo la scala Beaufort (velocità minori di 1,5 m/s) che producono un ristagno di inquinanti in prossimità della sorgente.

---

<sup>1</sup> Lo strato limite atmosferico è quella parte di atmosfera (approssimativamente dalla superficie fino ad un paio di chilometri di quota) influenzata direttamente dalle interazioni con la superficie terrestre

<sup>2</sup> In meteorologia una massa d'aria è una regione d'aria di dimensioni variabili, che mostra caratteristiche simili di temperatura, umidità e stabilità verticale

# Le caratteristiche climatiche di Modena

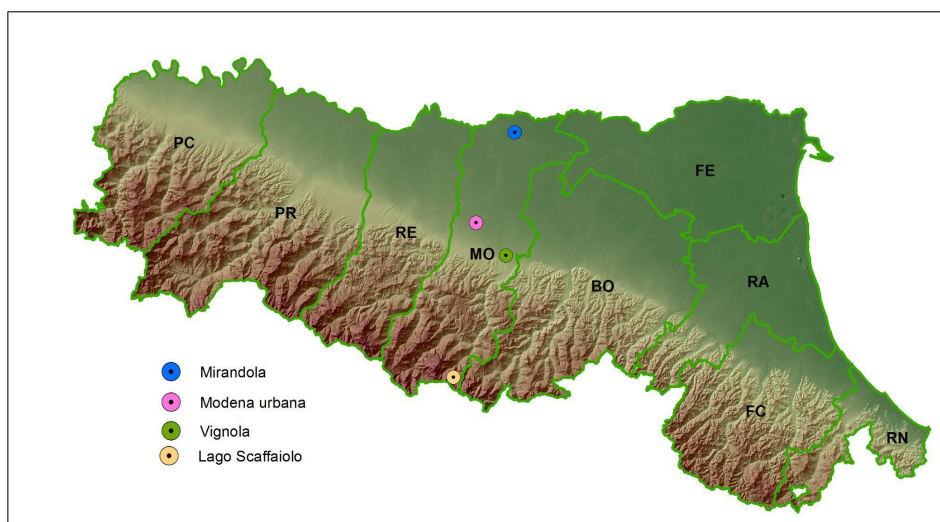
Il territorio provinciale può essere diviso in **tre comparti geografici principali**, differenziati tra loro sia sotto il profilo puramente topografico, sia per i caratteri climatici. Si individua infatti una vasta **zona di pianura interna** (settentrionale e centrale) che si estende dai comuni più a nord della provincia fino al comune di Modena, una **zona pedecollinare-collinare** a sud del comune di Modena, ed una **zona appenninica**, che comprende diversi comuni dove gran parte del territorio risulta a quote superiori a 600 metri slm.

Nella zona di **pianura interna** si hanno condizioni climatiche tipiche del clima padano/continentale: scarsa circolazione aerea, con frequente ristagno d'aria per presenza di calme anemologiche e formazioni nebbiose. Queste ultime, più frequenti e persistenti nei mesi invernali, possono fare la loro comparsa anche durante il periodo estivo. Gli inverni, più rigidi, si alternano ad estati molto calde ed afose per elevati valori di umidità relativa.

La fascia **pedecollinare-collinare**, rispetto alla pianura interna, è caratterizzata da una maggiore ventosità e nuvolosità nei mesi estivi, la presenza di un regime di brezze monte-valle, una maggiore abbondanza di precipitazioni; questi fattori, dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico, determinano una capacità dispersiva maggiore rispetto a quella presente nella Pianura, poco più a Nord.

La fascia **appenninica**, disposta secondo un allineamento O-N-O/E-S-E, esercita un'azione di sbarramento nei confronti delle correnti tirreniche umide e temperate e, contestualmente, favorisce il sollevamento delle masse di aria che provengono da nord e influenza direttamente il clima della pianura. In questo territorio si accentuano ulteriormente le caratteristiche climatiche che favoriscono una migliore dispersione degli inquinanti, descritte per la fascia pedecollinare-collinare.

La figura seguente riporta la posizione di quattro stazioni meteorologiche gestite dal SIMC-Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpae, che caratterizzano i comparti geografici sopra descritti.



Presso tali punti sono state determinate le grandezze meteorologiche (**anno 2022**) che influenzano maggiormente i processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione degli inquinanti (temperatura, precipitazioni, intensità e direzione del vento) ricavate dall'output del modello meteorologico COSMO-LAMI, gestito da ARPAE-SIMC. I dati si riferiscono ad una quota di 10 metri dal suolo.

Per completezza, vengono inoltre riportati i dati di temperatura e precipitazione elaborati dall'Osservatorio Clima di Arpae presenti all'interno del rapporto IdrometeoClima Emilia Romagna (**Dati 2022**)<sup>3</sup>, che contiene anche il confronto rispetto alla media climatologica del periodo 1991-2020, al fine di evidenziare le anomalie riferibili all'anno indagato.

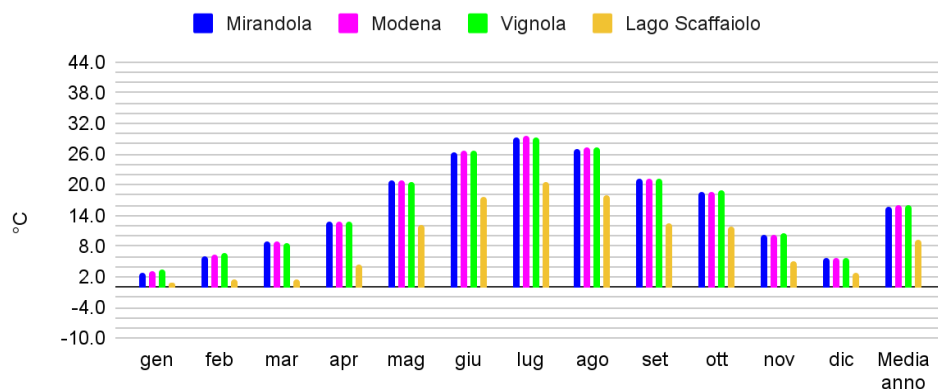
<sup>3</sup> <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/report-meteo/rapporti-annuali>

## Temperatura

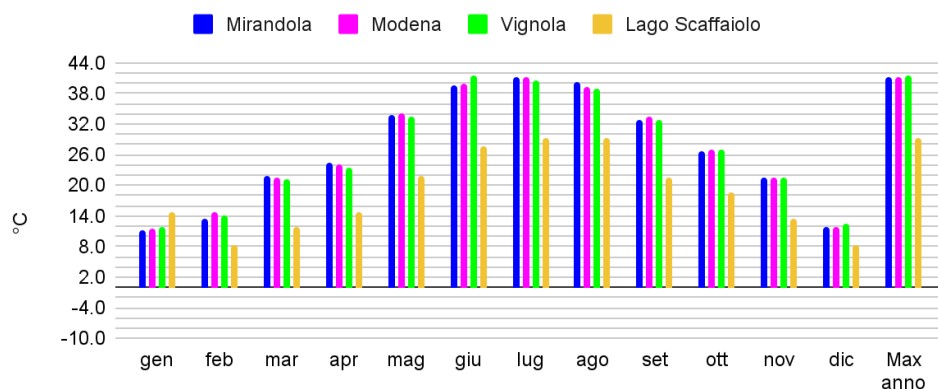
La temperatura media mensile mostra un andamento stagionale in cui giugno, luglio e agosto risultano i mesi più caldi e i mesi di dicembre e gennaio quelli più freddi.

Mirandola, Modena e Vignola mostrano valori simili sia nelle medie che nei massimi e nei minimi, mentre Lago Scaffaiolo, pur avendo lo stesso andamento delle altre tre, registra valori decisamente inferiori.

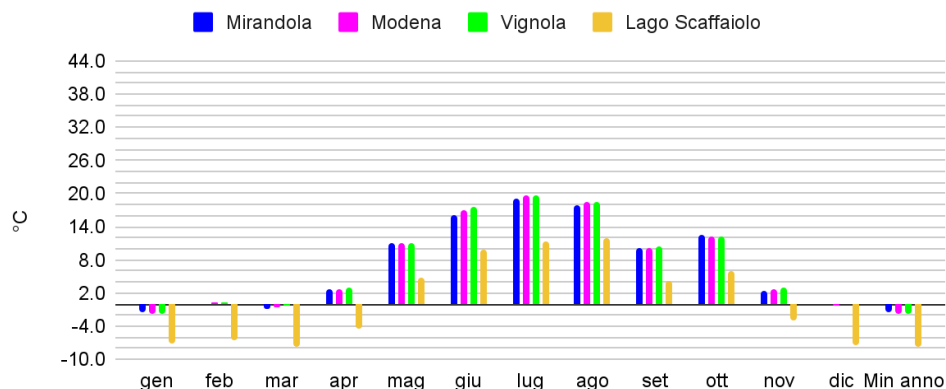
**Temperatura media**



**Temperatura massima**

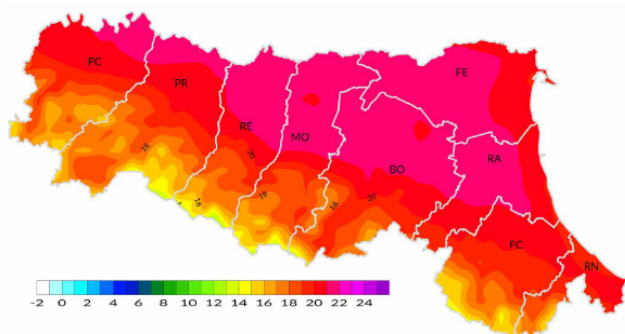


**Temperatura minima**

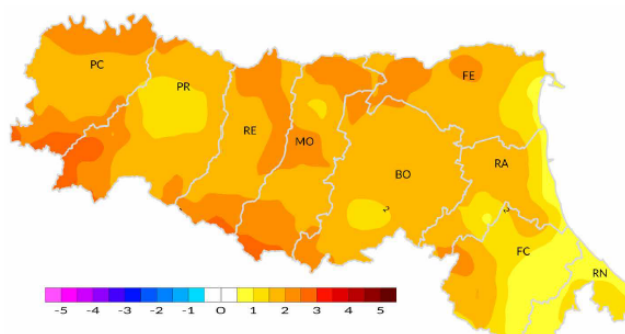


La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura massima mostra valori compresi tra 10°C lungo l'Appennino centrale e 21.5 °C in gran parte della pianura. Le anomalie annue calcolate rispetto al 1991-2020 sono state positive su tutta la regione, con punte fino a 2.7 °C.

## Le caratteristiche climatiche del territorio provinciale

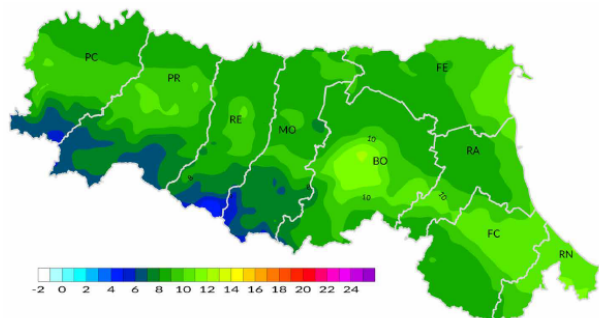


Media annuale della temperatura massima (°C), anno 2022

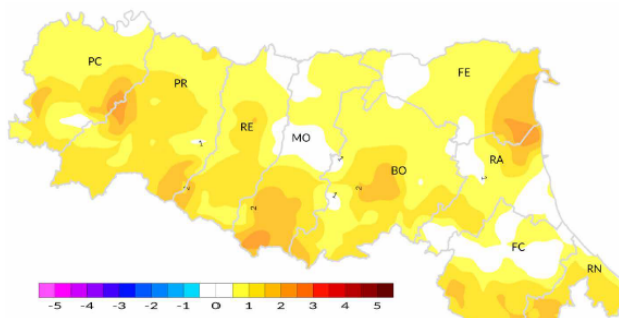


Anomalia della media della temperatura massima (°C)  
dell'anno 2022 rispetto al clima 1991-2020

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura minima mostra valori compresi tra 4°C lungo l'Appennino centrale e 12.3 °C nel comune di Bologna. Le anomalie annue calcolate rispetto al 1991-2020 sono state positive su tutta la regione, con punte fino a 2.0 °C.

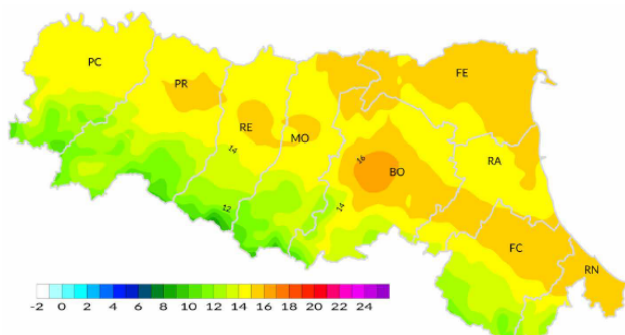


Media annuale della temperatura minima (°C), anno 2022

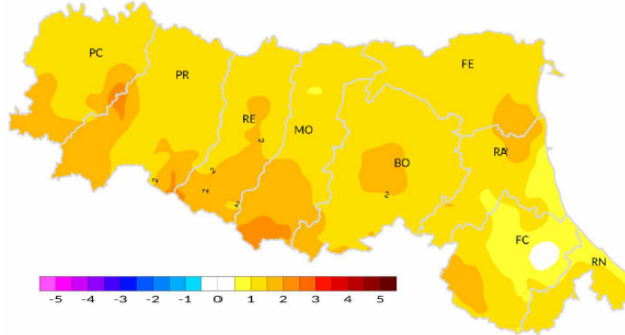


Anomalia della media della temperatura minima (°C)  
dell'anno 2022 rispetto al clima 1991-2020

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura media mostra valori compresi tra 7.6°C lungo l'Appennino centrale e 16.7 °C nel comune di Bologna. Le anomalie annue calcolate rispetto al 1991-2020 sono state positive su tutta la regione, con punte fino a 2.4 °C.



Media annuale della temperatura media (°C), anno 2022



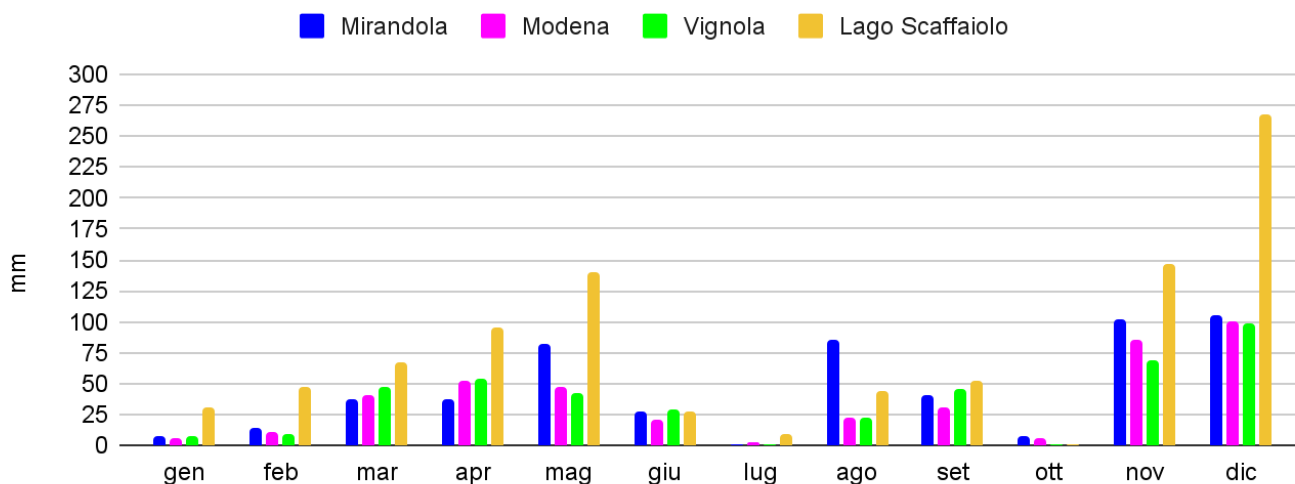
Anomalia della media della temperatura media (°C) dell'anno  
2022 rispetto al clima 1991-2020

## Precipitazioni

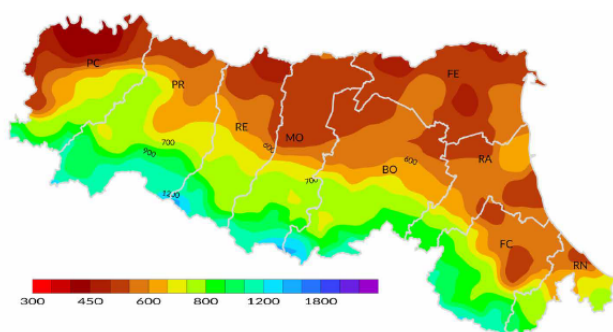
Dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata annuale si osserva che la zona di pianura settentrionale è stata caratterizzata da una piovosità maggiore rispetto a Modena e Vignola (546 mm in un anno rispetto a 426 mm di Modena e 430 mm di Vignola). L'area montana risulta la più piovosa, con 931 mm.

I mesi più piovosi sono risultati novembre e dicembre in tutto il territorio provinciale.

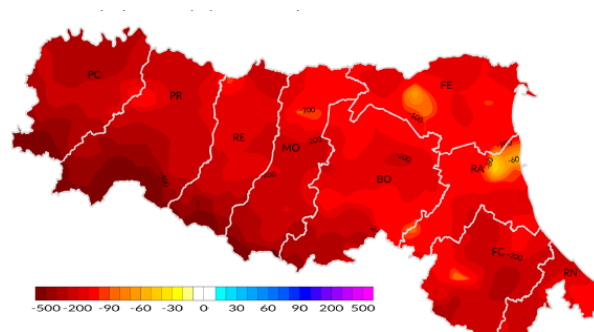
### Precipitazione cumulata



La distribuzione spaziale della precipitazione totale annua mostra valori compresi tra 470 mm nelle zone di pianura settentrionale e 1450 mm lungo l'Appennino centrale. Le anomalie annue calcolate rispetto al 1991-2020 sono state negative su tutta la regione e molto intense sul crinale.



Precipitazioni totale annue (mm), anno 2022



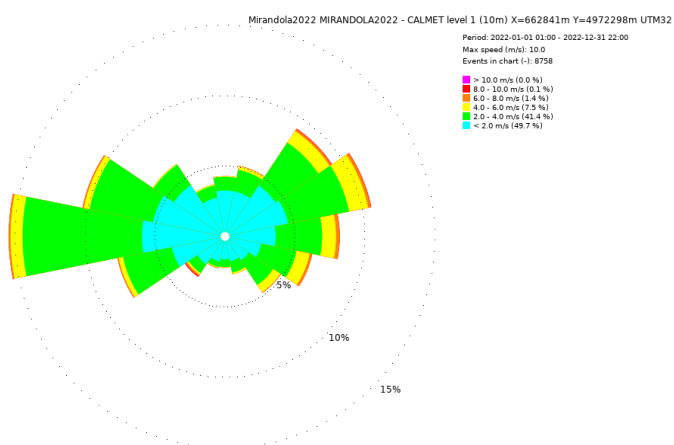
Anomalia delle precipitazioni totali annue dell'anno 2022 rispetto al clima 1991-2020

## Intensità e direzione del vento

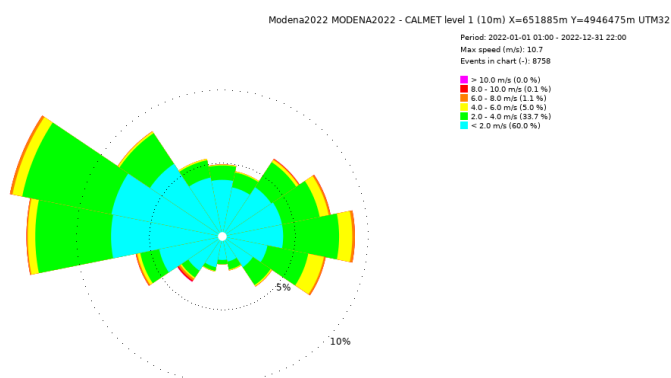
La direzione prevalente di provenienza dei venti varia a seconda del comparto geografico: nella pianura interna (settentrionale e centrale) è più frequente la direzione da Ovest (Mirandola) a cui si aggiunge quella da Ovest-Nord-Ovest (Modena). Nell'area pedecollinare, oltre a queste componenti inizia ad evidenziarsi quella da Sud-Ovest, che spicca a Lago Scaffaiolo insieme alla componente aggiuntiva da Nord-Nord-Ovest.

Per quanto riguarda l'intensità del vento, si evidenzia un incremento dei valori spostandosi verso l'area collinare-montana. In particolare, la percentuale sui dati orari annui di calme e bave di vento secondo la scala Beaufort (intensità < 1,5 m/s) varia da 38% per Modena, a 29% per Mirandola, a 41% per Vignola a 18% presso il Lago Scaffaiolo.

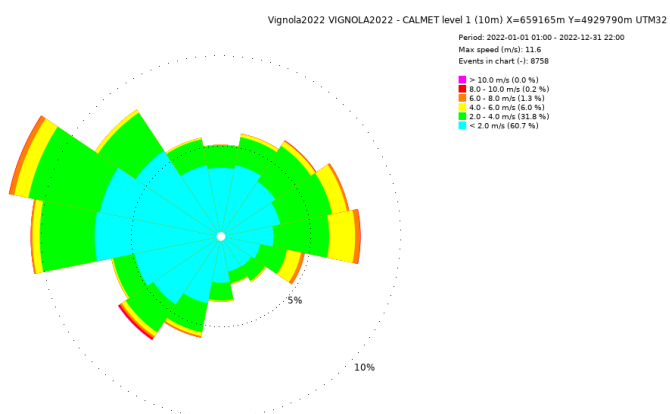
Pianura settentrionale: Mirandola



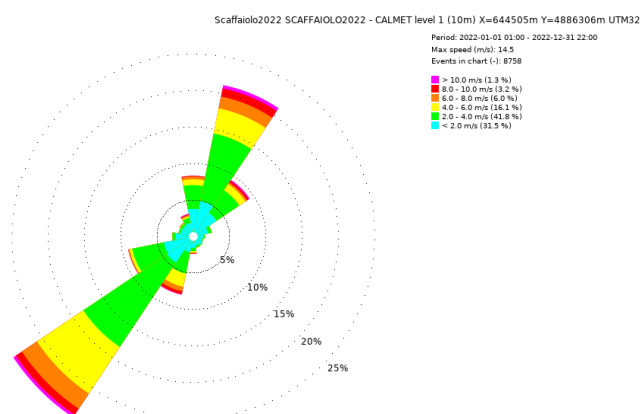
Pianura centrale: Modena



Area pedecollinare: Vignola



Area montana: Lago Scaffaiolo





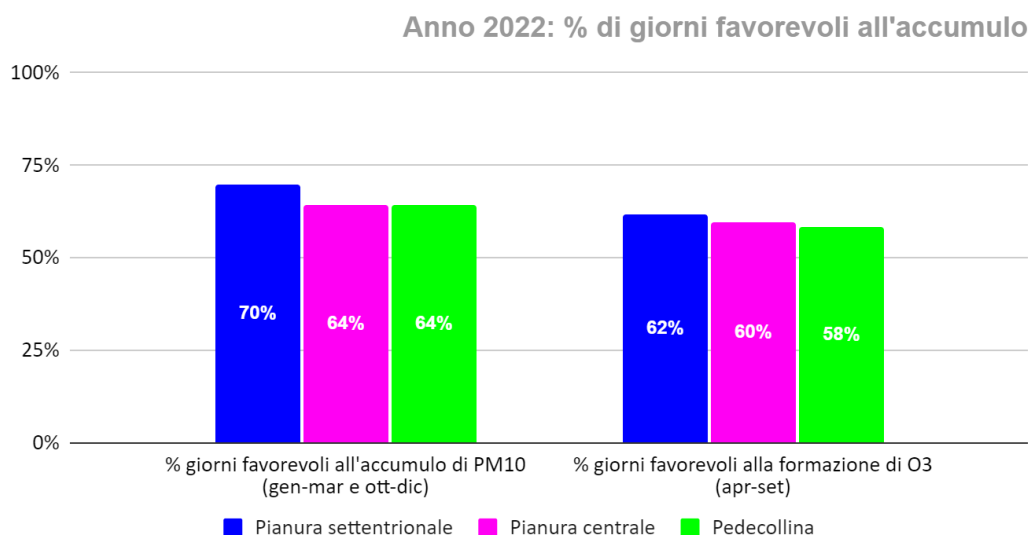
# Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono

Poiché la meteorologia influenza la formazione/dispersione/accumulo degli inquinanti in atmosfera, il Servizio IdroMeteoClima ha costruito due indicatori, rappresentativi uno delle condizioni meteorologiche che possono determinare l'accumulo di inquinanti al suolo (giorni favorevoli all'accumulo di PM10) e l'altro delle condizioni che favoriscono le reazioni innescate dalla radiazione solare, quali la formazione dell'ozono (giorni favorevoli alla formazione di ozono).

Sono definiti "giorni favorevoli all'accumulo di PM10" le giornate senza pioggia (precipitazione < 0,3 mm) in cui l'indice di ventilazione (definito come il prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento) è inferiore a 800 m<sup>2</sup>/s. Si tratta cioè di giornate in cui l'indebolirsi della turbolenza nei bassi strati dell'atmosfera determina condizioni di stagnazione e in cui sono assenti processi di rimozione degli aerosols da parte della pioggia.

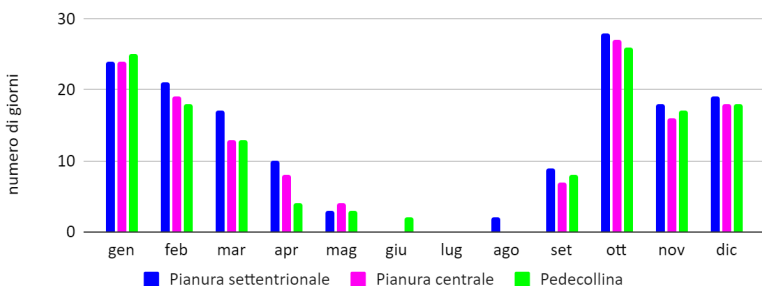
I "giorni favorevoli alla formazione di ozono" troposferico sono stati invece identificati con quelli in cui la temperatura massima giornaliera supera i 29°C: l'ozono si forma nei bassi strati dell'atmosfera a seguito di trasformazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto e i composti organici volatili e tali reazioni sono innescate dalla radiazione solare, pertanto favorite dalle alte temperature, caratteristiche delle giornate estive.

Il calcolo di tali giornate viene svolto su tre punti diversi della provincia: un punto che caratterizza la pianura settentrionale, uno quella centrale e uno l'area pedecollinare.

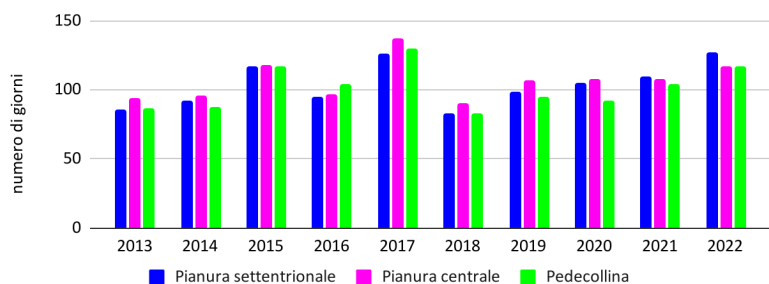


## Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono

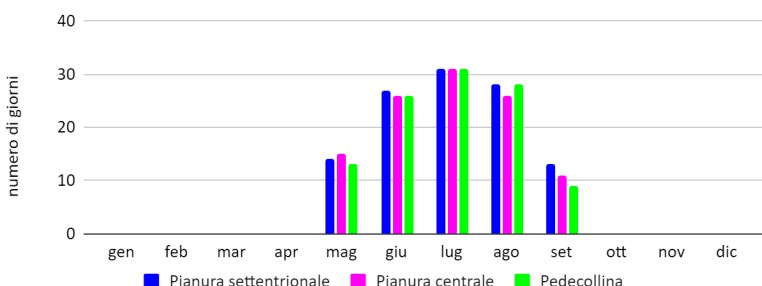
Anno 2022: numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10



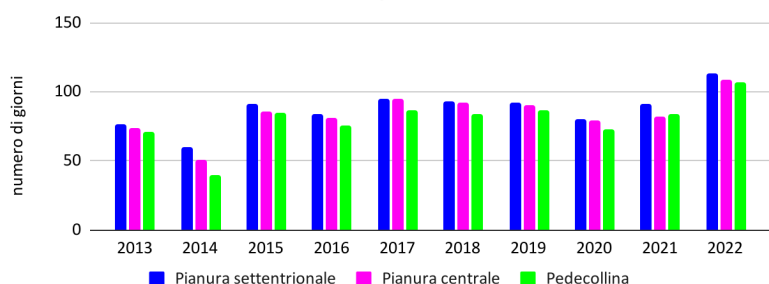
Trend numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10



Anno 2022: numero di giorni favorevoli alla formazione di O3



Trend numero di giorni favorevoli alla formazione di O3



Nel 2022, la percentuale di giornate favorevoli all'accumulo di PM10 varia, nelle tre aree prese a riferimento, tra il 64% e il 70% delle giornate comprese nel semestre gennaio-marzo e ottobre-dicembre, mentre le giornate favorevoli alla formazione di ozono oscillano tra il 58% e il 62% delle giornate comprese nel periodo aprile-settembre. Non si osservano variazioni significative tra le tre aree, seppur le condizioni più favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di O3 si registrino nell'area di pianura settentrionale.

Relativamente alle giornate favorevoli all'accumulo di PM10, nel 2022 i mesi peggiori sono risultati gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre e dicembre; l'anno è stato caratterizzato da condizioni più favorevoli all'accumulo rispetto al 2021.

Per quanto riguarda invece le giornate favorevoli alla formazione di ozono, giugno, luglio, agosto sono risultati i mesi più critici; anche per l'O3, relativamente al trend annuale, si osserva un incremento rispetto al 2021.