

# Allegato A: la meteorologia in provincia di Modena

## report dati anno 2020

**Arpae** - Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna

**Servizio Sistemi Ambientali** – Area Prevenzione ambientale – Area Centro

Viale A.Fontanelli n.23 | 41121 Modena | tel 059 433611 fax 059 433658 **PEC aoomo@cert.arpa.emr.it**

**Sede legale** Via Po, 5 | 40139 Bologna | tel 051 6223811 PEC **dirigen@cert.arpa.emr.it** | [www.arpa.emr.it](http://www.arpa.emr.it) | posta P.IVA 04290860370

# Sommario

<b>Le caratteristiche climatiche del territorio provinciale</b>	<b>3</b>
Temperatura	5
Intensità e direzione del vento	8
Precipitazioni	9
<b>Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono</b>	<b>11</b>

# 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 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 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.

Nell'anno 2020 le stazioni meteorologiche gestite dal SIMC-Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpae, che da sempre sono state considerate ai fini della caratterizzazione climatologica della provincia di Modena, hanno avuto dei disservizi che hanno compromesso il funzionamento di alcuni sensori e quindi il monitoraggio di alcuni importanti parametri meteorologici. Nello specifico la stazione meteo di Finale Emilia, rappresentativa dell'area di pianura interna settentrionale, ha avuto criticità per il sensore di temperatura, per l'anemometro e il pluviometro e quindi i dati rilevati dei parametri temperatura, direzione e velocità del vento e precipitazioni sono numericamente parlando insufficienti per elaborazioni statistiche; le stazioni di Modena urbana, Vignola e Lago Scaffaiolo, rispettivamente rappresentative della pianura interna, della zona pedecollinare (100 m slm) e della zona montana (1794 m slm), hanno evidenziato alcune criticità per quanto riguarda il rilievo di direzione e velocità del vento.

Tenendo conto di tali criticità, ai fini di delineare un inquadramento climatologico del territorio provinciale, si è proceduto come indicato nel seguito:

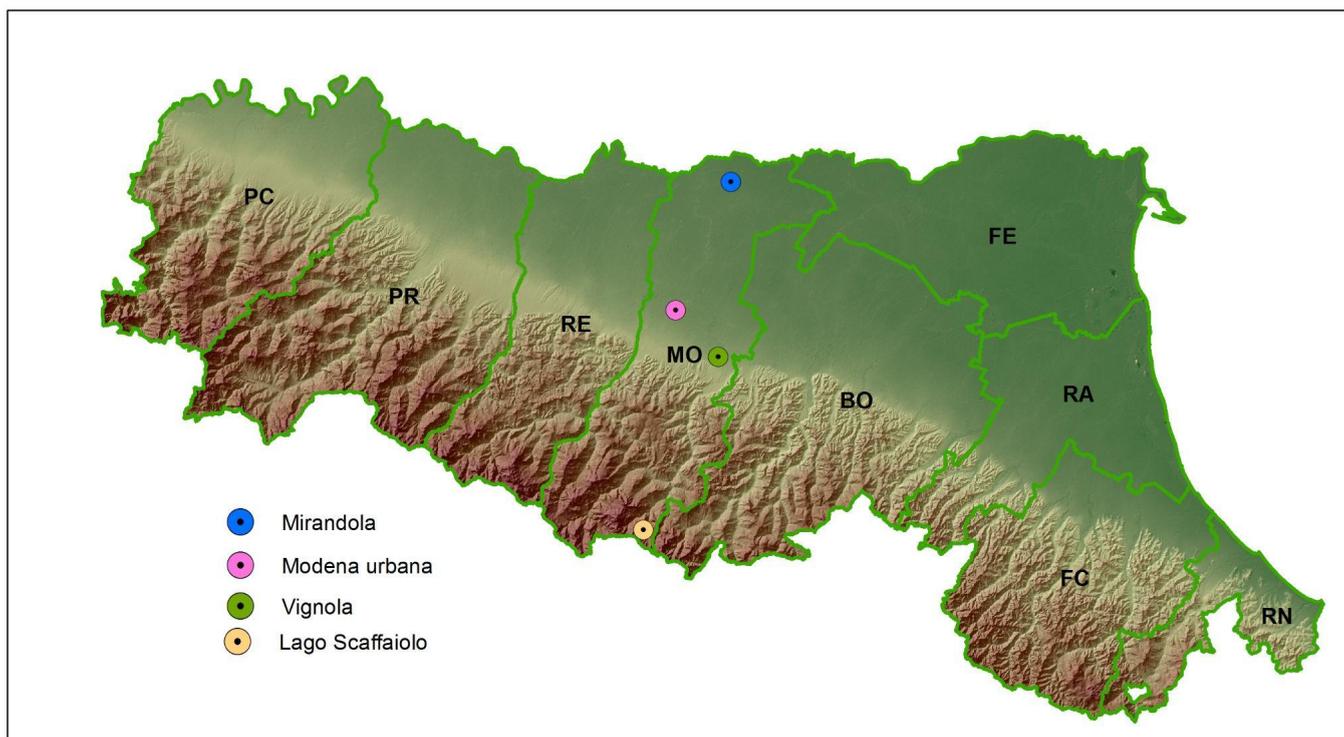
- la stazione di Finale Emilia è stata sostituita dalla stazione meteo di Mirandola, sempre in area di pianura interna settentrionale, distante dalla prima circa 18 km in linea d'aria. In tale stazione sono rilevati i parametri temperatura e precipitazione;
- per quanto riguarda i parametri temperatura e precipitazione, sono stati considerati ed elaborati i dati effettivamente rilevati dalle stazioni meteo del SIMC selezionate: Modena urbana, Mirandola, Vignola e Lago Scaffaiolo, i cui sensori hanno avuto un rendimento annuale molto elevato (98% per Modena Urbana, 99% per le precipitazioni a Mirandola, 88% per Vignola e 93% per Lago Scaffaiolo).
- per quanto riguarda la direzione e la velocità del vento e la rosa dei venti, sono stati considerati i dati ottenuti da elaborazioni restituite dall'output del modello meteorologico COSMO-LAMI, gestito da ARPAE-SIMC<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Le elaborazioni Arpae-SIMC provengono dal ciclo di assimilazione del modello COSMO-5M. Questo modello è di proprietà degli enti partecipanti all'accordo Cosmo-LAMI, gira su server Cineca con fondi del Dipartimento di Protezione Civile, e l'archivio della analisi è una prerogativa ARPAE-SIMC.

## Le caratteristiche climatiche del territorio provinciale

Di seguito si riportano elaborazioni statistiche delle grandezze meteorologiche tipiche dello strato limite che influenzano maggiormente i processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione degli inquinanti: temperatura, precipitazioni, intensità e direzione del vento.

Vengono inoltre riportati i dati di temperatura e precipitazione elaborati dall'Osservatorio clima di Arpae presenti all'interno del rapporto Idrometeoclima per l'Emilia Romagna (anno 2020), che contiene anche il confronto rispetto alla media climatologica del periodo 1961-1990, al fine di evidenziare le anomalie riferibili all'anno indagato.



# Temperatura

La temperatura media mensile rilevata nelle 2020 nelle quattro stazioni meteorologiche (Modena Urbana, Mirandola, Vignola e Lago Scaffaiolo) mostra un andamento stagionale in cui agosto risulta il mese più caldo (temperatura media a Modena di circa 26°C) e i mesi di dicembre e gennaio quelli più freddi (Modena e Mirandola hanno temperatura medie di dicembre dell'ordine dei 5°C, Lago Scaffaiolo di -0,3°C a gennaio).

Sia dall'andamento stagionale che dalle medie annuali (Modena 15,4°C, Mirandola 13,6°C, Vignola 15,4°C e Lago Scaffaiolo 5,8°C), si osserva come la stazione urbana di Modena presenta valori superiori rispetto alle altre, questo aspetto conferma la presenza sulla città di Modena dell'effetto dell'isola di calore urbana (fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali).

Si sottolinea che per l'Europa, il 2020 è stato l'anno più caldo mai registrato, con un'anomalia di +0,4 ° C rispetto al 2019; il mese di dicembre 2020 è stato il sesto più caldo di sempre e nella Regione Emilia Romagna le temperature sono risultate nel complesso superiori alle attese di 2°C rispetto al clima 1961-1990 e di 1°C superiori se confrontate con le medie degli ultimi anni (2001-2015).

Di seguito si riportano i grafici relativi alle temperature mensili (medie, massime e minime) registrate nell'anno 2020 presso le quattro stazioni meteorologiche individuate.

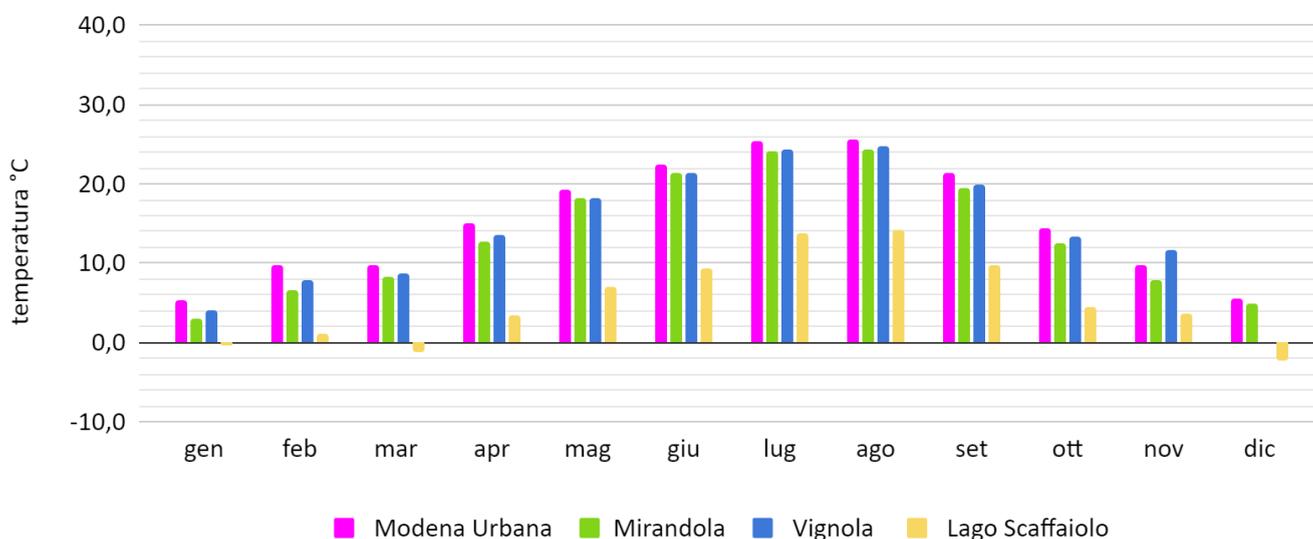
Dall'analisi delle temperature medie si osservano andamenti confrontabili in tutti e quattro i siti.

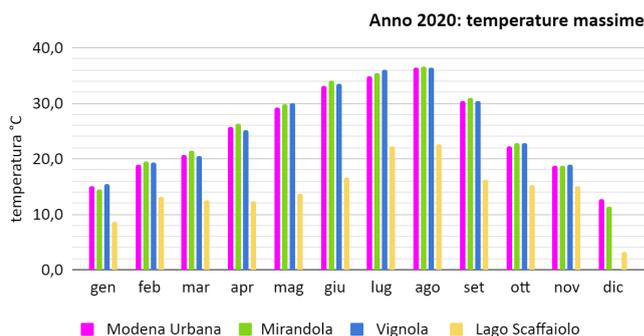
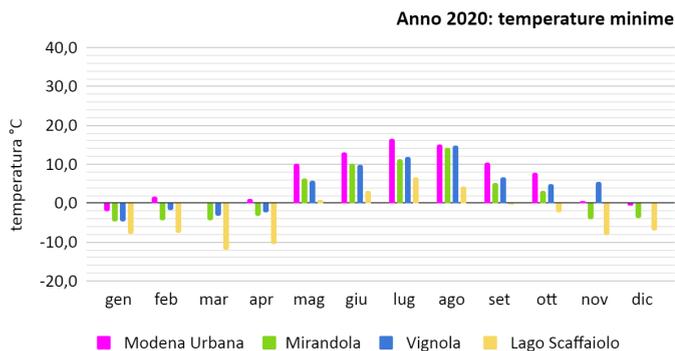
Le stazioni di Modena Urbana, Mirandola e Vignola, mostrano valori medi simili, che variano tra un minimo di 2,9 °C nel mese di gennaio a Mirandola e un massimo di 25,7 °C nel mese di agosto a Modena.

Lo stesso trend si ritrova anche per le temperature minime, che variano da -4,7°C nel mese di gennaio a Vignola ed un massimo di 16,6 °C nel mese di luglio a Modena, e le temperature massime, che variano da un minimo di 11,3°C nel mese di gennaio a un massimo di 36,7°C nel mese di agosto a Mirandola. Nell'anno 2020 si sono registrati valori inferiori a 0°C nei mesi gennaio, febbraio, marzo e aprile (episodi di grandine) e nei mesi di novembre e dicembre.

La stazione montana di Lago Scaffaiolo, pur avendo lo stesso andamento delle altre tre, registra valori decisamente inferiori. Le medie mensili variano da -2,2°C nel mese di dicembre (dati validi sino al 7/12) a 14,1 °C nel mese di agosto. Le minime oscillano tra i -11,9°C di marzo e i 6,7°C di luglio. Le massime fanno registrare valori inferiori ai 10°C di dicembre e gennaio e i 22,6°C di agosto.

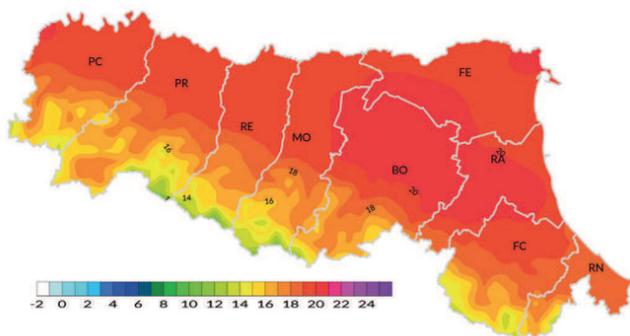
**Anno 2020: temperature medie**



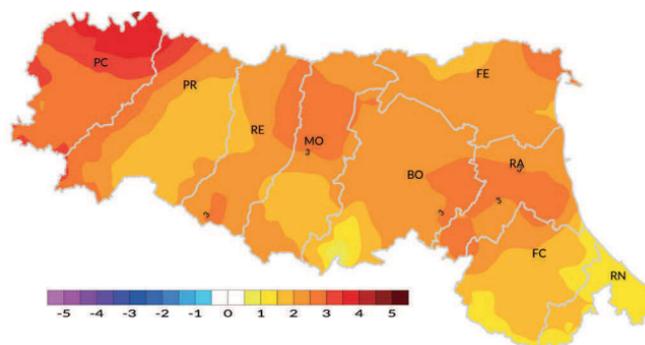


Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura dell'Osservatorio clima di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali dei valori medi delle temperature massime, minime e medie registrati nell'anno 2020 sull'intero territorio regionale e le rispettive anomalie rispetto alla media climatologica 1961-1990.

Per la provincia di Modena la distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura massima registrati nel 2020 mostra valori compresi tra 11,5°C e 20,5 °C, in coerenza con quanto registrato nell'intero territorio regionale. Le anomalie annue di temperatura massima del 2020 calcolate rispetto al 1961-1990 sono state positive, con valori più alti di 2,3°C.



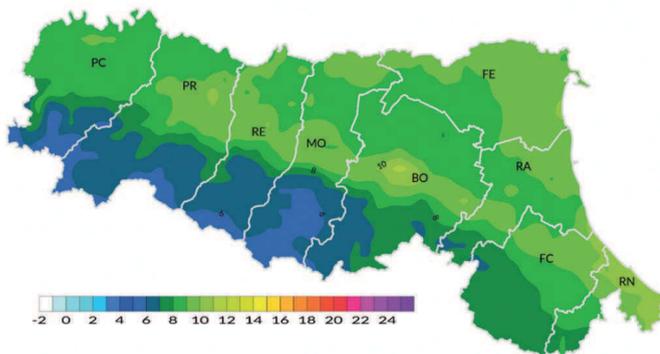
media 2020 della temperatura massima (°C).



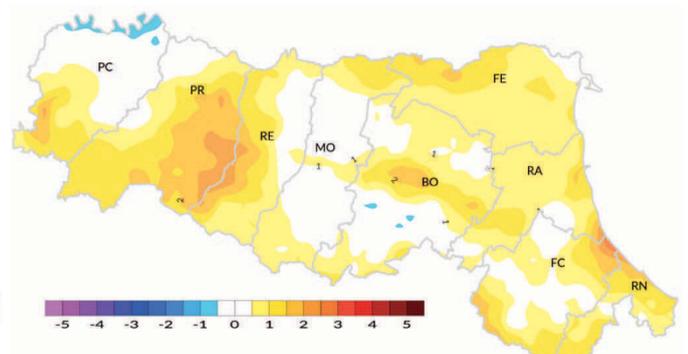
anomalia della media 2020 della temperatura massima (°C) rispetto al clima 1961-1990.

La distribuzione spaziale dei valori medi annui della temperatura minima registrati nel 2020 nella provincia di Modena mostra valori compresi tra 5°C e 11°C.

A livello provinciale la media delle anomalie di temperatura minima è prossima allo zero; a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura minima è pari a +0,8, con valori più intensi pari a circa +2°C nelle aree montane e collinari al confine tra Parma e Reggio Emilia; localmente nella parte settentrionale della provincia di Piacenza e nella provincia di Bologna sono state, invece, registrate leggere anomalie negative.

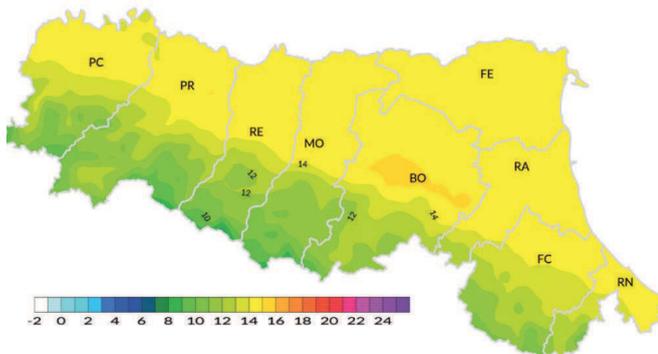


media 2020 della temperatura minima (°C)

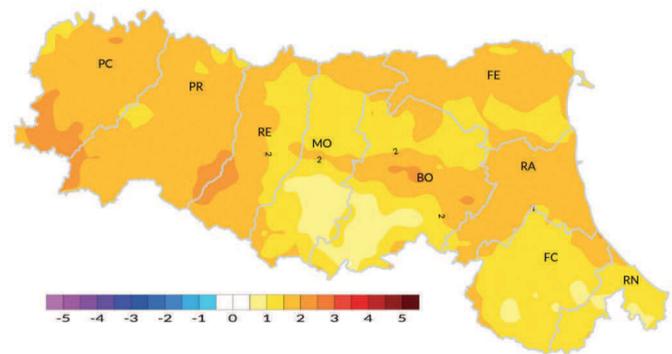


anomalia della media 2020 della temperatura minima (°C)  
rispetto al clima 1961-1990

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura media registrati nel 2020 evidenzia valori compresi tra 8°C e 15,5°C. Nella provincia di Modena si osservano valori positivi di anomalia compresi tra 0,5°C e 2°C.



temperatura media 2020 (°C).



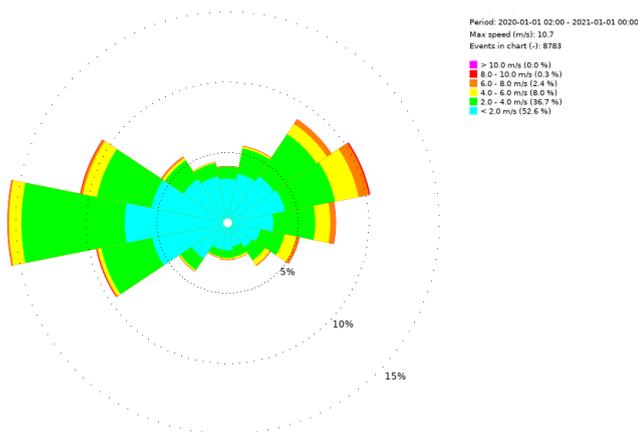
anomalia della media 2020 della temperatura media (°C)  
rispetto al clima 1961-1990.

# Intensità e direzione del vento

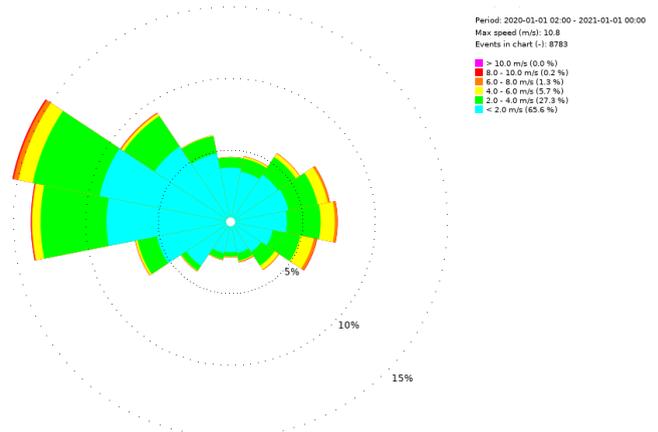
Di seguito sono mostrate le rose dei venti annuali ottenute da Arpae-SIMC mediante un ciclo di assimilazione del modello COSMO-5M. Le rose dei venti sono rappresentative delle aree coperte dalle stazioni meteorologiche di Mirandola, Modena Urbana, Vignola e Lago Scaffaiolo e indicano sia le direzioni di provenienza del vento che l'intensità.

La direzione prevalente di provenienza dei venti varia a seconda del comparto geografico: nella pianura interna (settenzionale e centrale) è più frequente la direttrice Est-Ovest con direzioni prevalenti collocate a Nord-Est, a Ovest, Ovest-Nord-Ovest e Ovest-Sud-Ovest a Mirandola, e Ovest-Nord-Ovest a Modena. Nell'area pedecollinare è invece predominante la componente da Ovest-Nord-Ovest e da Sud-Sud-Ovest, che si evidenzia anche nella stazione del Lago Scaffaiolo, insieme a quella aggiuntiva da Nord-Nord-Ovest.

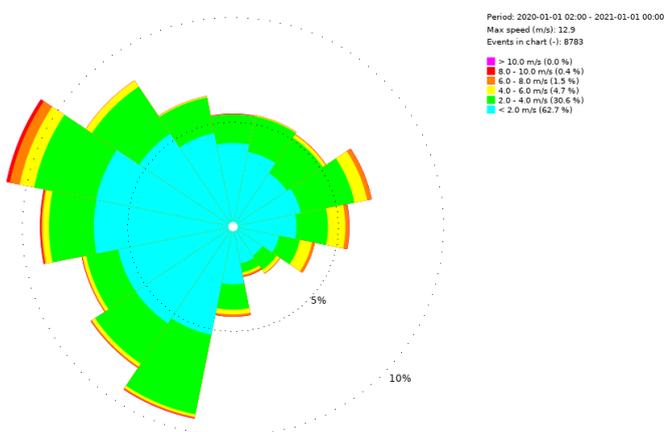
Per quanto riguarda l'intensità del vento, si evidenzia un incremento dei valori spostandosi verso l'area collinare-montana. In particolare, la percentuale sui dati orari annui di calme e bave di vento secondo la scala Beaufort (intensità < 1,5 m/s) varia da 44% per Modena urbana, a 32% per Mirandola, a 43% per Vignola a 19% presso il Lago Scaffaiolo.



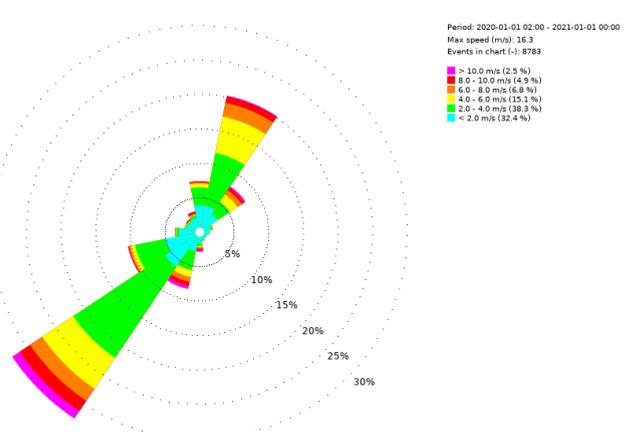
Stazione di Mirandola



Stazione urbana di Modena



Stazione di Vignola



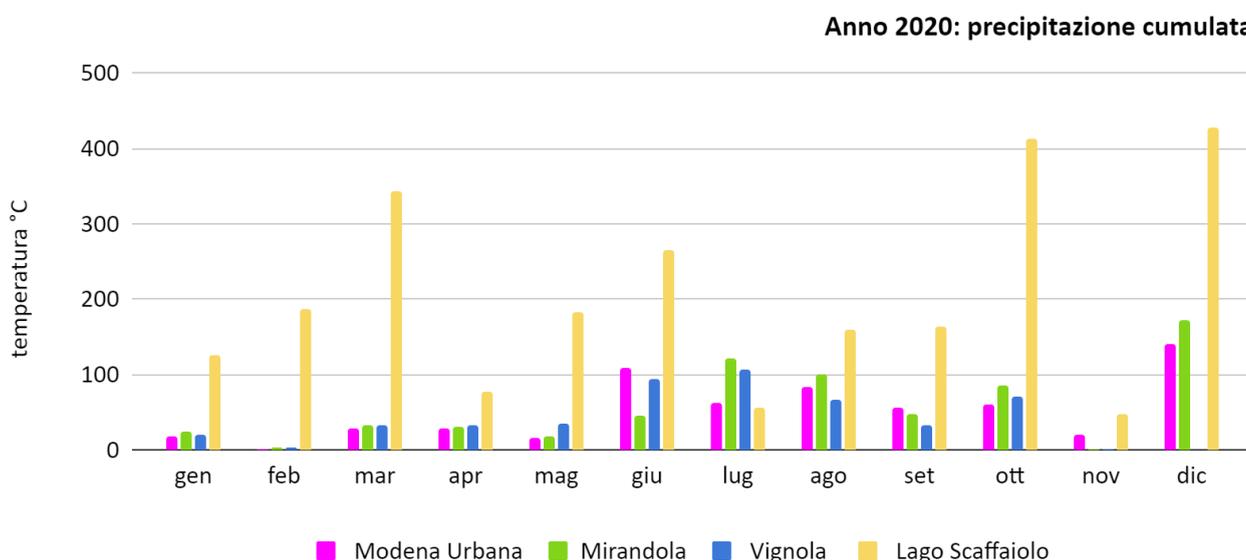
Stazione Lago Scaffaiolo

# Precipitazioni

Dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata annuale si osserva che la zona di pianura ha una piovosità simile, infatti presso la stazione di Mirandola si sono registrati 687 mm confrontabili con i 621 mm di Modena; non è possibile fare il confronto con la stazione di Vignola, i cui dati non sono disponibili in un periodo caratterizzato da cospicue precipitazioni, verificatesi in particolare a dicembre. Rispetto alla zona di pianura, è diversa la situazione registrata nella stazione del Lago Scaffaiolo, dove la precipitazione cumulata è risultata di 2446 mm totali.

Di seguito si riporta il grafico delle precipitazioni cumulate mensili registrate nell'anno 2020 presso le quattro stazioni meteorologiche individuate.

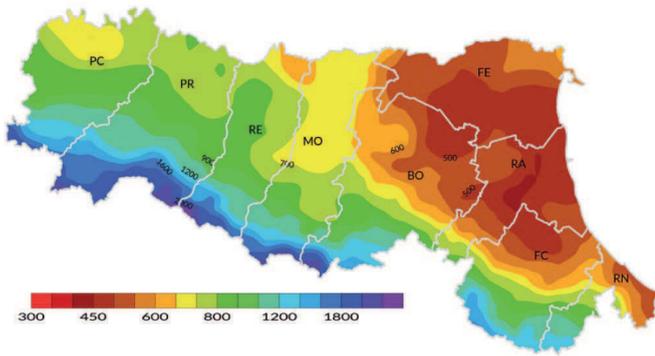
In pianura i mesi di giugno, luglio, agosto, ottobre e dicembre sono stati i più piovosi dell'anno, mentre i mesi di gennaio, febbraio e novembre sono stati i mesi più secchi in tutto il territorio. Nei mesi di marzo e aprile si sono registrate quantità di pioggia paragonabili in tutte e tre le stazioni di pianura. In gran parte dei mesi si nota una prevalenza delle precipitazioni nella zona montana monitorata dalla stazione meteorologica di Lago Scaffaiolo. In particolare nel mese di dicembre nella stazione montana sono stati registrati oltre 400 mm di pioggia cumulata.



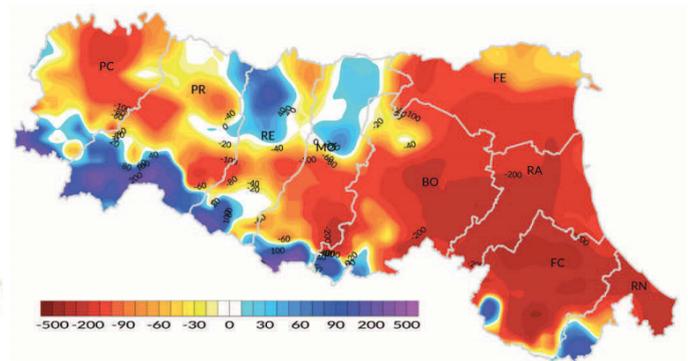
Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura del SIMC di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali della precipitazione cumulata annuale nel 2020 sull'intero territorio regionale e la rispettiva anomalia rispetto alla media climatologica 1961-1990.

Nella provincia di Modena la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata annuale nel 2020 varia tra circa 600-700 mm (in pianura) e più di 2000 mm (in montagna).

La media delle anomalie annue di precipitazione, per la provincia di Modena, evidenzia un surplus nella pianura settentrionale e nella zona montana, mentre si rileva un deficit nella pianura meridionale e nella zona pedecollinare che varia sino a raggiungere -200 mm di pioggia.



precipitazioni totali 2020 (mm).



anomalia delle precipitazioni totali 2020 (mm)  
rispetto al clima 1961-1990.

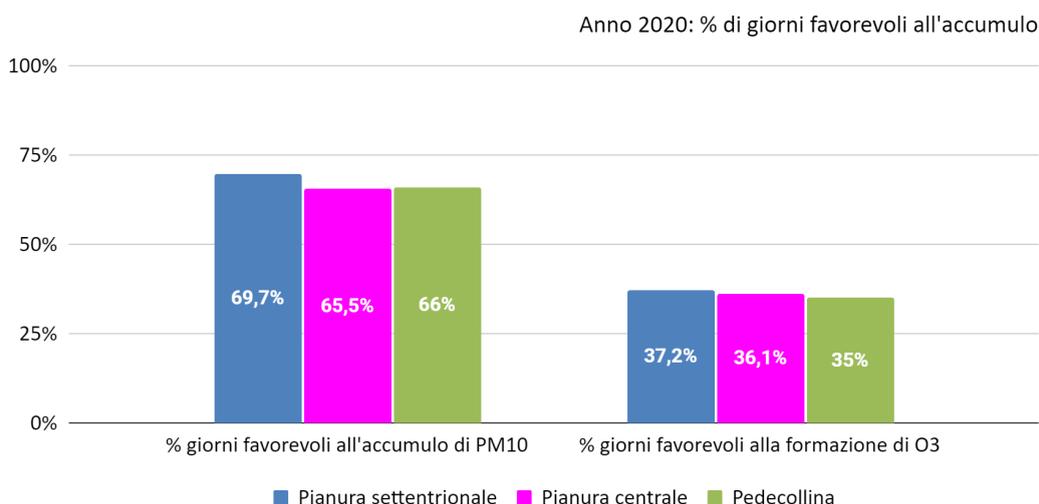
# Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono

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).

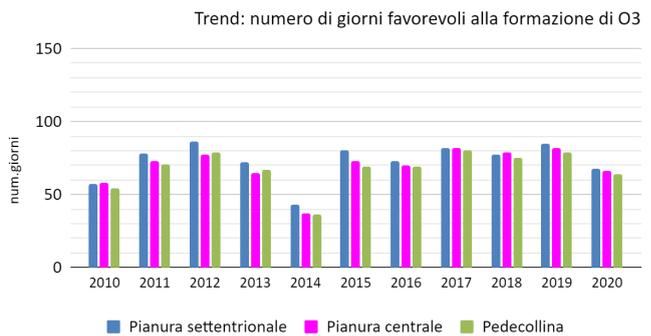
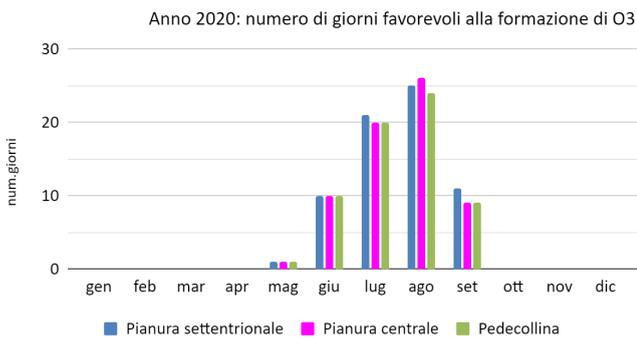
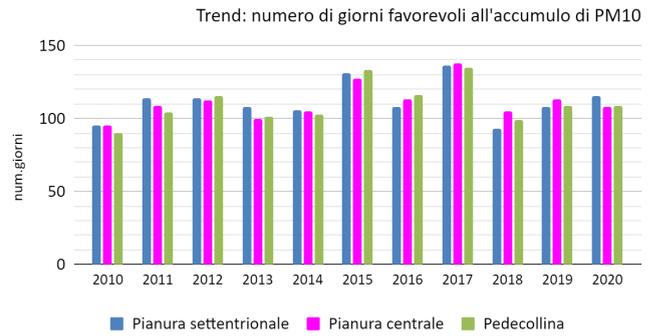
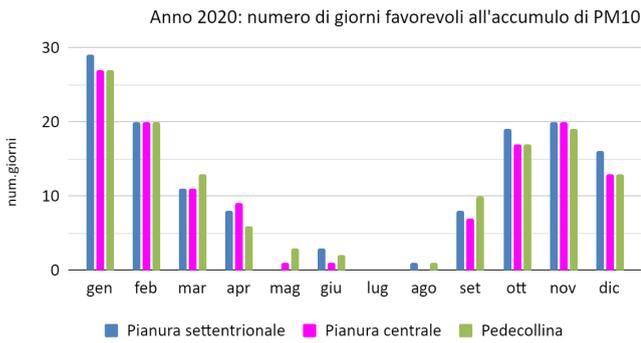
Sono definiti "giorni favorevoli all'accumulo di PM10" le giornate senza pioggia (precipitazione < 0,3 mm) in cui l'indice di ventilazione (definito come il prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento) è inferiore a 800 m<sup>2</sup>/s. Si tratta 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. I dati relativi alla pianura settentrionale sono disponibili a partire dall'anno 2015.



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



Nel 2020, la percentuale di giornate favorevoli all'accumulo di PM10 varia tra il 66% e il 70% delle giornate complessive nel semestre gennaio-marzo ottobre-dicembre, mentre le giornate favorevoli alla formazione di ozono oscillano tra il 35% e il 37% del periodo aprile-settembre. Non si osservano variazioni significative tra le tre aree, seppur le condizioni più favorevoli al ristagno degli inquinanti, per entrambi gli indicatori, si registrino sempre nell'area di pianura.

Relativamente alle giornate favorevoli all'accumulo di PM10, nel 2020 i mesi peggiori sono risultati gennaio, febbraio, novembre e ottobre; l'anno è stato caratterizzato da condizioni più favorevoli all'accumulo rispetto al 2019.

Per quanto riguarda invece le giornate favorevoli alla formazione di ozono, agosto e luglio sono risultati i mesi più critici del 2020; relativamente al trend annuale, si osserva un decremento rispetto agli ultimi due anni.