

Allegato A: la meteorologia in provincia di Modena

Report dati anno 2021

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

Servizio Sistemi Ambientali - Area Prevenzione Ambientale Centro

viale Fontanelli 23 | 41121 Modena | tel +39 059 433611 | **PEC aoomo@cert.arpa.emr.it**

Sede legale Arpae: Via Po 5, 40139 Bologna | tel 051 6223811 | PEC dirgen@cert.arpa.emr.it | www.arpae.it | P.IVA 04290860370

Sommario

Report dati anno 2021	0
Sommario	1
Introduzione	2
Le caratteristiche climatiche di Modena	3
Temperatura	5
Intensità e direzione del vento	8
Precipitazioni	9
Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono	11

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)¹.

Per quanto riguarda i fenomeni a scala regionale risultano particolarmente rilevanti i fenomeni di stagnazione della massa d'aria chimica². 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.

¹ 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

² 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:

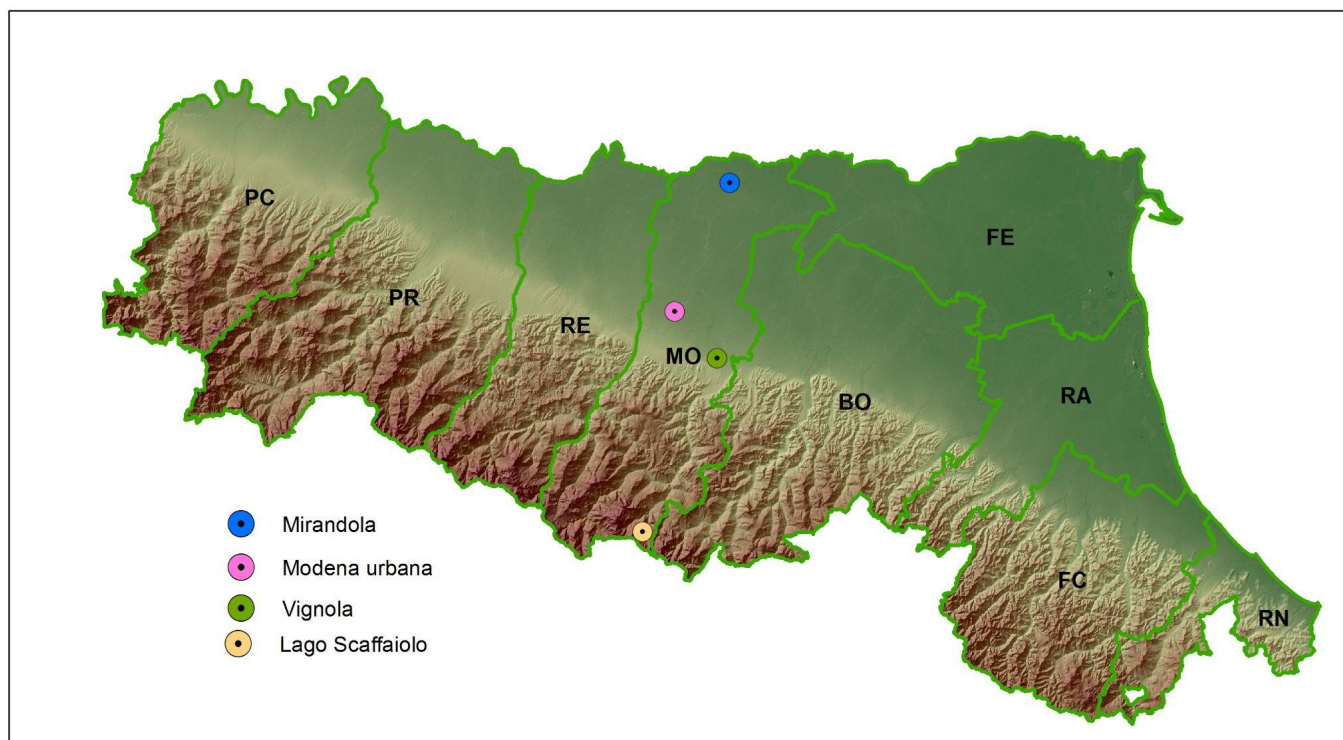
- la stazione di Finale Emilia è stata sostituita dalla stazione meteo di Mirandola, sempre in area di pianura interna settentrionale, distante dalla prima circa 18 km in linea d'aria. In tale stazione sono rilevati i parametri temperatura e precipitazione;
- per quanto riguarda i parametri temperatura 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 (100% per tutte le stazioni).
- 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-SIMC³.

³ 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 2021), che contiene anche il confronto rispetto alla media climatologica del periodo 1991-2020, al fine di evidenziare le anomalie riferibili all'anno indagato.



Temperatura

La temperatura media mensile rilevata nelle 2021 nelle quattro stazioni meteorologiche (Modena Urbana, Mirandola, Vignola e Lago Scaffaiolo) mostra un andamento stagionale in cui luglio e agosto risultano i mesi più caldi (temperatura media a Modena rispettivamente di circa 26 e 25°C) e i mesi di dicembre e gennaio quelli più freddi (temperatura media a Modena rispettivamente di circa 4 e 3°C; Lago Scaffaiolo rispettivamente di circa 2 e -2°C).

Sia dall'andamento stagionale che dalle medie annuali (Modena 14,4°C, Mirandola 13,9°C, Vignola 13,9°C e Lago Scaffaiolo 7,2°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).

Di seguito si riportano i grafici relativi alle temperature mensili (medie, massime e minime) registrate nell'anno 2021 presso le quattro stazioni meteorologiche individuate.

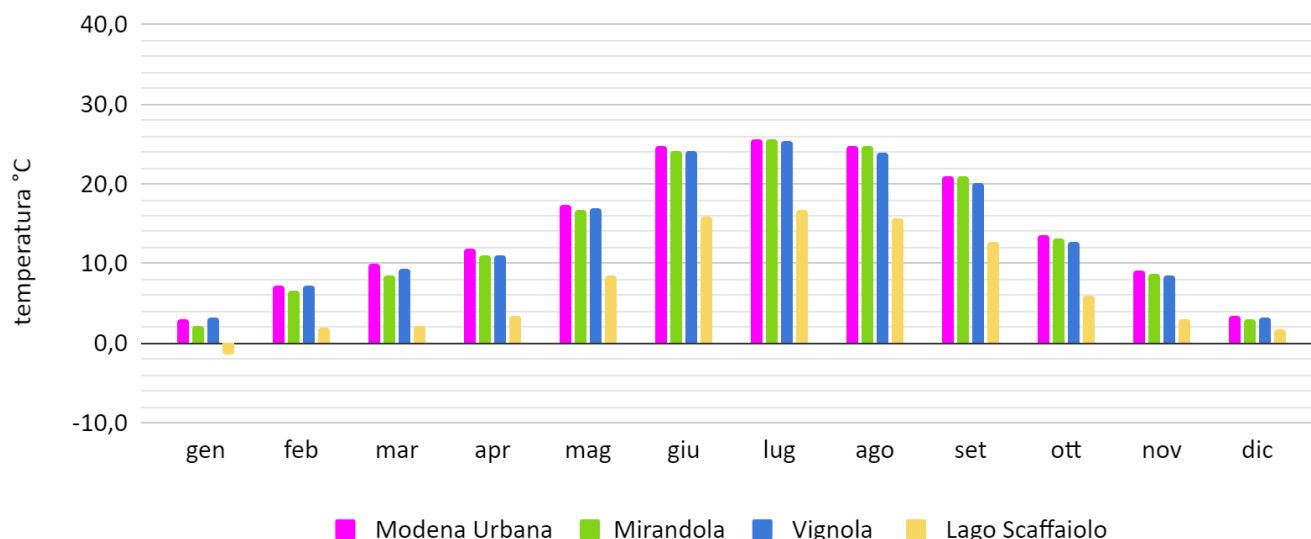
Dall'analisi delle temperature medie si osservano andamenti confrontabili in tutti e quattro i siti.

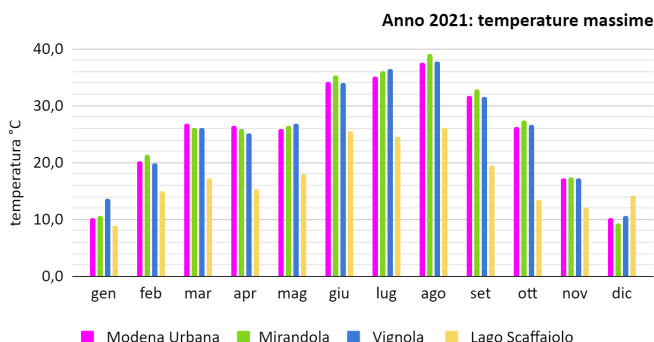
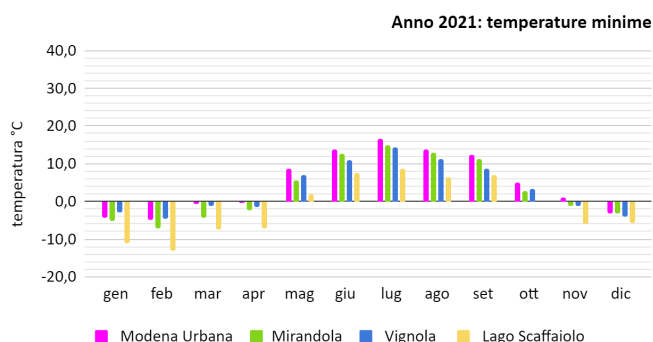
Le stazioni di Modena Urbana, Mirandola e Vignola, mostrano valori medi simili, che variano tra un minimo di 2,2 °C nel mese di gennaio a Mirandola e un massimo di 25,7 °C nel mese di luglio a Modena.

Lo stesso trend si ritrova anche per le temperature minime, che variano da -7,1°C nel mese di febbraio a Mirandola ed un massimo di 16,6 °C nel mese di luglio a Modena, e le temperature massime, che variano da un minimo di 9,3°C nel mese di dicembre a un massimo di 39,1°C nel mese di agosto a Mirandola. Nell'anno 2021 si sono registrati valori inferiori a 0°C nei mesi gennaio, febbraio, marzo e aprile 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 -1,5°C nel mese di gennaio a 16,7 °C nel mese di luglio. Le minime oscillano tra i -13,1°C di febbraio e 8,7°C di luglio. Le massime fanno registrare valori inferiori ai 10°C a gennaio e i 26°C di agosto.

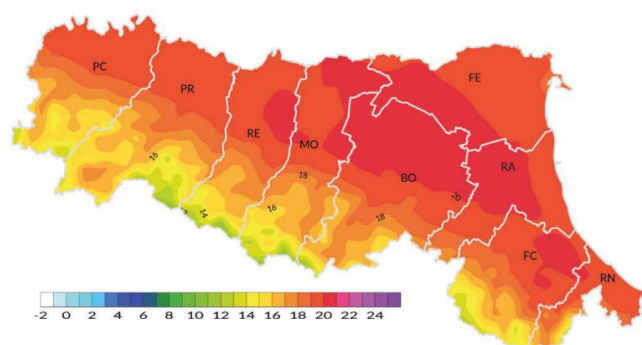
Anno 2021: temperature medie



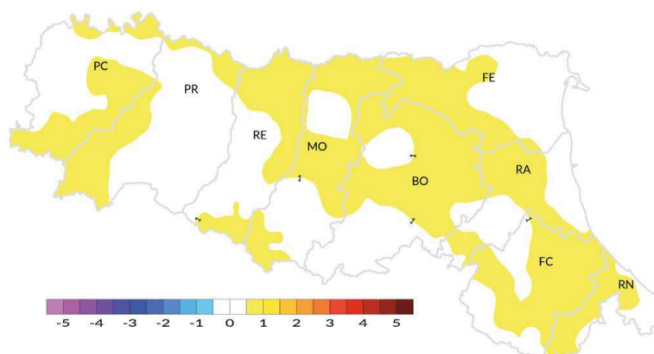


Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura dell'Osservatorio clima di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali dei valori medi delle temperature massime, minime e medie registrati nell'anno 2021 sull'intero territorio regionale e le rispettive anomalie rispetto alla media climatologica 1991-2020.

Per la provincia di Modena la distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura massima registrati nel 2021 mostra valori compresi tra 11°C lungo l'Appennino centrale, e 20,5 °C, in coerenza con quanto registrato nell'intero territorio regionale. Le anomalie annue di temperatura massima del 2021 calcolate rispetto al 1991-2020 sono state positive, con valori di punta di +1°C.



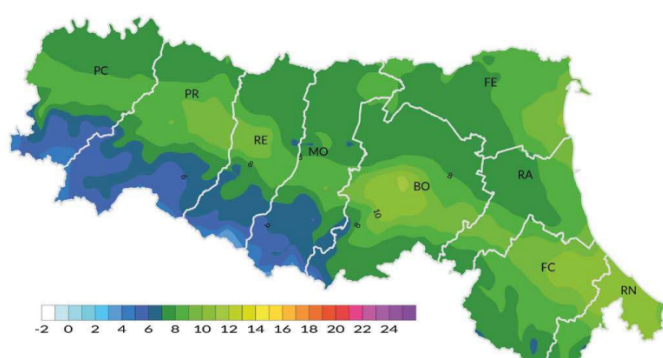
media 2021 della temperatura massima (°C)



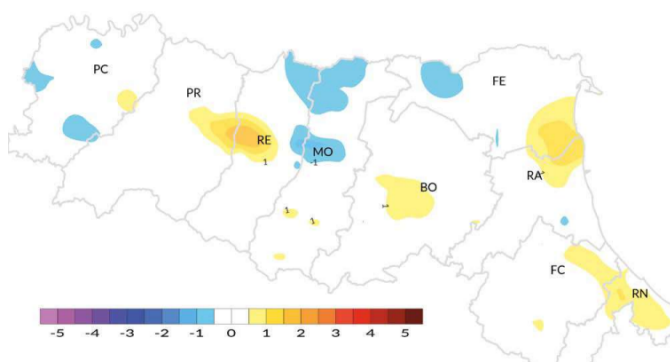
anomalia della media 2021 della temperatura massima (°C)
rispetto al clima 1991-2020.

La distribuzione spaziale dei valori medi annui della temperatura minima registrati nel 2021 nella provincia di Modena mostra valori compresi tra 5°C e 10°C. Il valore medio regionale di temperatura minima per il 2021 è di circa 7,7 °C, mantenendo positiva la tendenza registrata sul lungo periodo 1961-2021.

A livello provinciale, su gran parte del territorio, la media delle anomalie di temperatura minima è prossima allo zero; sono presenti aree a nord-ovest che ricadono nei comuni di Carpi, Novi e Concordia sul Secchia e a ovest (Modena e Formigine) che registrano una media di anomalia di temperatura minima dell'ordine di -1°C, mentre nell'entroterra localmente sono presenti aree circoscritte che registrano una media di anomalia di temperatura minima dell'ordine di +1°C ; a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura minima è stata di -0,2 °C.



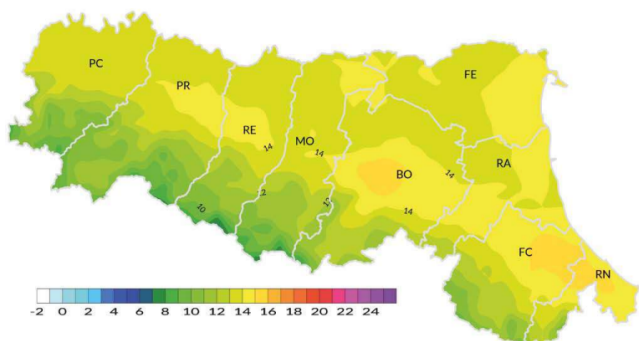
media 2021 della temperatura minima (°C)



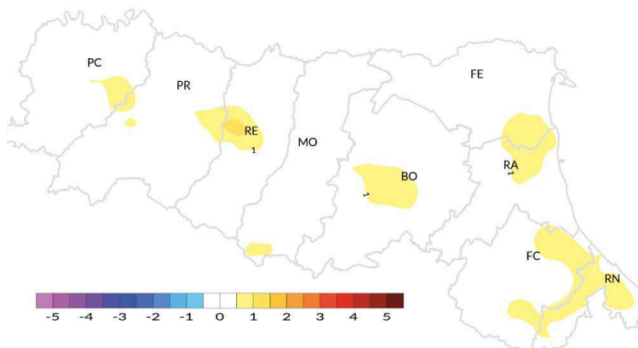
anomalia della media 2021 della temperatura minima (°C)
rispetto al clima 1991-2020

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura media registrati nel 2021 evidenzia per tutto il territorio della provincia di Modena valori compresi tra 8°C e 15 °C; non si rilevano valori di anomalia rispetto al periodo 1991-2020, ad eccezione di una limitata area localizzata lungo l'Appennino, in cui il valore di anomalia medio del 2021 è stato di +1°C.

In generale nel 2021, a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura media è stata nulla e la temperatura media annua è stata di circa 13 °C; confermano la tendenza positiva dal 1961 a oggi.



temperatura media 2021 (°C)



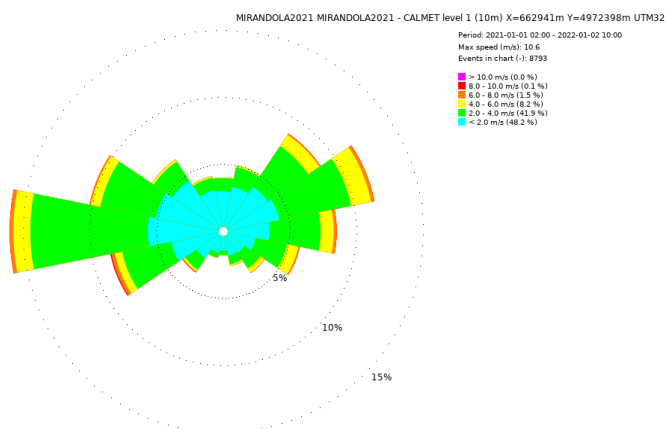
anomalia della media 2021 della temperatura media (°C)
rispetto al clima 1991-2020

Intensità e direzione del vento

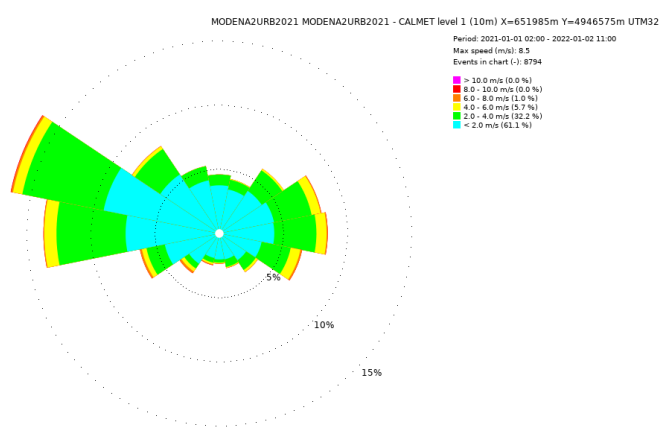
Di seguito sono mostrate le rose dei venti annuali ottenute da Arpa-e-SIMC mediante un ciclo di assimilazione del modello COSMO-5M. Le rose dei venti sono rappresentative delle aree coperte dalle stazioni meteorologiche di Mirandola, Modena Urbana, Vignola e Lago Scaffaiolo e indicano sia le direzioni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

La direzione prevalente di provenienza dei venti varia a seconda del comparto geografico: nella pianura interna (settentrionale 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.

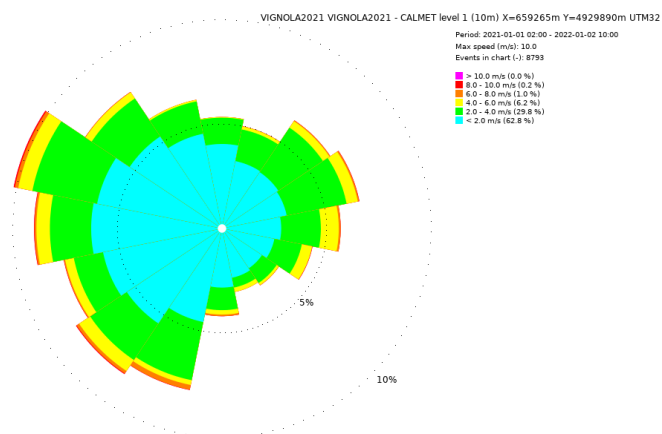
Per quanto riguarda l'intensità del vento, si evidenzia un incremento dei valori spostandosi verso l'area collinare-montana. In particolare, la percentuale sui dati orari annui di calme e bave di vento secondo la scala Beaufort (intensità < 1,5 m/s) varia da 40% per Modena urbana, a 29% per Mirandola, a 45% per Vignola a 16% presso il Lago Scaffaiolo.



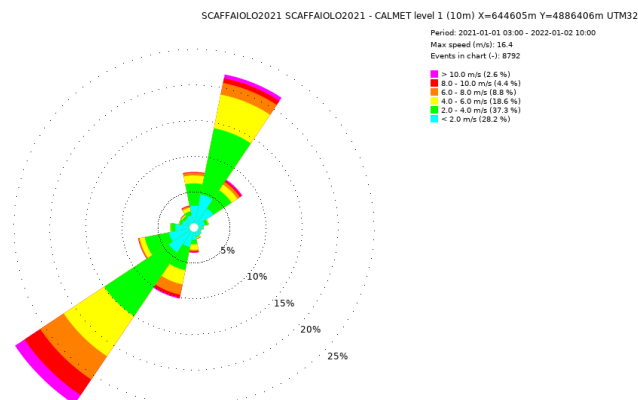
Stazione di Mirandola



Stazione urbana di Modena



Stazione di Vignola



Stazione Lago Scaffaiolo

Precipitazioni

A livello regionale, l'anno 2021, dal punto di vista meteorologico, è stato caratterizzato da persistente siccità e da una variabilità meno accentuata rispetto agli anni precedenti.

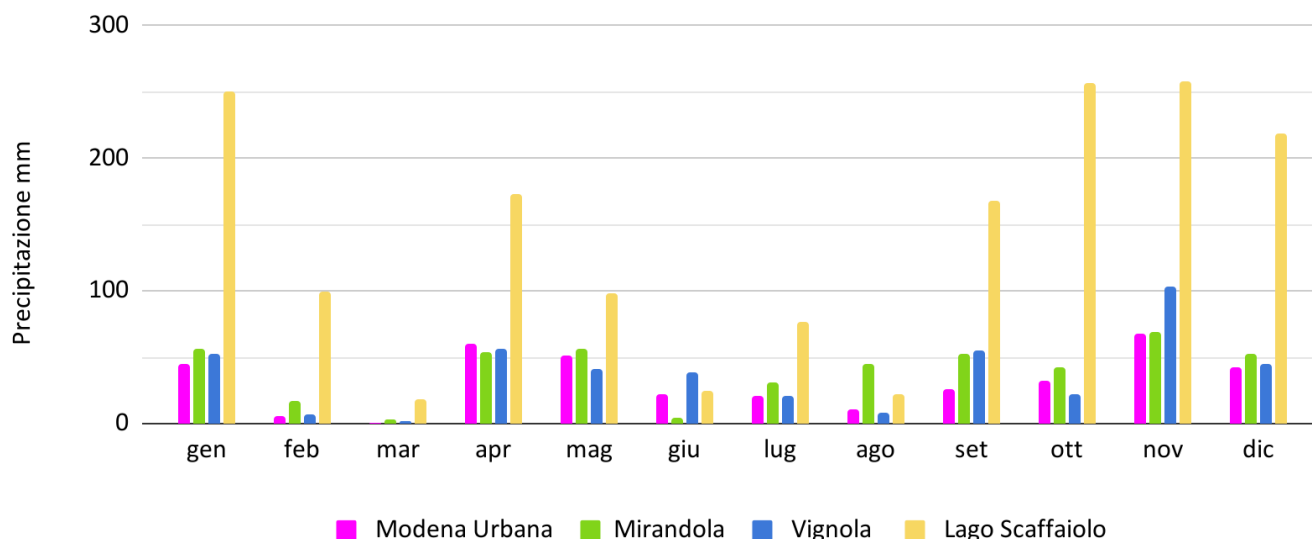
Nel suo complesso è stato meno caldo degli ultimi anni, con un indice di temperatura media annuale regionale pari a 13 °C (il 17° anno più caldo dal 1961 ad oggi, insieme al 1997) ma le precipitazioni totali annue sono state molto scarse, con una media regionale pari a 659 mm, il quarto anno più secco dal 1961 dopo il 1988, il 1983 e il 2011.

Dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata annuale si osserva che la zona di pianura nell'intorno di Mirandola è stata caratterizzata da una piovosità maggiore rispetto al comune di Modena: presso la stazione di Mirandola si sono registrati 485 mm di pioggia a fronte di 385 mm caduti a Modena. A Vignola la pioggia cumulata mensile è pari a 455 mm. Rispetto alla zona di pianura, è diversa la situazione registrata nella stazione del Lago Scaffaiolo, dove la precipitazione cumulata è risultata di 1665 mm totali.

Di seguito si riporta il grafico delle precipitazioni cumulate mensili registrate nell'anno 2021 presso le quattro stazioni meteorologiche individuate.

In pianura i mesi di gennaio, aprile, maggio, novembre e dicembre sono stati i più piovosi dell'anno (per Mirandola anche settembre è stato un mese piovoso), mentre i mesi di febbraio, marzo, giugno, luglio e agosto sono stati i mesi più secchi in tutto il territorio. In gran parte dei mesi si nota una prevalenza delle precipitazioni nella zona montana monitorata dalla stazione meteorologica di Lago Scaffaiolo, in particolare nei mesi di ottobre, novembre e gennaio sono stati registrati oltre 250 mm di pioggia cumulata mensile.

Anno 2021: precipitazione cumulata



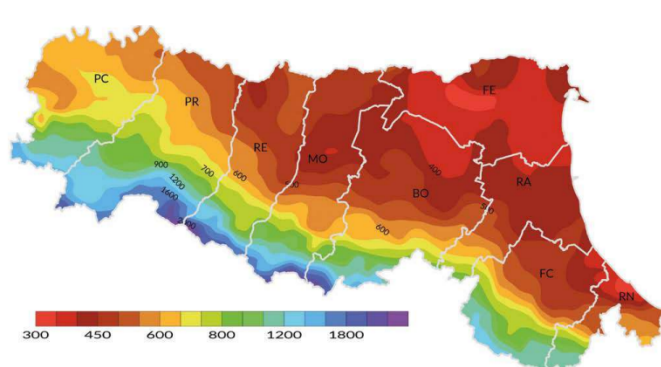
Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura del SIMC di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali della precipitazione cumulata annuale nel 2021 sull'intero territorio regionale e la rispettiva anomalia rispetto alla media climatologica 1991-2020.

Nella provincia di Modena la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata annuale nel 2021 varia tra circa 400-700 mm (in pianura) e più di 1800 mm (in montagna).

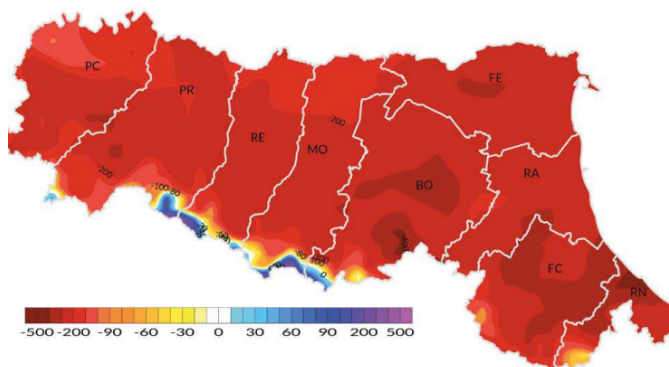
La media delle anomalie annue di precipitazione, per la provincia di Modena, evidenzia un surplus nella zona

montana, mentre si rileva un deficit nella zona pedecollinare e di pianura che varia sino a raggiungere -200 mm di pioggia.

A livello regionale l'andamento annuo della quantità totale di precipitazione mostra, per il 2021, un valore di circa 660 mm, il quarto più basso della serie dal 1961, dopo 1988, 1983 e 2011, mentre la media delle anomalie annue di precipitazione, evidenzia un deficit di circa 235 mm rispetto al periodo di riferimento 1991-2020.



precipitazioni totali 2021 (mm)



anomalia delle precipitazioni totali 2021 (mm)
rispetto al clima 1991-2020

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

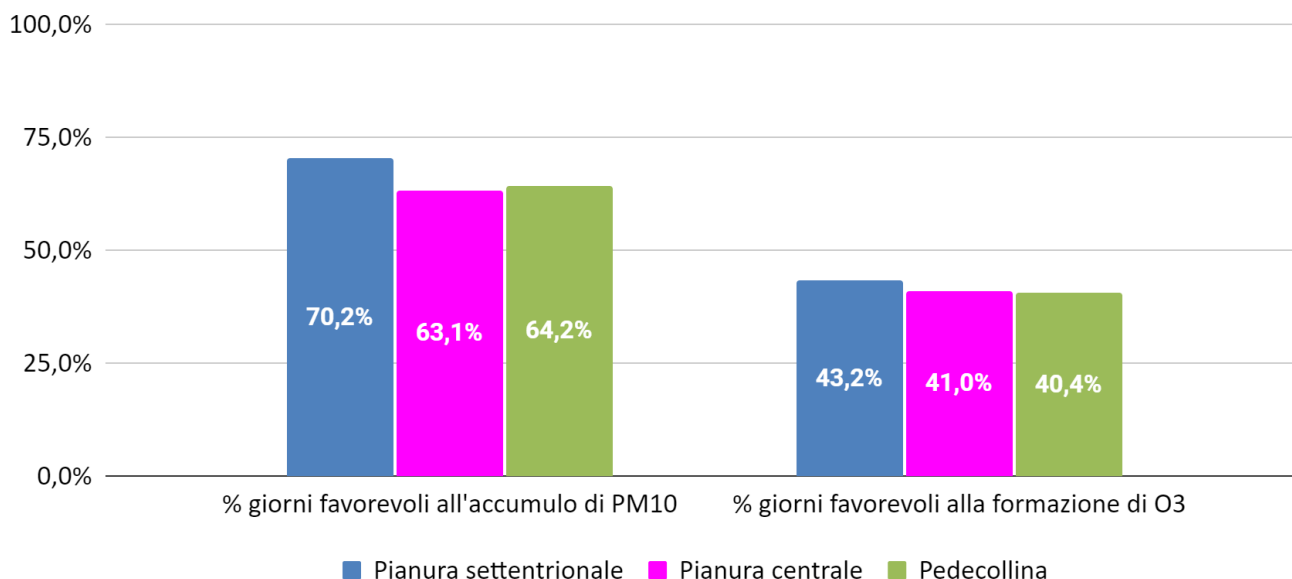
Poiché la meteorologia influenza la formazione/dispersione/accumulo degli inquinanti in atmosfera, il Servizio IdroMeteoClima ha costruito due indicatori, rappresentativi uno delle condizioni meteorologiche che possono determinare l'accumulo di inquinanti al suolo (giorni favorevoli all'accumulo di PM10) 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 m²/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.

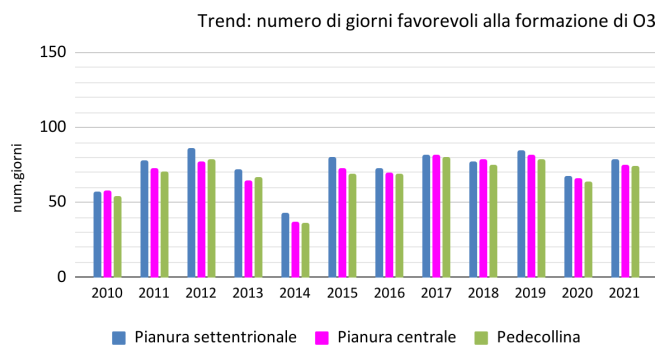
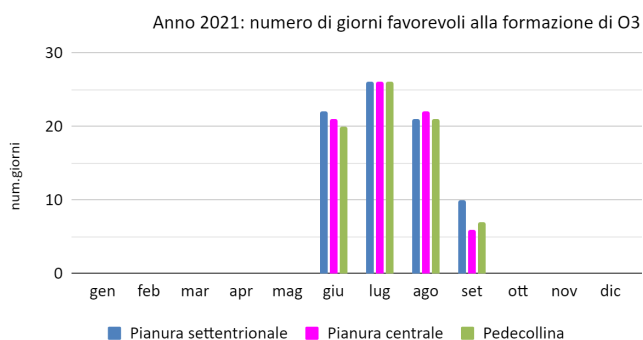
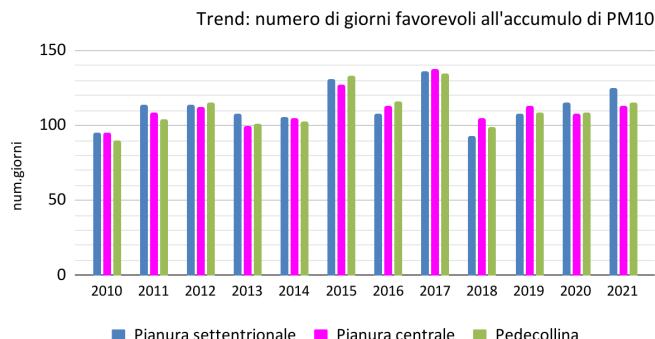
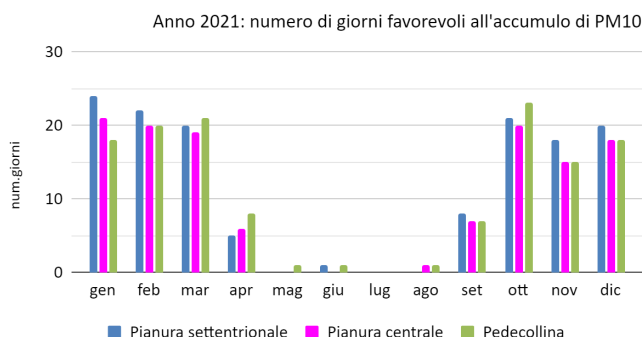
I "giorni favorevoli alla formazione di ozono" troposferico sono stati invece identificati con quelli in cui la temperatura massima giornaliera supera i 29°C: l'ozono si forma nei bassi strati dell'atmosfera a seguito di trasformazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto e i composti organici 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.

Anno 2021: % di giorni favorevoli all'accumulo



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



Nel 2021, la percentuale di giornate favorevoli all'accumulo di PM10 varia tra il 63% e il 70% delle giornate complessive nel semestre gennaio-marzo ottobre-dicembre, mentre le giornate favorevoli alla formazione di ozono oscillano tra il 40% e il 43% 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 2021 i mesi peggiori sono risultati gennaio, febbraio, marzo, ottobre e dicembre; l'anno è stato caratterizzato da condizioni più favorevoli all'accumulo rispetto al 2020.

Per quanto riguarda invece le giornate favorevoli alla formazione di ozono, luglio, agosto e giugno sono risultati i mesi più critici del 2021; relativamente al trend annuale, si osserva un incremento rispetto al 2020.