

Allegato A: la meteorologia in provincia di Ferrara

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

via Bologna 534 | 44124 Ferrara | tel +39 0532 234811 | **PEC** aoofe@cert.arpae.emr.it

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

Sommario

Report dati anno 2021	0
Sommario	1
Introduzione	2
Le caratteristiche climatiche di Ferrara	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 parametri meteorologici svolgono un ruolo determinante nell'evoluzione dell'inquinamento atmosferico: gli episodi di inquinamento, infatti, sono governati da processi meteorologici che avvengono all'interno dello strato di atmosfera direttamente sovrastante la superficie terrestre (strato limite o boundary layer)¹ sia a scala regionale che locale.

Per quanto riguarda i processi a scala regionale risultano particolarmente rilevanti i fenomeni di stagnazione della massa d'aria², che avvengono quando l'aria permane per un certo periodo 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). Così, ad esempio, l'aria che risiede per un certo periodo sull'area padana ricca di industrie, ad intensa attività umana ed elevato traffico 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 e da particolato. Al contrario, una massa d'aria proveniente dal mare, dove non sono presenti sorgenti inquinanti significative, sarà relativamente povera di inquinanti.

Relativamente ai processi meteorologici che avvengono a scala locale, questi 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 Ferrara

Il territorio della provincia di Ferrara è costituito da una terra bassa quasi livellata, con un lieve impluvio verso l'asse del Po, ed un minimo declivio verso l'Adriatico, e rappresenta l'unico territorio completamente pianeggiante dell'intera regione. Le sole particolarità geografiche significative nel territorio piatto ed estremamente omogeneo sono il corso del fiume Po, che per buona parte descrive il confine settentrionale della provincia, e la presenza del mare Adriatico che ne delimita il confine orientale.

Sotto il profilo ambientale, il territorio si inquadra nel comparto climatico dell'Alto Adriatico, e può essere suddiviso in una zona costiera che dal mare si estende per una trentina di chilometri nell'entroterra e da una zona padana posta più ad occidente. Viene così a delinearsi, sia pure con una linea di demarcazione non facilmente definibile, una sub-regione litoranea ed una sub-regione continentale, dove il comune capoluogo occupa una posizione di transizione fra un clima subcostiero, dal quale assume il regime anemologico, e un clima di tipo più spiccatamente padano del quale ripropone il regime termico.

Nel suo complesso l'intera area provinciale può essere inquadrata in quella regione che, nelle classificazioni climatiche su base termica, viene definita a clima temperato freddo, con estati calde, inverni rigidi ed elevata escursione termica estiva. L'azione esercitata dal mare Adriatico (il suo bacino settentrionale presenta una profondità media di 50 metri) non è tale da mitigare significativamente i rigori dell'inverno, se non nella parte di pianura più prossima alla costa.

La significativa distanza dagli ostacoli orografici rappresentati dalla catena appenninica permette nel territorio provinciale la libera circolazione delle correnti generali dell'atmosfera provenienti da tutte le direzioni.

Le correnti occidentali apportatrici di elevati valori di umidità prevalgono sui venti orientali, in particolare su quelli nord-orientali. Nonostante ciò l'apporto meteorico annuo raggiunge in questo territorio provinciale il suo valore più basso in assoluto.

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.

Si osserva inoltre una maggiore escursione termica giornaliera, alla quale si devono valori più marcati delle temperature estreme e condizioni di gelo notturno nei mesi invernali per presenza di inversioni termiche verticali al suolo, alle quali si associano elevati valori di umidità relativa e persistenti formazioni nebbiose. A queste si aggiunge un intenso riscaldamento dei suoli nei mesi estivi con conseguenti disagiati condizioni di afa, accompagnate da elevati valori di umidità dell'aria legati all'evaporazione estiva (favorita dalla presenza di riserve di umidità lungo l'asta del Po e nelle bonifiche).

La fascia costiera dal punto di vista climatico è influenzata dalla presenza del mare, anche se risulta piuttosto ampia la zona di indeterminazione attraverso la quale si attua il passaggio graduale fra i due climi individuabili nel territorio, quello sub-litoraneo o sub-costiero e quello sub-continentale. Qui si risente del tipo di tempo da Nord Est caratterizzato da perturbazioni in transito a ridosso dell'arco alpino sul versante settentrionale, che rendono la zona interessata da temporanei annuvolamenti, episodi temporaleschi consistenti localizzati, precipitazioni di breve durata o a carattere di rovescio, in particolare nella stagione estiva.

Il profilo anemologico della zona costiera si distingue per la presenza di una ventilazione piuttosto efficace che caratterizza l'intero arco dell'anno: durante la stagione fredda perché il bacino adriatico è particolarmente interessato da correnti orientali e nord-orientali, nei mesi della stagione calda perché è presente una attiva circolazione di brezza (dal mare nelle ore diurne e dal retroterra in quelle notturne), che trova origine nel contrasto termico terra-mare, particolarmente accentuato nei mesi estivi.

Le caratteristiche climatiche del territorio provinciale

La temperatura dell'aria risente della presenza del mare, non tanto nei mesi estivi, in corrispondenza dei quali non è rilevabile un'apprezzabile diversificazione dei valori tra costa ed entroterra padano, quanto nei mesi freddi in cui la termoregolazione marina riesce a contenere le temperature minime al di sopra dello zero, riducendo notevolmente la frequenza delle gelate notturne. La minore escursione termica giornaliera e soprattutto l'efficace ventilazione tendono a ridurre la frequenza e la persistenza delle formazioni nebbiose, che pure si manifestano numerose anche in prossimità del mare nei mesi della stagione fredda.

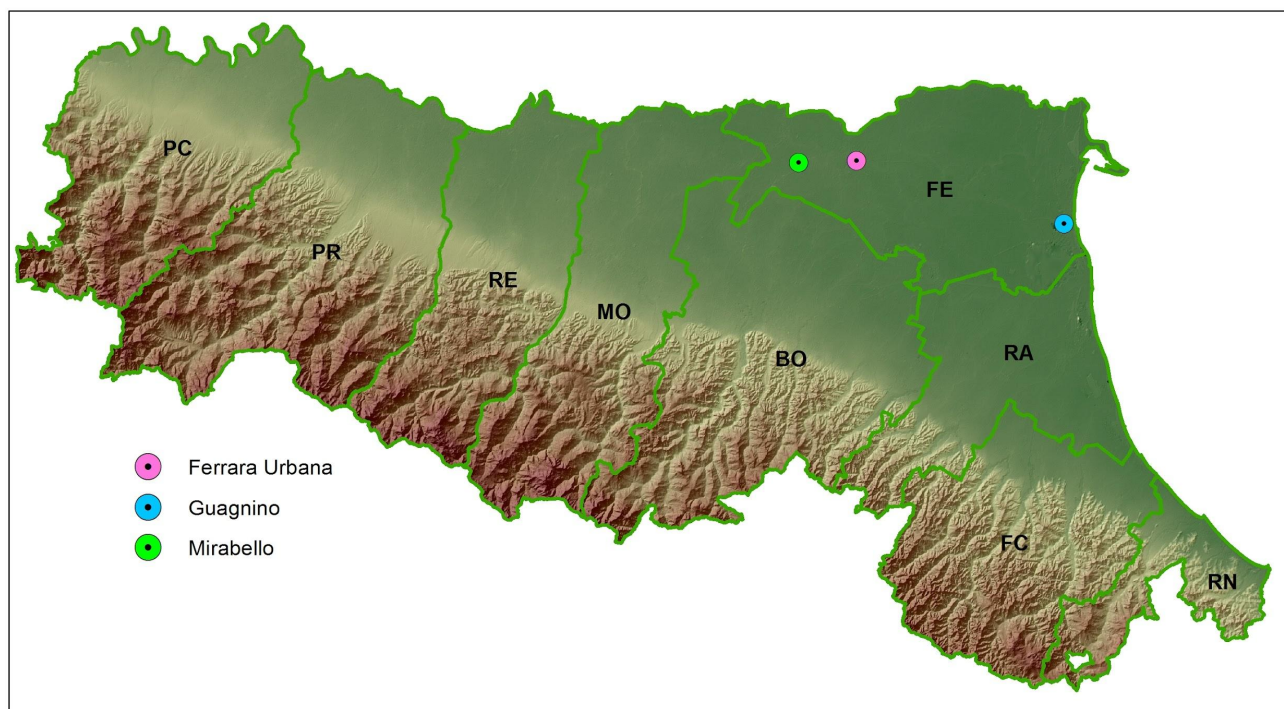
Per quanto concerne le precipitazioni, nella zona costiera si registra il valore minimo pluviometrico regionale, (valore medio annuo tra un minimo di 500 mm a valori di poco superiori ai 700 mm).

All'interno del territorio provinciale sono presenti diverse stazioni gestite dal SIMC-Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpae, che registrano i principali parametri meteorologici: di seguito si commentano i dati di temperatura e precipitazione rilevati dalla stazione ubicata nel comune di Mirabello (stazione attiva da maggio 2004, collocata in area agricola a nord ovest dell'area urbanizzata di Mirabello, rappresentativa dell'area ovest del territorio provinciale, posta a 24 m slm); dalla stazione posta nella città di Ferrara (stazione urbana collocata in via Paradiso n. 12, nel centro della città, attiva da giugno 2004 e rappresentativa della pianura interna centrale, posta a 48 m slm, essendo posta sul tetto di un edificio di 26 m); dalla stazione posta nel comune di Comacchio, in località Guagnino (stazione attiva da luglio 2010, collocata in prossimità della SP15 via Valle Isola, rappresentativa della zona costiera orientale, posta a 4 m slm).

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.

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.



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, si avvale del server Cineca con fondi del Dipartimento di Protezione Civile, e l'archivio della analisi è una prerogativa ARPAE-SIMC.

Temperatura

La temperatura media mensile rilevata nel 2021 nelle tre stazioni meteorologiche (Ferrara Urbana, Mirabello, Guagnino - Comacchio) mostra un andamento stagionale in cui luglio risulta il mese più caldo (temperatura media a Ferrara di 25°C) e gennaio quello più freddo (temperatura media a Mirabello di 2,4°C). Sia dall'andamento stagionale che dalle medie annuali (Ferrara 13,9°C, Mirabello 13,7°C, Guagnino 14,4°C), si osserva come le tre stazioni presentano valori confrontabili, con temperature più miti nella stazione di Guagnino, più prossima al mare.

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

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

La stazione di Ferrara Urbana nel 2021 risulta avere valori medi mensili confrontabili a quelli rilevati a Mirabello: le temperature medie mensili a Ferrara variano tra un minimo di 3 °C nel mese di gennaio ed un massimo di 25,2°C a luglio, mentre quelle Mirabello tra un minimo di 2,4 °C nel mese di gennaio ed un massimo di 25,1°C a luglio.

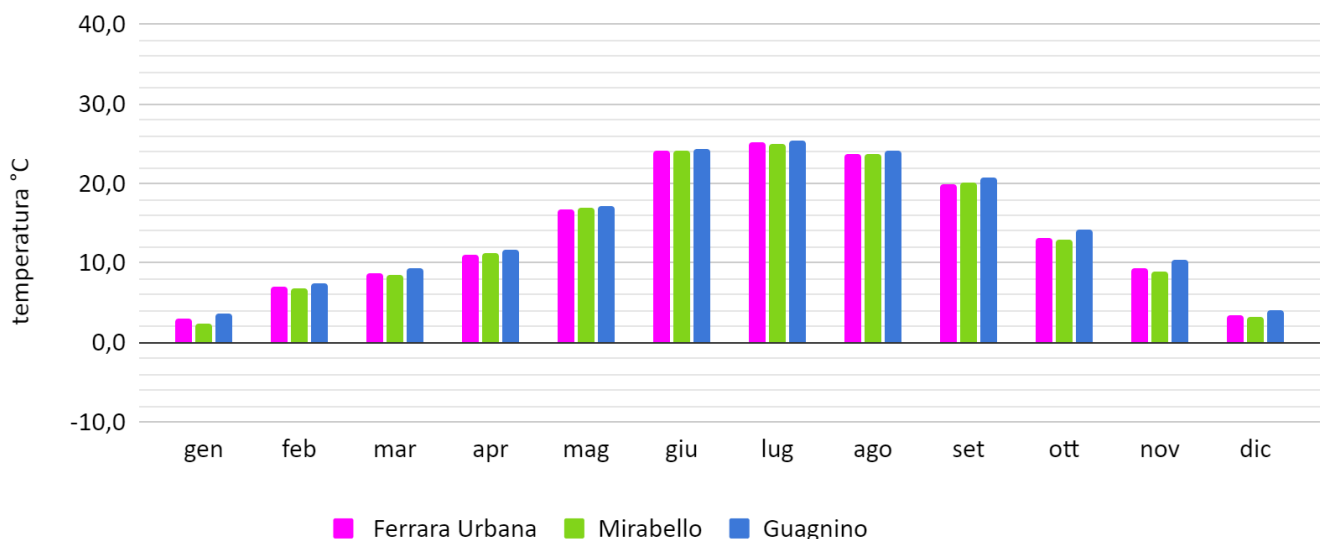
Lo stesso trend si ritrova anche per le temperature minime, che variano da -5,5°C nel mese di febbraio a + 15,2°C a luglio a Ferrara, da -6,7°C nel mese di febbraio a + 15,0°C a luglio a Mirabello.

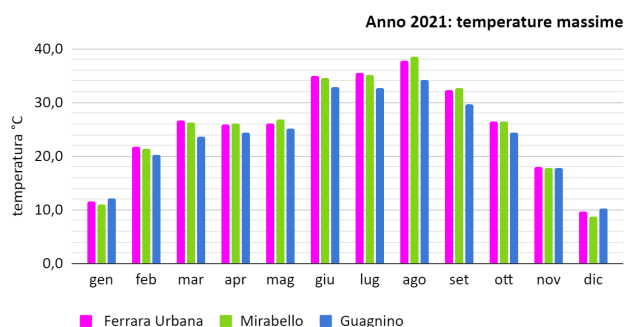
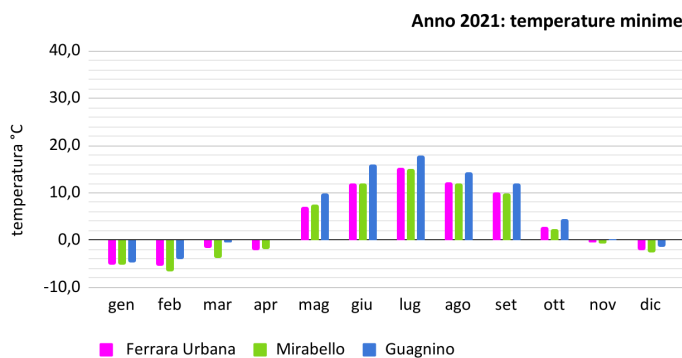
Nell'anno 2021 si sono registrati valori inferiori a 0°C nei mesi gennaio, febbraio, marzo e aprile e nei mesi di novembre e dicembre.

La stazione di Guagnino, ubicata a presidio della zona costiera, pur avendo lo stesso andamento delle altre due, registra valori simili a quelli di Ferrara nei mesi autunnali e nei mesi invernali registra valori lievemente superiori grazie all'azione termoregolatrice del mare. Le medie mensili variano da 3,7°C nel mese di gennaio a 25,4 °C nel mese di luglio. Le minime oscillano tra i -4,6°C di gennaio e i 18,0°C di luglio.

Le temperature massime fanno registrare valori medi tra gli 8,8°C di dicembre a Mirabello e i 38,5°C di agosto sempre a Mirabello.

Anno 2021: temperature medie

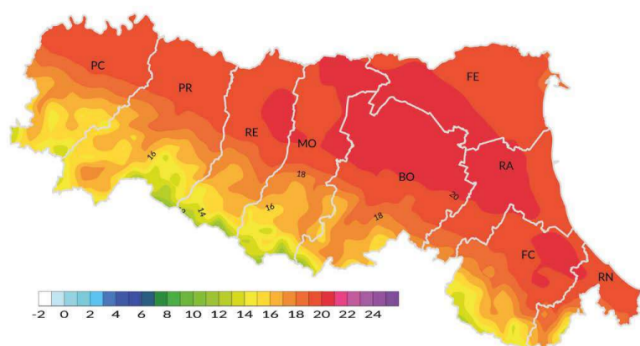




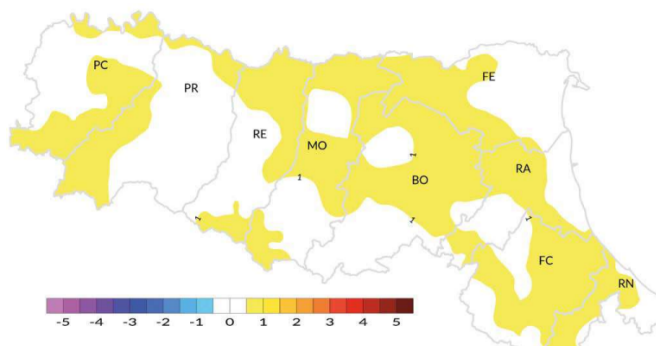
Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura dell'Osservatorio clima di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali dei valori medi delle temperature massime, minime e medie registrati nell'anno 2021 sull'intero territorio regionale e le rispettive anomalie rispetto alla media climatologica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

Per la provincia di Ferrara la distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura massima registrati nel 2021 mostra valori compresi tra 18 e 20,5 °C, i valori più alti della Regione insieme alla parte orientale della Provincia di Forlì-Cesena, seguiti da quelli rilevati nelle province di Bologna e Ravenna. Si evidenzia che nel 2021, la media regionale delle temperature massime annue ha un valore di circa 18,2 °C, mantenendo la tendenza all'aumento registrata sul lungo periodo (dati 1961-2021).

Le anomalie annue di temperatura massima del 2021 calcolate rispetto al 1991-2020 sono state positive su tutta la Regione, con una media regionale di +0,2 °C e punte fino a +1 °C, registrate anche nel territorio di Ferrara.



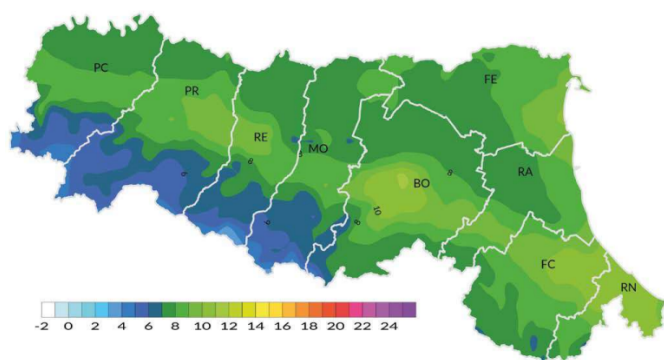
media 2021 della temperatura massima (°C)



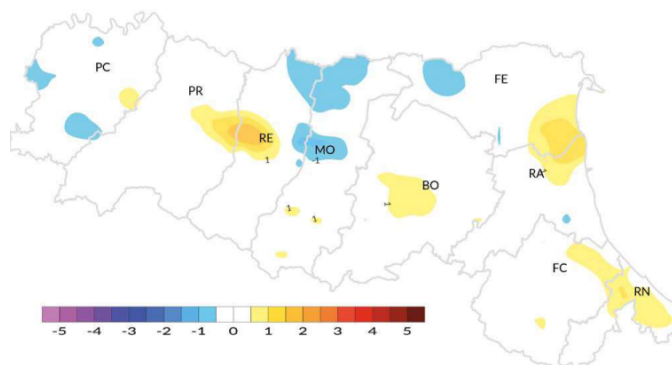
anomalia della media 2021 della temperatura massima (°C)
rispetto al clima 1991-2020

La distribuzione spaziale dei valori medi annui della temperatura minima registrati nel 2021 nella provincia di Ferrara mostra valori compresi tra 7 e 11 °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 la media delle anomalie di temperatura minima varia da -1°C a nord-ovest del comune di Ferrara e in parte nel Comune Bondeno, a nord est, in prossimità della zona pianeggiante confinante con il fiume Po, a 0°C in gran parte del territorio dell'entroterra, a +1,2°C in prossimità della costa sud-orientale; a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura minima è stata di -0,2 °C.



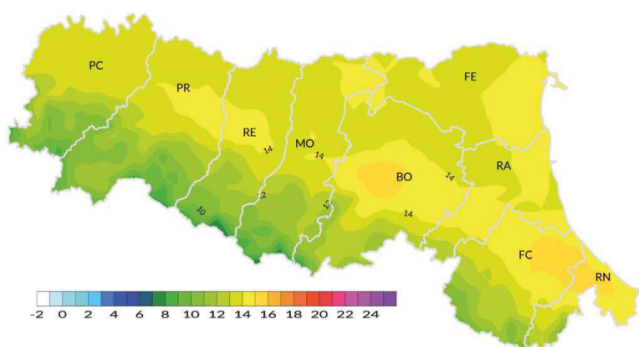
media 2021 della temperatura minima (°C)



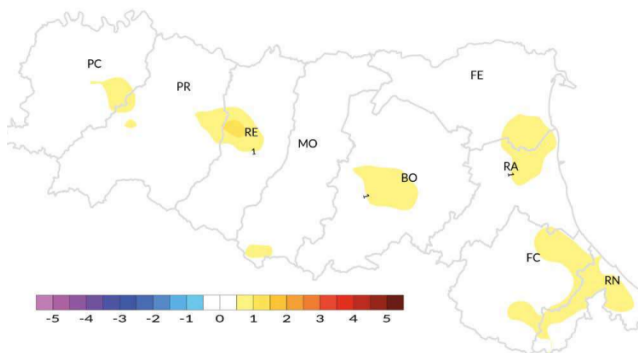
anomalia della media 2021 della temperatura minima (°C)
rispetto al clima 1991-2020

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura media registrati nel 2021 evidenzia per tutto il territorio della provincia di Ferrara valori compresi tra i 13 e i 15 °C; si osservano valori nulli di anomalia rispetto al periodo 1991-2020; si rileva solo una limitata area a sud-est, in prossimità con il confine ravennate in cui si registra un'anomalia dell'ordine 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

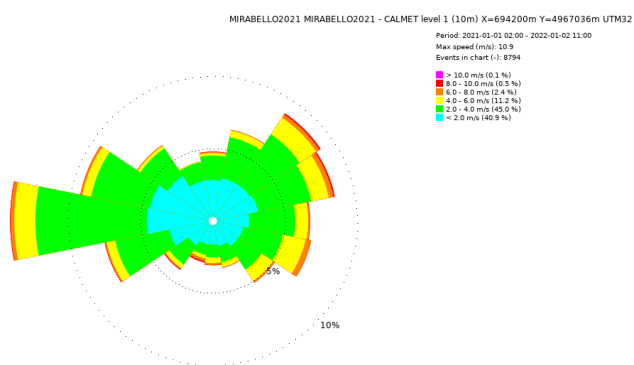
Intensità e direzione del vento

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 Mirabello, Ferrara urbana, Guagnino-Comacchio, e indicano sia le direzioni di provenienza del vento che l'intensità.

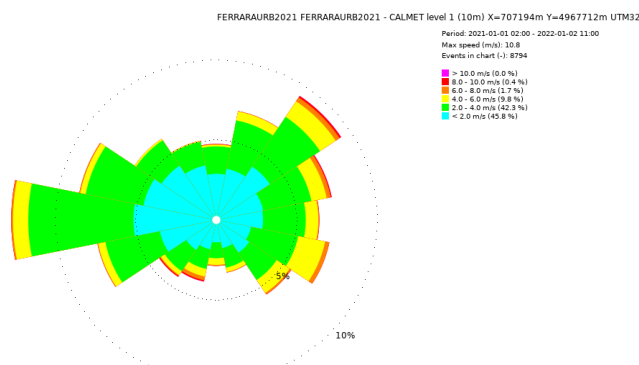
La direzione prevalente di provenienza è molto simile per le due postazioni di pianura, Mirabello e Ferrara, mentre varia nella fascia costiera: nella pianura interna, per quanto riguarda il settore occidentale, sono più frequenti le direttrici Ovest, Ovest-Nord-Ovest e Ovest-Sud-Ovest, mentre per quanto riguarda il settore orientale sono più frequenti le direttrici Nord-Est, Est-Nord-Est e per Ferrara urbana anche Nord-Nord-Est e la direttrice Est-Sud-Est. Nella fascia costiera è invece predominante la componente da Ovest-Nord-Ovest, seguita dalle componenti Ovest, Nord-Nord-Ovest e la componente da Sud-Est a cui si sommano le componenti Est e Est-Sud-Est.

Per quanto riguarda l'intensità del vento, si evidenzia un incremento dei valori spostandosi dall'area interna di pianura verso la costa. I venti che interessano il litorale e che provengono dal settore orientale risultano avere maggiore intensità e si raggiungono anche i 10 m/s come media oraria.

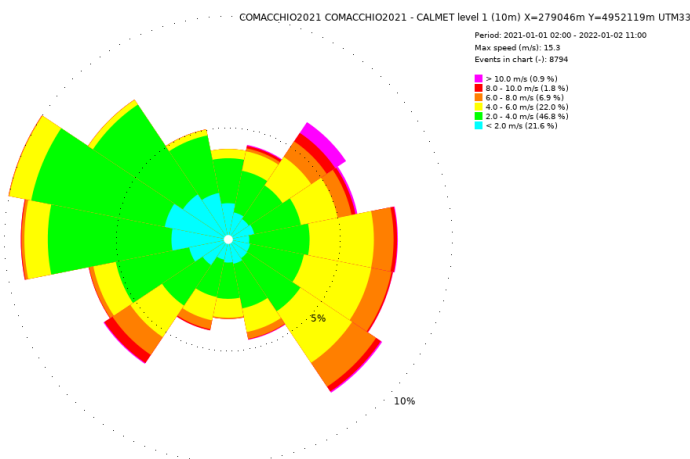
In particolare, la percentuale sui dati orari annui di calme e bave di vento secondo la scala Beaufort (intensità < 1,5 m/s) variano da 22% nella stazione di Mirabello a 26% in quella di Ferrara urbana a 10% presso Guagnino.



Stazione di Mirabello



Stazione di Ferrara urbana



Stazione di Guagnino-Comacchio

Precipitazioni

Dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata annuale si osserva che sia la zona di pianura che la costa hanno registrato valori simili, dell'ordine di 360-380 mm di pioggia annui.

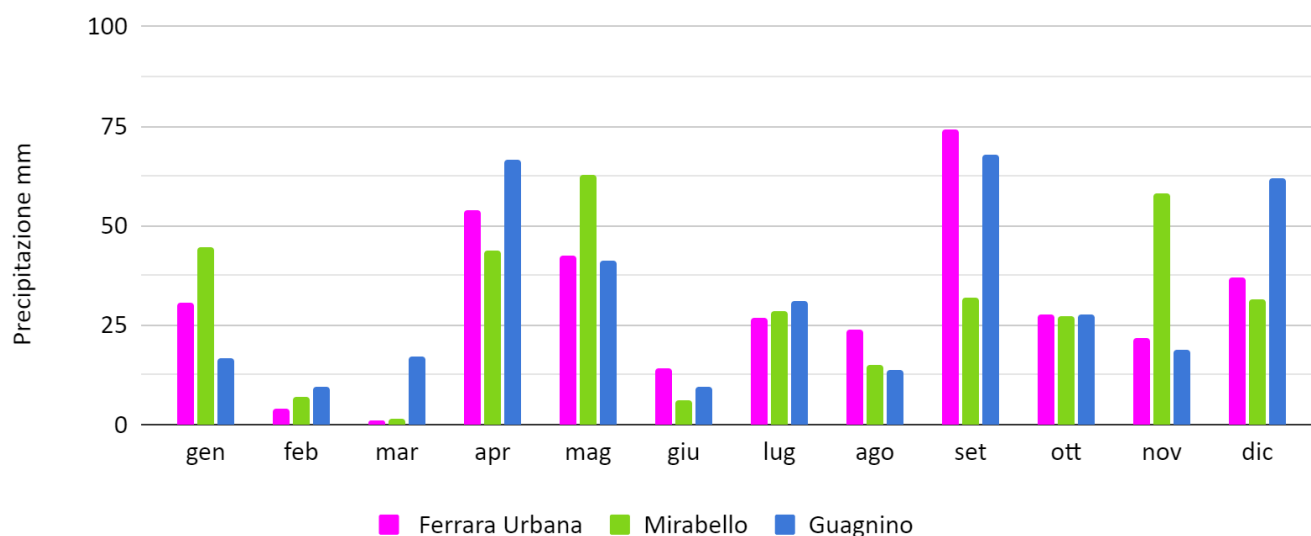
Di seguito si riporta il grafico delle precipitazioni cumulate mensili registrate nell'anno 2021 presso le tre stazioni meteorologiche individuate (Ferrara Urbana, Mirabello, Guagnino-Comacchio).

Per tutte e tre le stazioni i mesi di aprile, maggio e settembre sono stati più piovosi dell'anno, mentre i mesi di febbraio, marzo e giugno sono stati i mesi più secchi.

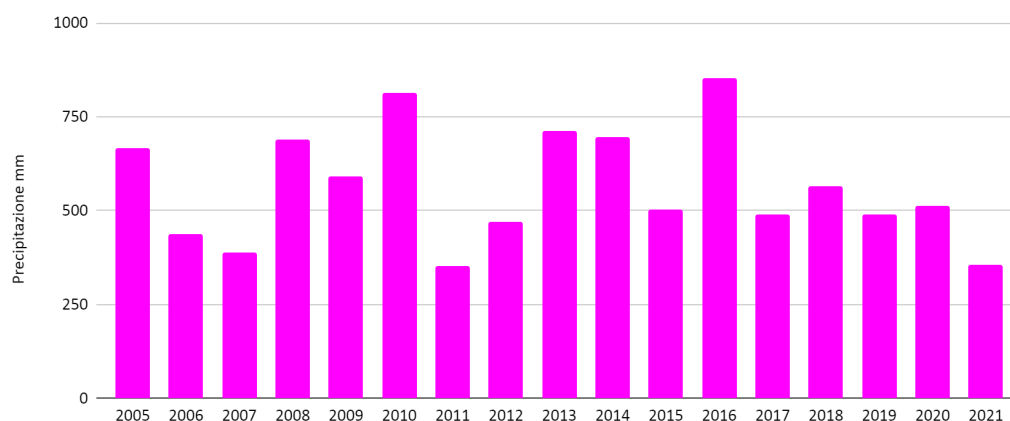
Nei mesi di aprile e settembre si nota una prevalenza delle precipitazioni nella zona centrale, monitorata dalla stazione meteorologica di Ferrara (128 mm di pioggia cumulata nei due mesi) e nella fascia costiera (134 mm di pioggia cumulata nei due mesi); mentre nei mesi di maggio e novembre si nota una prevalenza delle precipitazioni nella zona ovest, monitorata dalla stazione meteorologica di Mirabello (68 mm di pioggia cumulata a maggio, 58 mm di pioggia cumulata a novembre).

Il trend delle precipitazioni cumulate dal 2005 ad oggi per la stazione di Ferrara evidenzia come negli ultimi cinque anni ci sia stata una misurabile riduzione dei quantitativi di pioggia caduta, in particolare se confrontata con gli anni 2016, 2013 e 2014.

Anno 2021: precipitazione cumulata



Anno 2021: trend precipitazione cumulata - Ferrara urbana

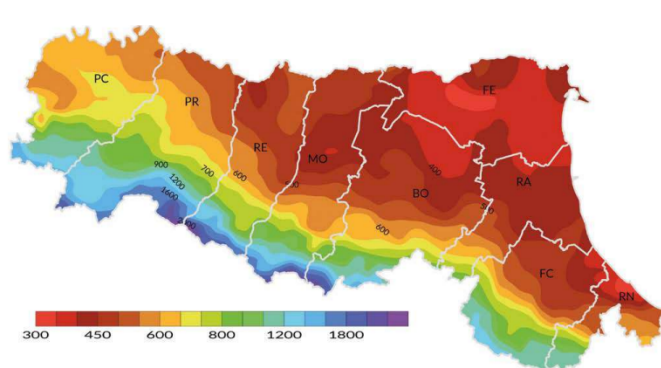


Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura del SIMC di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali della precipitazione cumulata annuale nel 2021 sull'intero territorio regionale e la rispettiva anomalia rispetto alla media climatologica 1991-2020.

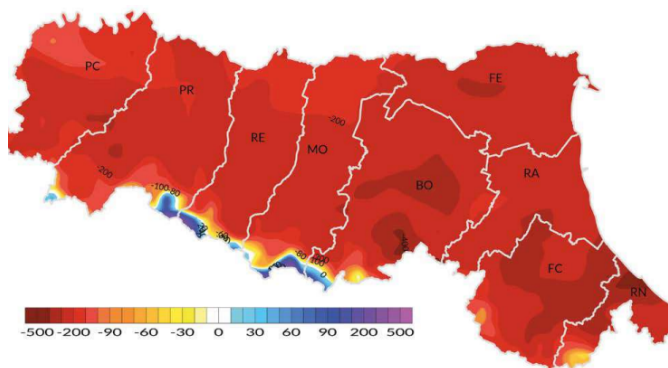
Nella provincia di Ferrara la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata annuale nel 2021 varia tra circa 300 mm e 550 mm, quest'ultima in un'area circoscritta a nord della provincia e in prossimità del delta del Po, in corrispondenza del Comune di Ro.

La media delle anomalie annue di precipitazione, per la provincia di Ferrara, evidenzia un deficit su tutto il territorio dell'ordine di -300mm , - 400mm 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

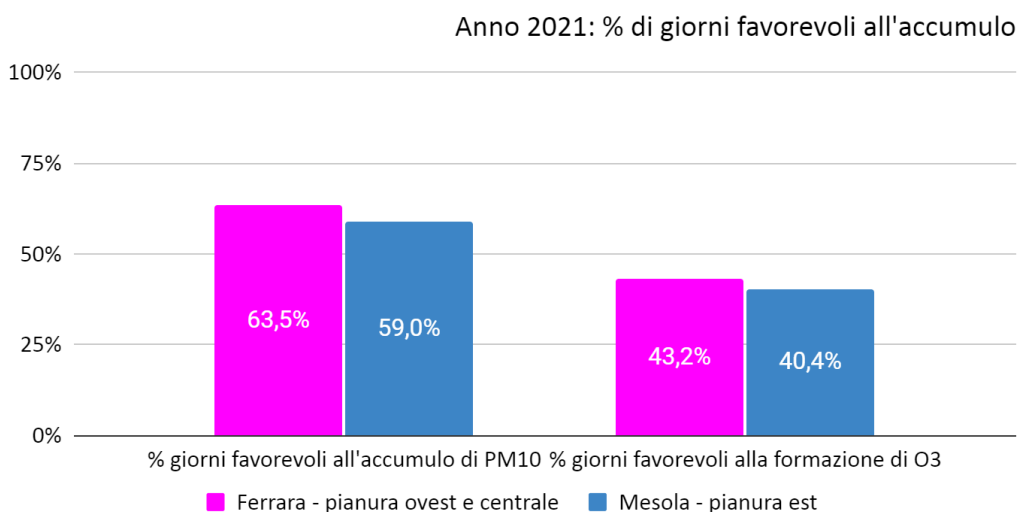
Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono

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).

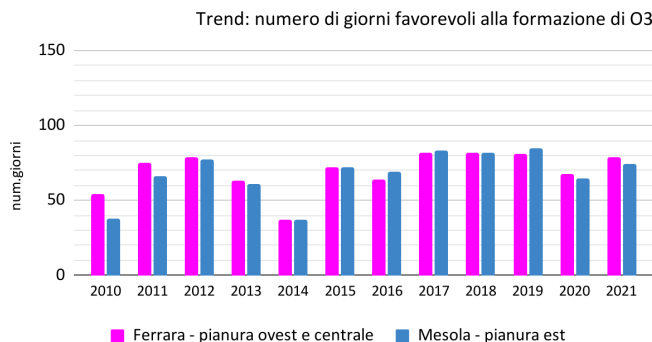
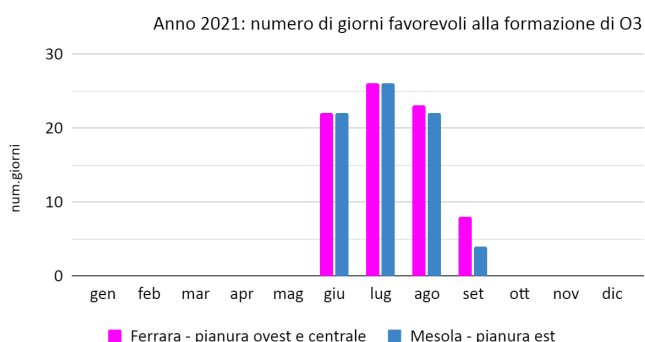
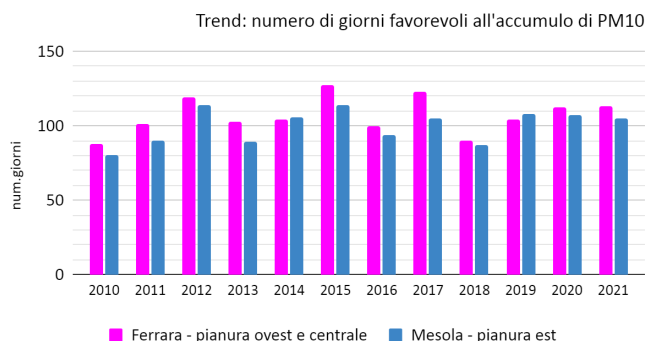
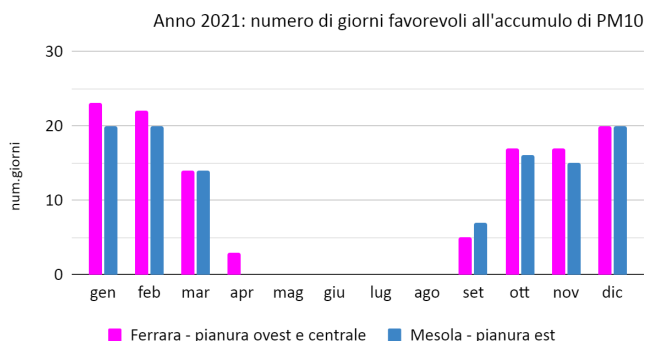
Sono definiti "giorni favorevoli all'accumulo di PM10" le giornate senza pioggia (precipitazione < 0,3 mm) in cui l'indice di ventilazione (definito come il prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento) è inferiore a 800 m²/s. Si tratta cioè di 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 due punti diversi della provincia: un punto che caratterizza la pianura centrale e occidentale (Ferrara) e l'altro che caratterizza la zona orientale (Mesola). I dati relativi alla provincia di Ferrara sono disponibili dal 2004.



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



Nel 2021, la percentuale di giornate favorevoli all'accumulo di PM10 calcolate nel periodo da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre è pari al 64% a Ferrara e 59% a Mesola, 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 due aree, seppur le condizioni più favorevoli all'inquinamento, per entrambi gli indicatori, si registrino sempre nell'area di pianura centrale-occidentale.

Relativamente alle giornate favorevoli all'accumulo di PM10, nel 2021 i mesi peggiori sono risultati gennaio, febbraio, dicembre e a seguire ottobre e novembre; dal punto di vista delle condizioni più favorevoli all'accumulo di PM10, il 2021 è simile al 2020.

Per quanto riguarda invece le giornate favorevoli alla formazione di ozono sono risultati luglio, agosto e giugno, i mesi più critici del 2021; relativamente al trend annuale, nel 2021 si osserva una variazione in aumento del numero di giorni favorevoli alla formazione di ozono rispetto al 2020 e una similitudine con l'anno 2019.