

Allegato A: la meteorologia in provincia di Ferrara

Report dati anno 2022

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 2022

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 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, denominato 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 e da particolato. 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 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 (zona padana)** 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 (zona 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.

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.

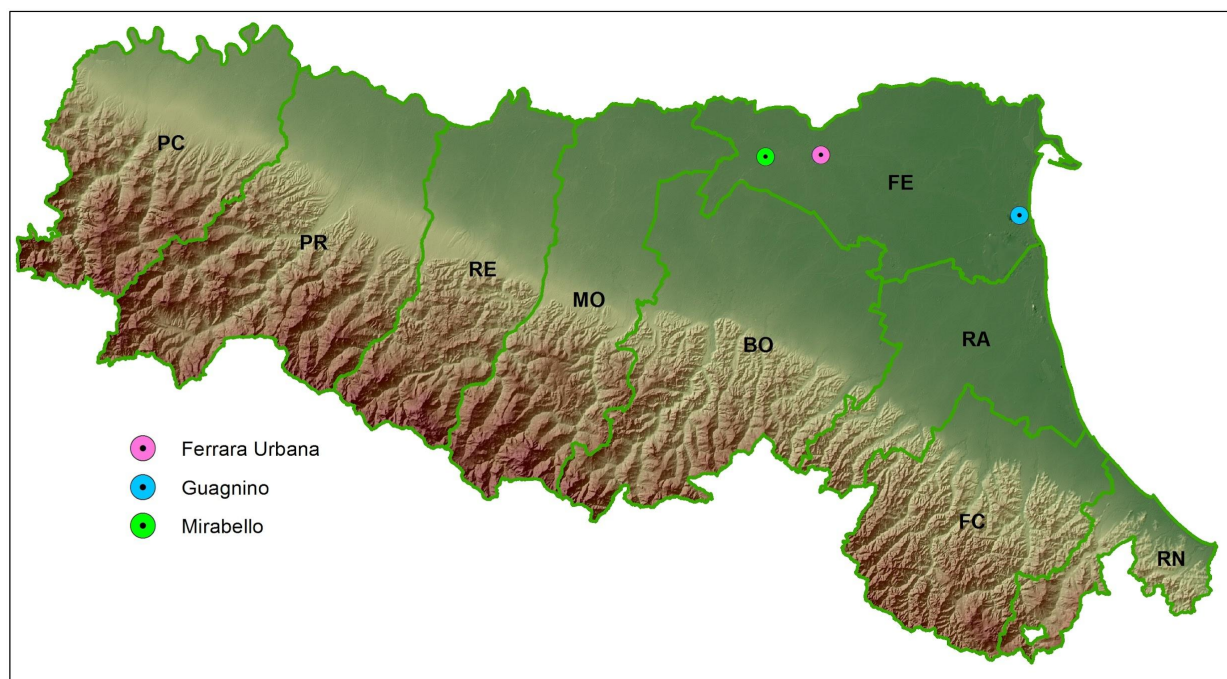
Per quanto concerne le precipitazioni, nella zona costiera si registra il valore minimo pluviometrico regionale, (valore medio annuo tra un minimo di 500 mm a valori di poco superiori ai 700 mm).

La figura seguente riporta la posizione di tre stazioni meteorologiche gestite dal SIMC-Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpae, che caratterizzano la zona padana e la zona costiera:

- Mirabello, collocata in area agricola a nord ovest dell'area urbanizzata di Mirabello, rappresentativa dell'area ovest del territorio provinciale, posta a 24 m s.l.m.;
- Ferrara, stazione urbana collocata nel centro della città rappresentativa della pianura interna centrale, posta a 48 m s.l.m., sul tetto di un edificio di 26 m;
- Guagnino, collocata nel comune di Comacchio, in località Guagnino, in prossimità della SP15 via Valle Isola, rappresentativa della zona costiera orientale, posta a 4 m s.l.m.

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 ARP AE-SIMC³. I dati si riferiscono ad una quota di 10 metri dal suolo.

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 2022), 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 ARP AE-SIMC.

Temperatura

La temperatura media mensile rilevata nel 2022 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 e a Mirabello di 29°C) e gennaio quello più freddo (temperatura media a Ferrara e a Mirabello di circa 3°C). I valori medi mensili sono confrontabili e per tutte e tre le stazioni si è registrata una temperatura media annuale di 16°C.

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.

La stazione di Ferrara Urbana nel 2022 risulta avere valori medi mensili confrontabili a quelli rilevati a Mirabello: le temperature medie mensili a Ferrara variano tra un minimo di 2,9 °C nel mese di gennaio ed un massimo di 28,8°C a luglio, mentre quelle Mirabello tra un minimo di 2,9 °C nel mese di gennaio ed un massimo di 29,3°C a luglio.

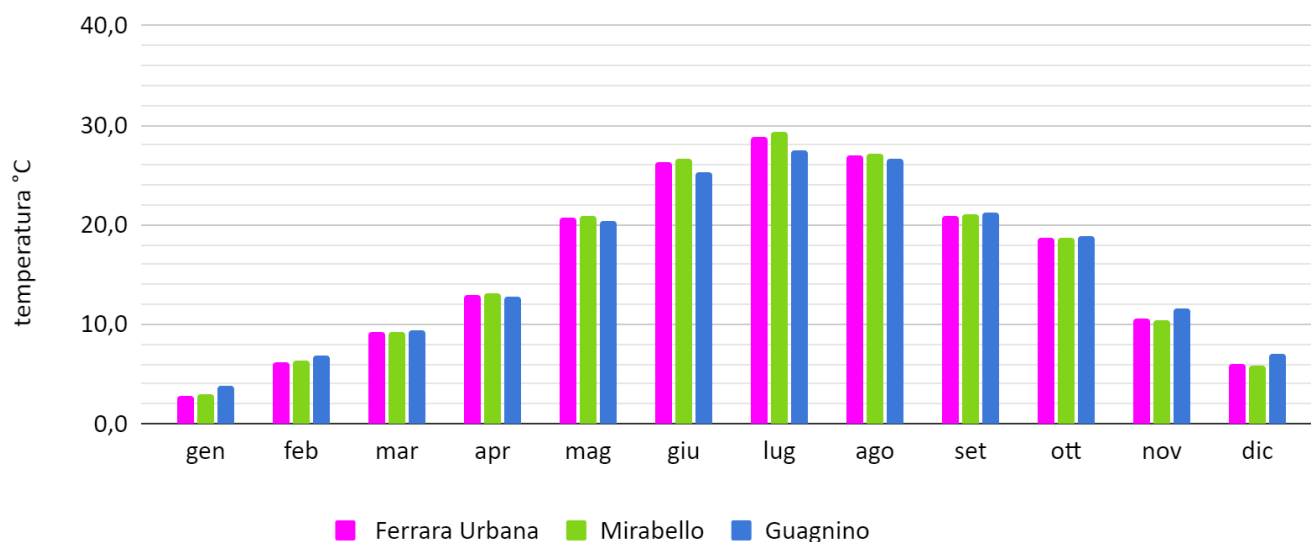
Lo stesso trend si ritrova anche per le temperature minime, che variano da -1,7°C nel mese di gennaio a + 19,1°C a luglio a Ferrara, da -1,7°C nel mese di gennaio a + 19,4°C a luglio a Mirabello.

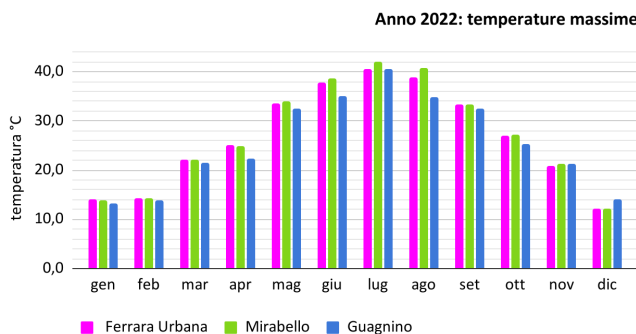
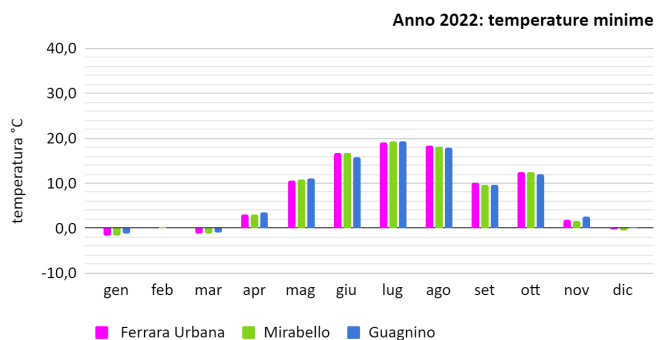
Nell'anno 2022 si sono registrati valori inferiori a 0°C nei mesi gennaio, marzo e dicembre.

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 di marzo, aprile, maggio, settembre e ottobre, mentre nei mesi prettamente invernali (gennaio, febbraio, novembre e dicembre) registra valori lievemente superiori e nei mesi estivi valori lievemente inferiori grazie all'azione termoregolatrice del mare. Le medie mensili variano da 3,7°C nel mese di gennaio a 27,4 °C nel mese di luglio. Le minime oscillano tra i -1,3°C di gennaio e i 19,2°C di luglio.

Le temperature massime fanno registrare valori medi compresi tra 12,2°C di dicembre a Mirabello e a Ferrara e 42°C di luglio a Mirabello.

Anno 2022: temperature medie

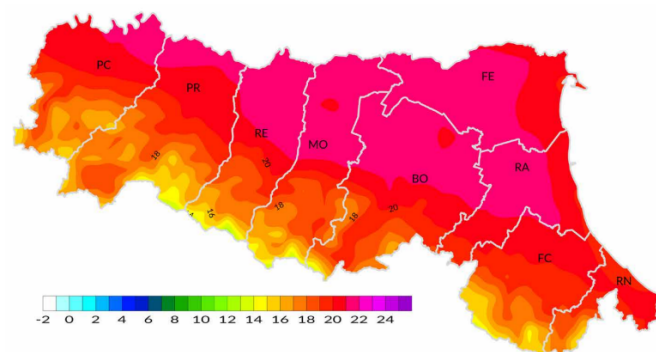




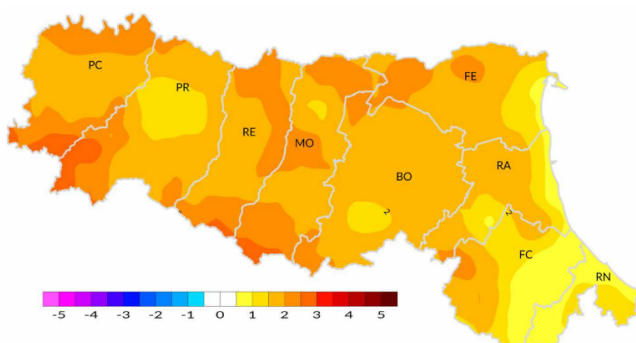
Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura dell'Osservatorio clima di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali dei valori medi delle temperature massime, minime e medie registrati nell'anno 2022 sull'intero territorio regionale e le rispettive anomalie rispetto alla media climatologica 1991-2020.

Per la provincia di Ferrara la distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura massima registrati nel 2022 mostra valori compresi tra 10 e 21,5 °C; i valori più bassi sono stati registrati nell'Appennino centrale, mentre quelli più alti in gran parte della pianura.

Le anomalie medie annue della temperatura massima nel 2022, calcolate rispetto al 1991-2020, sono state positive su tutta la regione, con una media regionale di +1,6 °C. Punte fino a +2,7 °C sono state registrate nell'Appennino centrale e occidentale, mentre lungo la costa le anomalie si sono mantenute inferiori a +1 °C.



media 2022 della temperatura massima (°C)

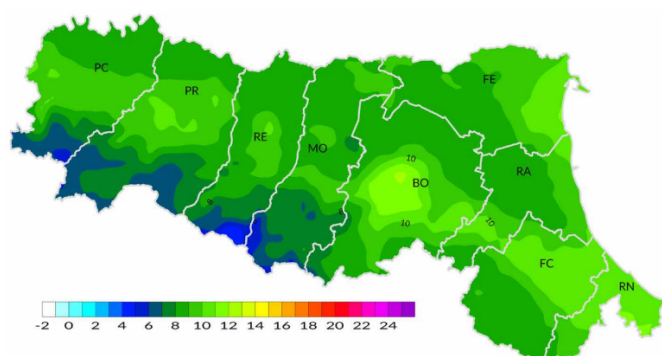


anomalia della media 2022 della temperatura massima (°C)
rispetto al clima 1991-2020

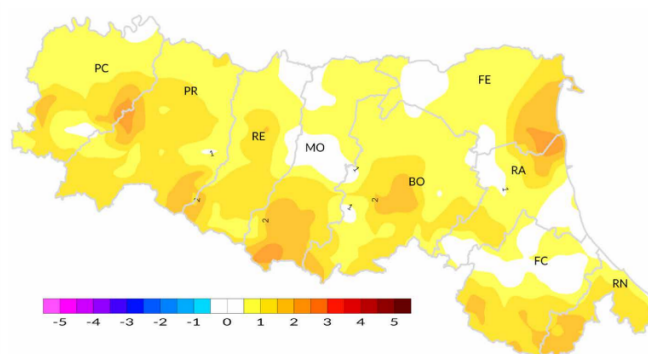
La distribuzione spaziale dei valori medi annui della temperatura minima registrati nel 2022 nella provincia di Ferrara mostra valori compresi tra 9 e 11 °C. Il valore medio regionale di temperatura minima per il 2022 è di circa 9 °C, il secondo valore più alto della serie, dopo il 2014, e a pari merito con il 2015, confermando la tendenza all'aumento dei valori dell'indice registrata sul lungo periodo 1961-2022.

La configurazione spaziale delle anomalie di temperatura minima evidenzia anomalie positive su tutta la regione, con valori fino a +2 °C registrati nel comune di Bologna, nell'Appennino centrale e lungo la costa settentrionale.

A livello provinciale la media delle anomalie di temperatura minima varia da 0°C a ovest del comune di Ferrara e in parte nel Comune Bondeno a 2-2,5°C nella zona pianeggiante andando dal comune di Ferrara verso la costa, con valori maggiori a sud est; a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura minima è stata di +0,6 °C.



media 2022 della temperatura minima (°C)

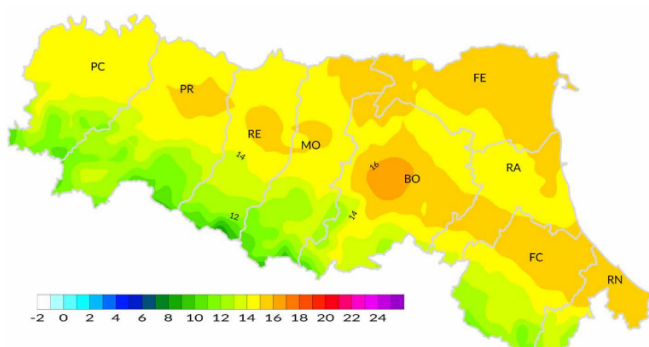


anomalia della media 2022 della temperatura minima (°C)
rispetto al clima 1991-2020

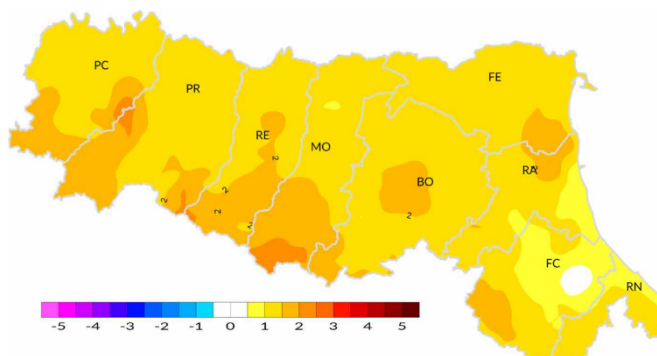
Il valore medio regionale di temperatura media annua, nel 2022, è stato pari a circa 14,2 °C, il valore più alto della serie dal 1961, superiore di 0,3 °C rispetto al precedente record del 2014.

La distribuzione spaziale dei valori medi annui di temperatura media registrati nel 2022 evidenzia per tutto il territorio della provincia di Ferrara valori compresi tra i 14 e i 16 °C; si osservano valori di 1,5°C 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 2°C.

In generale nel 2022, a livello regionale, la media delle anomalie di temperatura media ha registrato valori positivi e anomalie più intense fino a +2,4 °C nell'Appennino centrale e occidentale; la temperatura media annua è stata di circa 14,2 °C, il valore più alto della serie dal 1961, superiore di 0,3 °C rispetto al precedente record del 2014.



temperatura media 2022 (°C)



anomalia della media 2022 della temperatura media (°C)
rispetto al clima 1991-2020

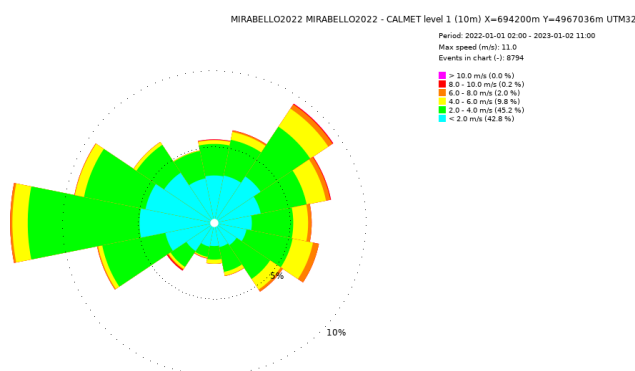
Intensità e direzione del vento

Di seguito sono mostrate le rose dei venti annuali ottenute da Arpae-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.

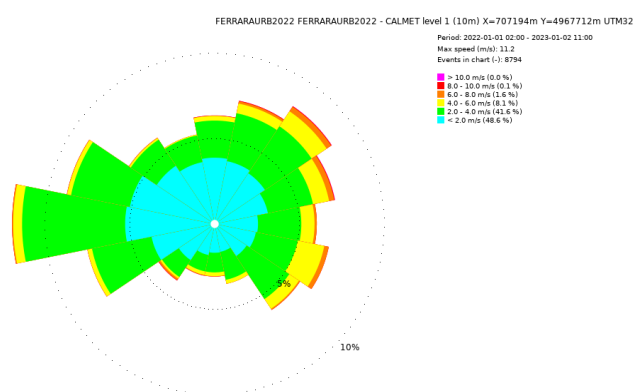
La direzione prevalente di provenienza è molto simile per le due postazioni di pianura, Mirabello e Ferrara, mentre varia nella fascia costiera: nella pianura interna, per quanto riguarda il settore occidentale, sono più frequenti le direttrici Ovest, Ovest-Nord-Ovest e Ovest-Sud-Ovest, mentre per quanto 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.

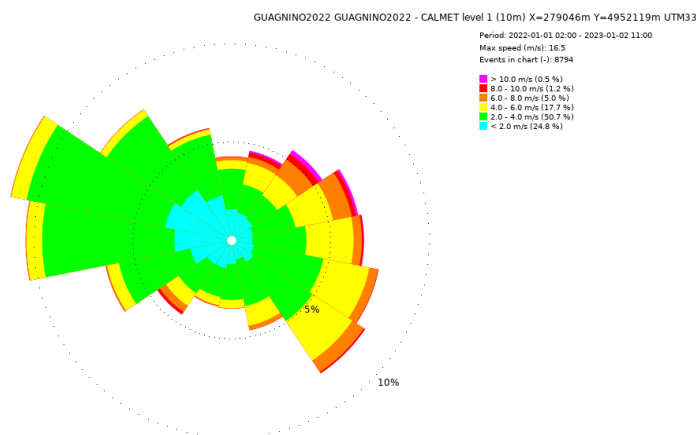
In particolare, la percentuale sui dati orari annui di calme e bave di vento secondo la scala Beaufort (intensità < 1,5 m/s) varia da 24% nella stazione di Mirabello a 28% in quella di Ferrara urbana a 12% presso Guagnino.



Stazione di Mirabello



Stazione di Ferrara urbana



Stazione di Guagnino-Comacchio

Precipitazioni

Dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata annuale si osserva che la zona di pianura interna ha registrato valori leggermente inferiori (450-490 mm di pioggia annui) rispetto alla costa (525 mm).

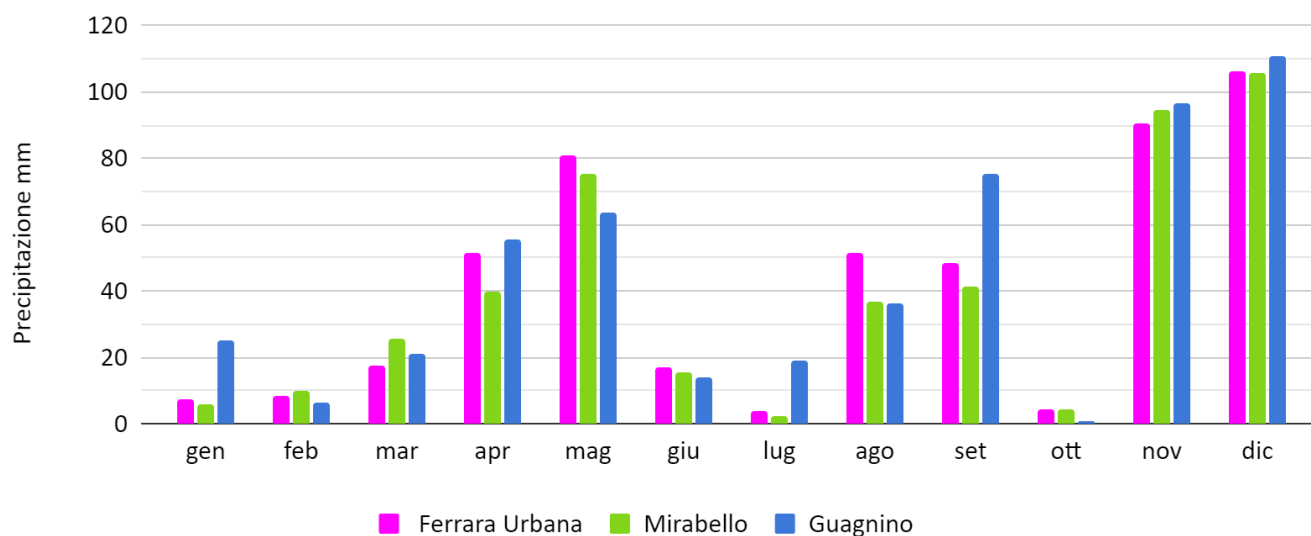
Di seguito si riporta il grafico delle precipitazioni cumulate mensili registrate nell'anno 2022 presso le tre stazioni meteorologiche individuate (Ferrara Urbana, Mirabello, Guagnino-Comacchio).

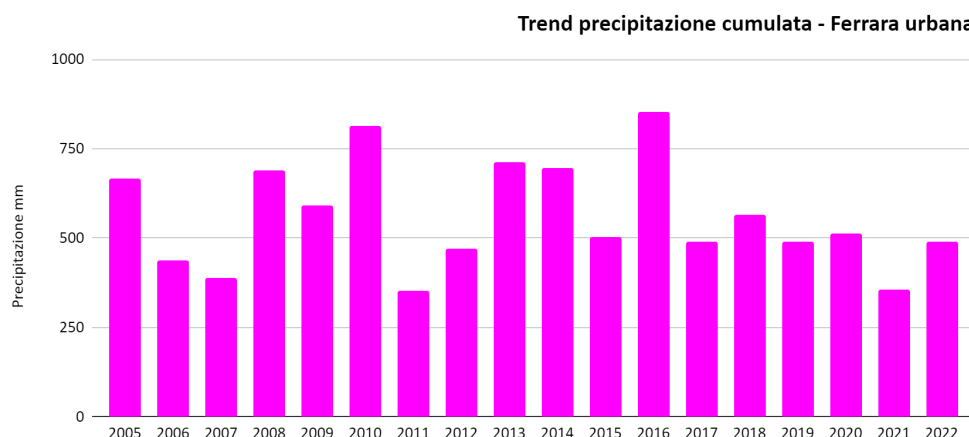
Per tutte e tre le stazioni, i mesi di novembre e dicembre sono stati i più piovosi dell'anno (oltre 90 mm di pioggia cumulata a novembre e oltre 100 nel mese di dicembre). Per le stazioni di pianura interna anche il mese di maggio ha registrato valori di pioggia cumulata dell'ordine di 80 mm.

I mesi di gennaio, febbraio, luglio e ottobre sono stati particolarmente siccitosi per la zona di pianura interna, con valori di pioggia cumulata inferiore anche a 5 mm; per quanto riguarda la zona di costa, febbraio è stato particolarmente secco, mentre ad ottobre non si sono praticamente verificate precipitazioni.

Il trend delle precipitazioni cumulate dal 2005 ad oggi per la stazione di Ferrara evidenzia come negli ultimi sei anni ci sia stata una misurabile riduzione dei quantitativi di pioggia caduta, in particolare se confrontata con gli anni 2016, 2013 e 2014. L'anno 2022 presenta un quantitativo di pioggia cumulata annua confrontabile con quella degli anni 2017-2020 e superiore rispetto a quanto rilevato per l'anno 2021.

Anno 2022: precipitazione cumulata



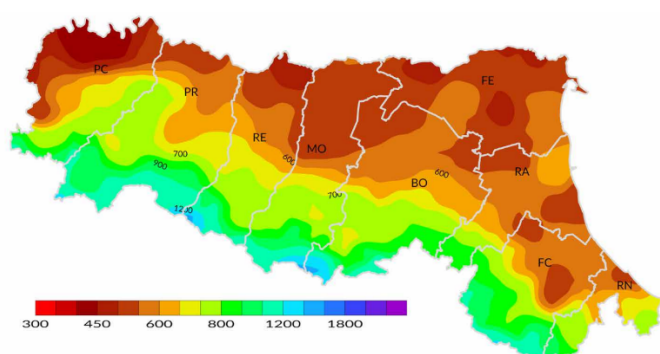


Di seguito si riportano le mappe, elaborate a cura del SIMC di Arpae, che rappresentano le distribuzioni spaziali della precipitazione cumulata annuale nel 2022 sull'intero territorio regionale e la rispettiva anomalia rispetto alla media climatologica 1991-2020.

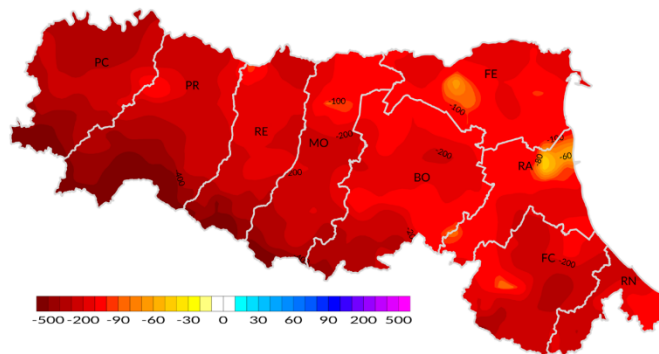
Nella provincia di Ferrara la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata annuale nel 2022 varia tra circa 450 mm a 600 mm, quest'ultima in un'area interna della provincia e in un'area a sud est, in prossimità della costa.

La media delle anomalie annue di precipitazione, per la provincia di Ferrara, evidenzia un deficit su tutto il territorio dell'ordine di -40 mm, - 200 mm di pioggia.

A livello regionale l'andamento annuo della quantità totale di precipitazione mostra, per il 2022, un valore di circa 677 mm, il quinto più basso della serie dal 1961, dopo 1988, 1983, 2021 e 2011; la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata annua, nel 2022, varia tra 470 mm lungo l'asta del Po e 1450 mm sull'Appennino centrale. La mappa dell'anomalia di precipitazione evidenzia una distribuzione con anomalie negative su tutto il territorio regionale : le anomalie negative sono state molto intense nella fascia pedemontana e montana, con scarti negativi che hanno raggiunto -680 mm nell'Appennino tosco-emiliano. La media delle anomalie annue di precipitazione, a livello regionale, evidenzia un deficit di circa -212 mm rispetto al periodo di riferimento 1991-2020.



precipitazioni totali 2022 (mm)



anomalia delle precipitazioni totali 2022 (mm)
rispetto al clima 1991-2020

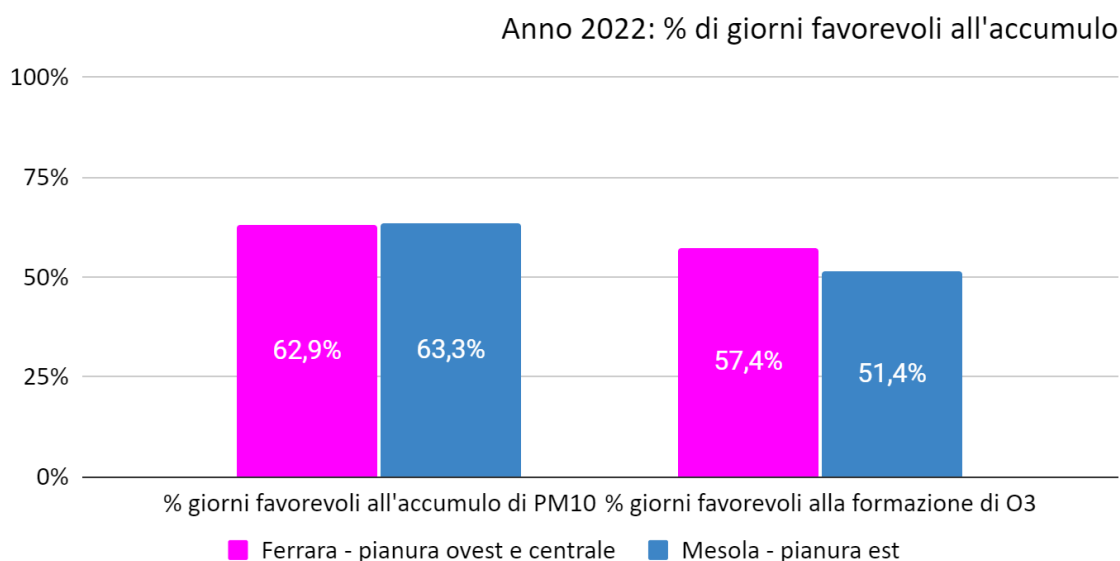
Giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e alla formazione di ozono

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).

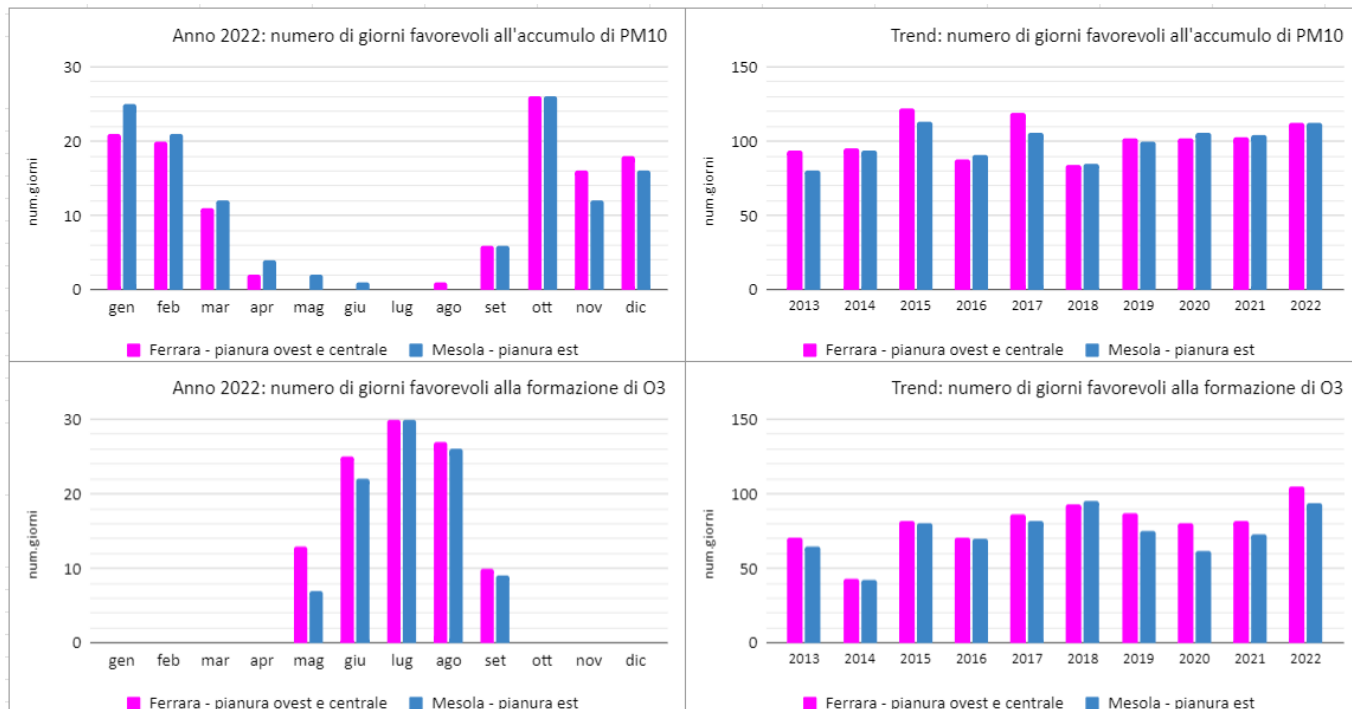
Sono definiti "giorni favorevoli all'accumulo di PM10" le giornate senza pioggia (precipitazione < 0,3 mm) in cui l'indice di ventilazione (definito come il prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento) è inferiore a 800 m²/s. Si tratta cioè di 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 2022, la percentuale di giornate favorevoli all'accumulo di PM10 calcolate nel periodo da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre è del 63% sia a Ferrara che a Mesola, mentre le giornate favorevoli alla formazione di ozono oscillano tra il 51% e il 57% del periodo aprile-settembre. Non si osservano variazioni significative tra le due aree.

Relativamente alle giornate favorevoli all'accumulo di PM10, nel 2022 i mesi peggiori sono risultati gennaio, febbraio e ottobre e a seguire novembre e dicembre; dal punto di vista delle condizioni più favorevoli all'accumulo di PM10, il 2022 è in linea con gli ultimi due anni.

Per quanto riguarda invece le giornate favorevoli alla formazione di ozono sono risultati luglio, agosto e giugno, i mesi più critici del 2022; relativamente al trend annuale, nel 2022 si osserva una variazione in aumento del numero di giorni favorevoli alla formazione di ozono rispetto agli ultimi anni.