

**ARPAE EMILIA-ROMAGNA
SEZIONE DI FERRARA**

**RAPPORTO METEO ANNUALE
PER LA QUALITÀ DELL'ARIA
PROVINCIA DI FERRARA - DATI 2015**
Allegato A



a cura di:
Arpae Emilia Romagna - sez. di Ferrara (dir. Pierluigi Trentini)

Responsabilità scientifica:
Enrica Canossa - resp. Servizio Sistemi Ambientali
Giovanna Rubini – resp. Area monitoraggio e valutazione aria e agenti fisici

Gruppo di lavoro:
M.Rita Mingozi – resp. prov. Rete qualità dell'aria
Paola Leuci, Marco Tosi

Elaborazioni e testi
Sabina Bellodi

hanno collaborato:
Giovanni Bonafè, Enrico Minguzzi – Arpae SIMC

Per l'immagine di copertina si ringrazia G. Garasto

RAPPORTO METEO ANNUALE PER LA QUALITÀ DELL'ARIA

PROVINCIA DI FERRARA - DATI 2015

Allegato A

SOMMARIO

1. L'INFLUENZA DELLA MICROMETEOROLOGIA.....	2
2. ANALISI DELLE GRANDEZZE METEOCLIMATICHE.....	4
2.1. TEMPERATURA.....	4
2.2. INTENSITÀ E DIREZIONE DEL VENTO.....	6
2.3. PRECIPITAZIONI.....	7
3. CONFRONTO PM10 E METEO.....	11
4. GIORNI CRITICI.....	14

1. L'INFLUENZA DELLA MICROMETEOROLOGIA

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 soprastante la superficie terrestre (strato limite o boundary layer) sia a scala regionale che locale.

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

Relativamente ai processi meteorologici che avvengono a scala locale, questi sono governati dal vento in prossimità della superficie e dalla differenza di temperatura tra il suolo e l'aria sovrastante, grandezze che determinano la diluizione o il ristagno degli inquinanti in atmosfera.

I più importanti fattori meteorologici che interessano i fenomeni di inquinamento atmosferico sono:

- **Temperatura:** sono importanti la sua evoluzione annuale, quella diurna nonché il profilo verticale;
- **Vento orizzontale** (velocità e direzione): generato dalla componente geostrofica e modificato dal contributo delle forze d'attrito del terreno e da effetti meteorologici locali, come brezze (di monte-valle o marine) o, come nel caso di una città, da circolazioni urbano-rurali;
- **Altezza di rimescolamento:** è un indicatore della capacità che ha la troposfera di disperdere gli inquinanti; indica indirettamente il volume all'interno del quale gli inquinanti emessi si concentrano;
- **Stabilità atmosferica:** è un indicatore della turbolenza atmosferica alla quale si devono i rimescolamenti dell'aria e, quindi, il processo di diluizione degli inquinanti;
- **Precipitazioni:** è importante il numero di giorni caratterizzati da quantità di pioggia ≥ 5 mm nonché l'entità cumulata mensile e annuale;
- **Inversione termica:** quota alla quale si verifica che la temperatura, anziché diminuire, aumenta con l'aumento dell'altezza. Essa determina anche l'altezza del PBL (Planetary Boundary Layer), porzione più bassa dell'atmosfera che comprende la parte di troposfera

nella quale la struttura del campo anemologico risente dell'influenza della superficie terrestre e si estende fino a pochi chilometri di altezza;

- **Movimenti atmosferici verticali:** spostamenti di masse d'aria in senso verticale, che in ambiente urbano sono dovuti principalmente a moti termoconvettivi.

Nel capitolo che segue, si riportano alcune elaborazioni di dettaglio relative ai seguenti parametri meteorologici:

- temperatura (°C),
- velocità del vento (m/s) e direzione (gradi),
- precipitazioni (mm).

Le elaborazioni sono state ottenute a partire dai dati meteo registrati presso la stazione urbana di Ferrara, attiva da maggio 2004 (in via Paradiso n. 12) e gestita dal Servizio Idro-Meteo-Clima¹.

¹Nel presente report non vengono riportate le elaborazioni dei dati meteo calcolati dal preprocessore meteorologico tridimensionale Calmet implementato presso Arpae-Servizio IdroMeteoClima (Deserti et al., 1999) in quanto i dati relativi all'anno 2015 non risultano essere al momento disponibili.

2. ANALISI DELLE GRANDEZZE METEOCLIMATICHE

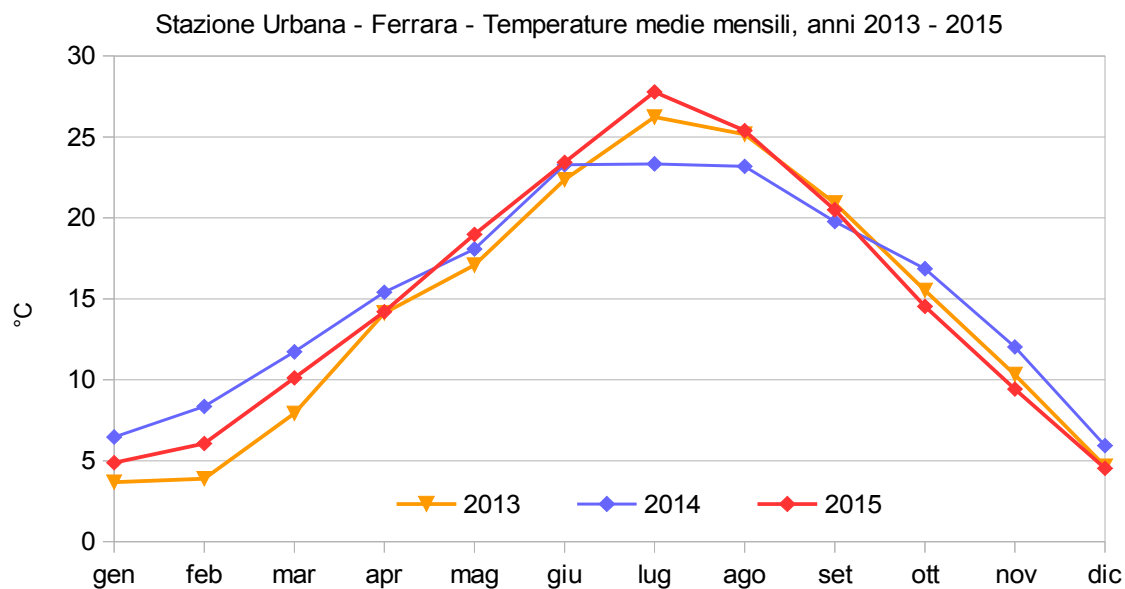
2.1. Temperatura

Nell'anno 2015, i mesi invernali da gennaio a marzo hanno avuto un andamento intermedio rispetto agli ultimi 2 anni, mentre da ottobre a dicembre si sono registrate temperature medie invernali leggermente inferiori. I mesi estivi del 2015 hanno fatto registrare temperature più calde, in particolare nel mese di luglio (temperatura media mensile di 28°C) durante il quale si è avuta anche assenza di precipitazioni.

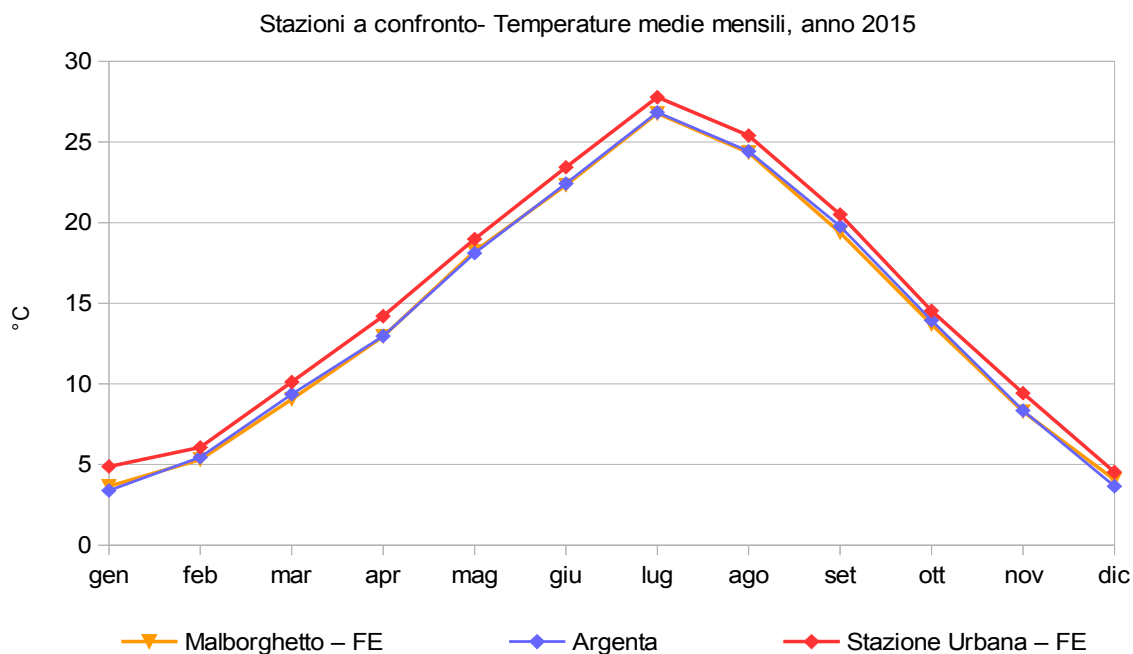
Le temperature nel centro urbano di Ferrara sono costantemente leggermente superiori a quelle rilevate nelle stazioni extraurbane di Malborghetto di Boara e di Argenta. Tale comportamento è dovuto all'effetto dell'isola di calore² che si sviluppa nei centri urbani. La temperatura media annua del 2015 calcolata presso la stazione urbana di via Paradiso è stata di circa 15°C contro i circa 14°C di Malborghetto di Boara e Argenta.

² Isola di calore: progressivo surriscaldamento della bolla di aria calda che grava in continuazione al di sopra dei centri urbani. La cappa d'aria surriscaldata, di non più di 200-300 metri di spessore, costituisce una vera e propria isola più calda rispetto al circostante ambiente rurale. Tale surplus di calore attenua i rigori invernali ma nelle soleggiate e calde giornate estive trasforma le città delle medio-basse latitudini in una sorta di fornace. L'isola di calore trae origine dal particolare tessuto urbano, costituito in prevalenza da asfalto, calcestruzzo, mattoni e cemento, ovvero materiali che, rispetto alla copertura vegetale della campagna, assorbono in media il 10% in più di energia solare. Il surplus di calore solare immagazzinato dai manufatti cittadini viene poi rimesso per irraggiamento, ovvero sotto forma di energia nell'infrarosso, con conseguente surriscaldamento dell'aria che sovrasta la città. All'isola di calore dà un rilevante contributo anche il tipico assetto geometrico delle città, con strade relativamente strette rispetto alle dimensioni verticali degli edifici.

Comune di Ferrara
Andamento delle temperature medie mensili - 2013-2015

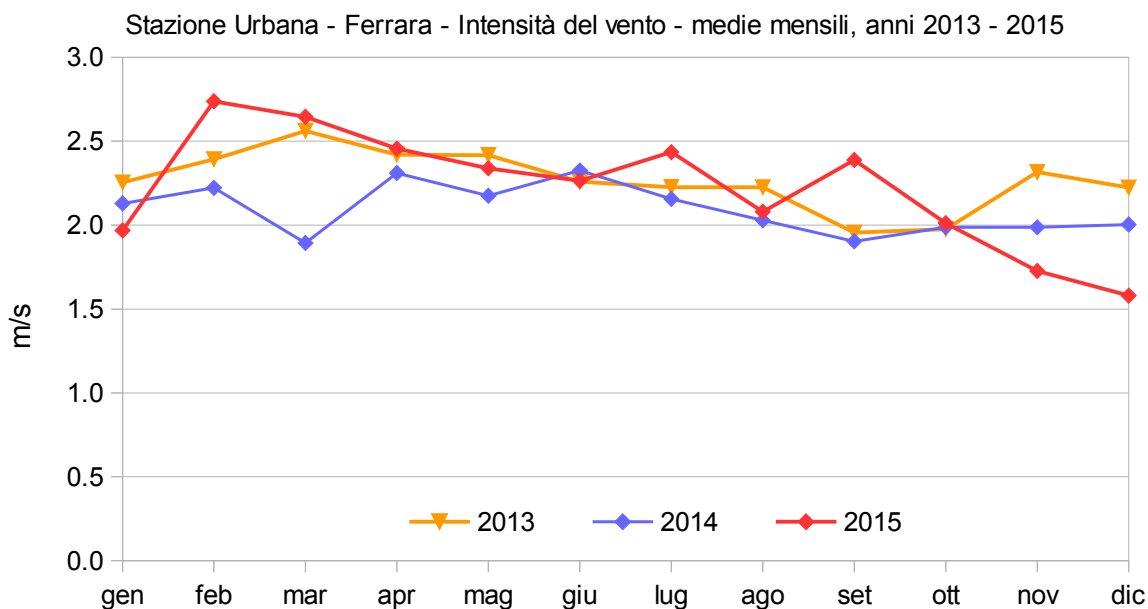


Andamento delle temperature medie mensili in tre postazioni della provincia (2015)



2.2. Intensità e direzione del vento

Comune di Ferrara
Media mensile dell'intensità del vento a 10 m - Anni 2013-2015



La rappresentazione delle intensità medie mensili del vento per il comune di Ferrara registrate dalla stazione urbana evidenzia valori molto bassi, pressoché quasi sempre inferiori a 2.5 m/s.

L'analisi dei dati registrati dalla stazione urbana per l'anno 2015 evidenzia che si sono verificate solo due giornate con velocità media superiore ai 7 m/s (5 e 6 febbraio), due giornate con velocità media superiore ai 5 m/s (16 e 25 marzo); 32 giorni con velocità media compresa fra 3 e 5 m/s. Nel contempo sono stati registrati ben 168 giorni con velocità superiore ai 2 m/s e 161 giorni (44%) con velocità inferiore o uguale ai 2 m/s.

Un'analisi dettagliata degli eventi meteorologici avvenuti nei periodi sopra menzionati, è riportata nei relativi rapporti redatti da Arpae – SIMC³.

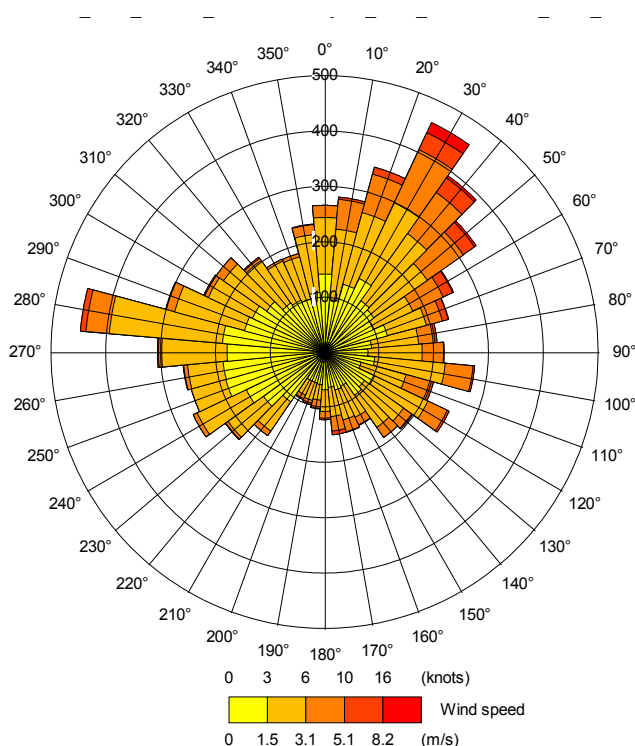
Di seguito si rappresenta la rosa del vento calcolata a partire dai dati della stazione di Malborghetto.

³http://www.arpae.emr.it/v2_documenti_find.asp?annoi=0&annof=0&parolachiave=sim_rapportoradar&cerca=si&idlivello=64&pag=2

La rosa dei venti qui rappresentata è stata realizzata con il modello ADMS-URBAN⁴ a partire da dati orari di velocità e direzione del vento. Il modello ADMS usato per l'elaborazione della rosa dei venti considera come calme i valori di velocità del vento minori o uguali a 0.75 m/s.

Osservando la rosa dei venti, si nota una preponderanza delle componenti da ONO e da NE, queste ultime caratterizzate da un'intensità maggiore.

Ferrara: Rosa dei venti, anno 2015 – dati stazione Malborghetto



2.3. Precipitazioni

L'analisi dei dati registrati presso la stazione urbana di Ferrara ha evidenziato per l'anno 2015 un totale annuo di precipitazioni intorno ai 500 mm.

Per una valutazione più completa si riportano nel grafico che segue le precipitazioni cumulate⁵ mensili della stazione urbana di Ferrara a confronto con quelle delle stazioni di Malborghetto, Pontelagoscuro e Argenta.

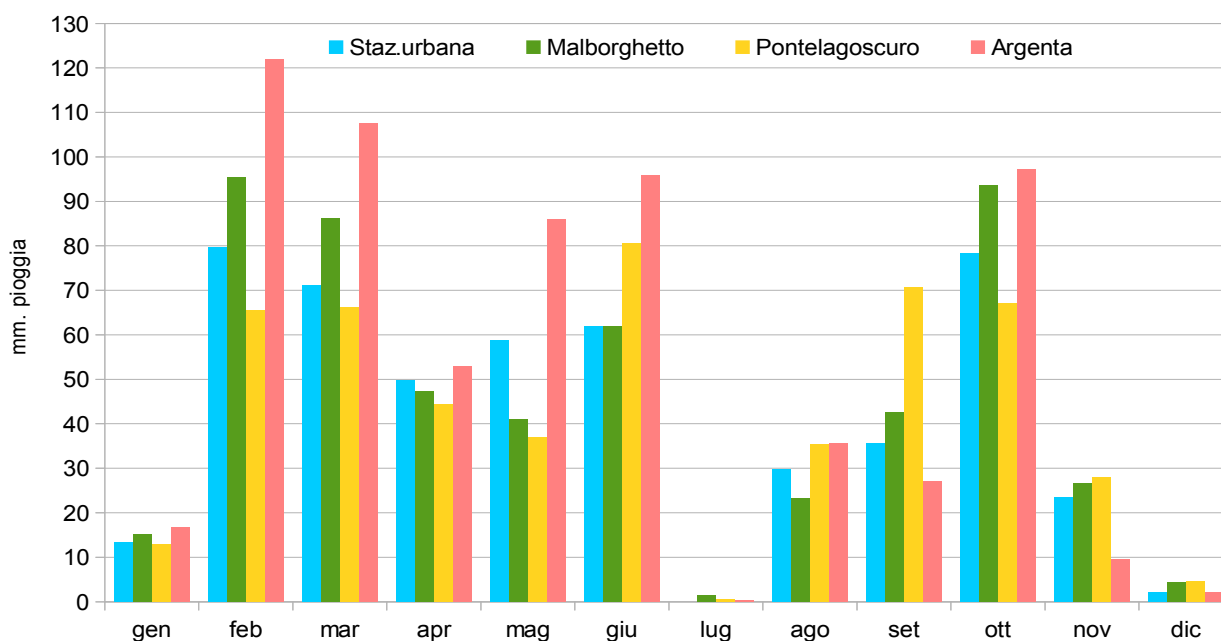
⁴ ADMS URBAN (versione 3.4.0, sviluppato dalla Cambridge Environmental Research Consultants - UK) è un modello analitico stazionario, eseguibile su PC, della dispersione in atmosfera di sostanze inquinanti rilasciate nelle aree urbane da differenti tipologie di sorgenti (puntuali, lineari, di aree e di volumi).

⁵ Per un approfondimento sulle precipitazioni si rimanda al sito http://www.arpae.emr.it/sim/?idrologia/annali_idrologici in cui sono reperibili gli annali idrologici contenenti misure e osservazioni a livello di bacino della Regione Emilia Romagna.

Dal grafico risulta evidente come le precipitazioni si siano maggiormente concentrate nei mesi di febbraio, marzo, giugno e ottobre, con precipitazioni cumulate nel centro cittadino superiori ai 60 mm; nei mesi primaverili di aprile e maggio e nel mese di settembre si sono registrate precipitazioni con valori cumulati mensili dell'ordine di 40-50 mm.

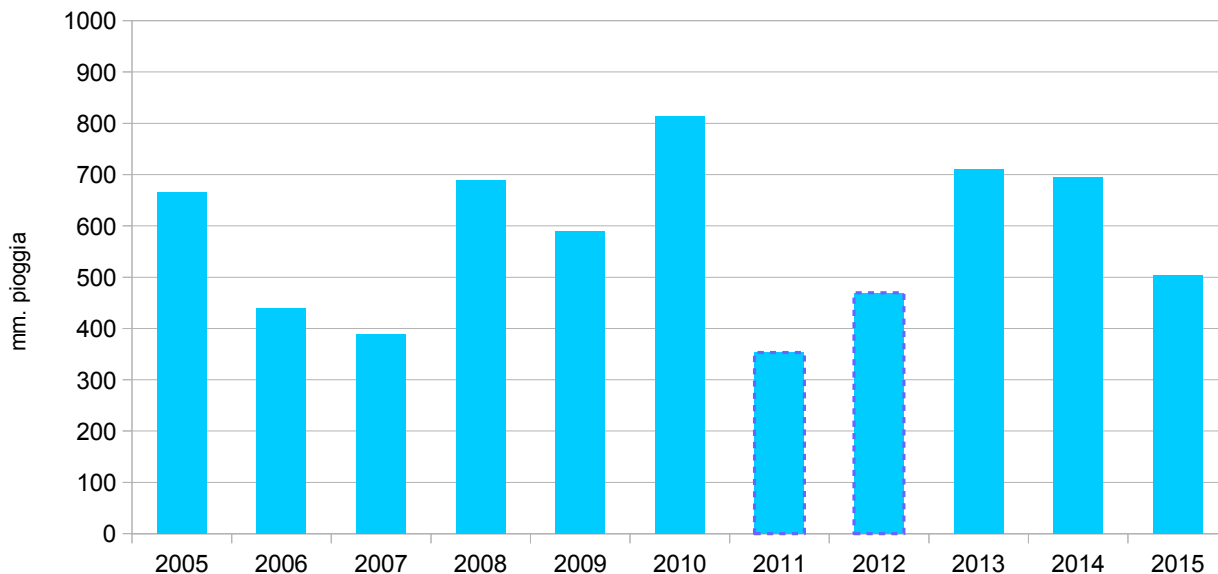
Il mese più siccitoso in assoluto è stato luglio (mese in cui si è registrata una temperatura media di 28°, la più alta rispetto agli ultimi tre anni), seguito dai mesi di dicembre e gennaio.

Andamento delle precipitazioni cumulate mensili (mm) in quattro stazioni pluviometriche



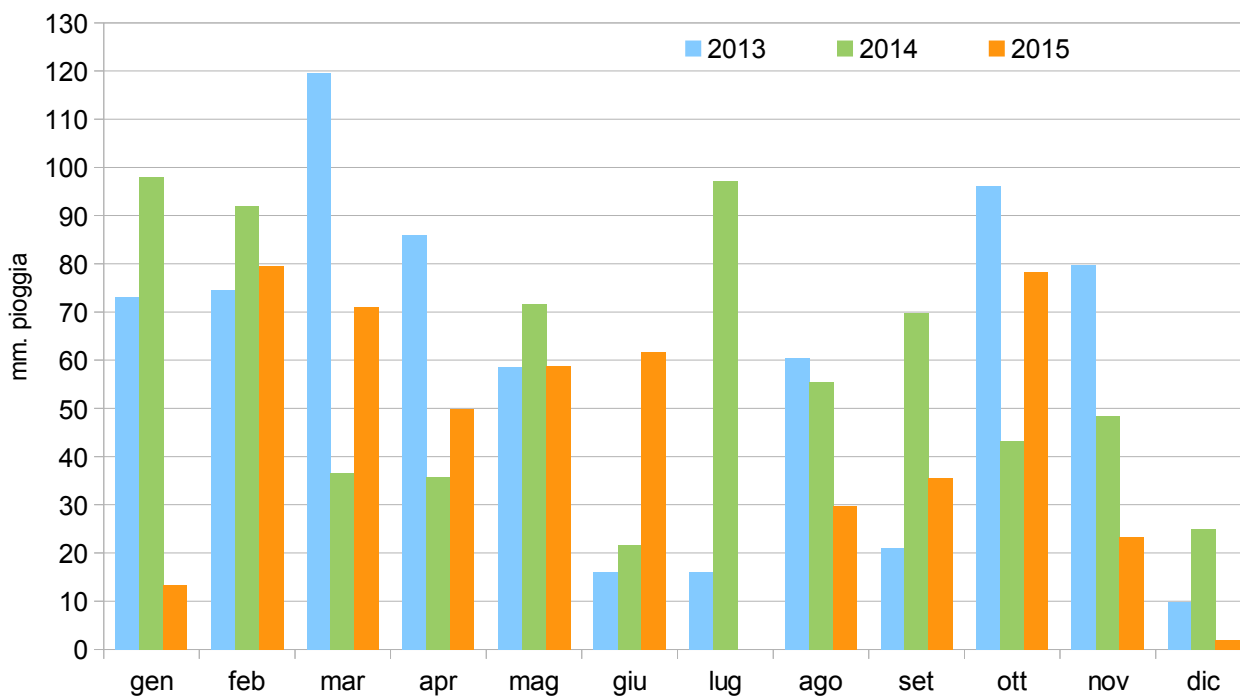
Di seguito si riporta la precipitazione cumulata annuale a partire dal 2005: l'anno 2015 si presenta come un anno meno piovoso rispetto agli ultimi anni (si sottolinea che i dati del 2011 e 2012 sono probabilmente sottostimati, a causa di malfunzionamenti tecnici e delle intense precipitazioni nevose). Rispetto al 2013 e al 2014, l'anno 2015 ha fatto registrare un "ammanco" di pioggia di circa 200 mm, dato che trova riscontro anche nella totale assenza di precipitazione che si è verificata nel mese di luglio e nelle scarse piogge cadute nei mesi invernali di gennaio, novembre e soprattutto dicembre.

Trend precipitazioni totali annue (mm) – Ferrara



Questo aspetto appare anche nel grafico successivo che mette a confronto la precipitazione cumulata mensile negli ultimi tre anni.

Precipitazione cumulata mensile - stazione urbana di Ferrara



Se si analizzano i singoli mesi, si osserva:

- a gennaio 2015, dei circa 10 mm di pioggia caduti, oltre la metà sono caduti nella sola giornata del 30/01, e quindi in tutti gli altri giorni vi è stata assenza di precipitazioni (solo in altri due giorni sono caduti circa 2- 3 mm di pioggia, quantitativo comunque di nessuna efficacia al fine di una azione di rimozione degli inquinanti nell'atmosfera);
- a febbraio 2015 si sono verificate due giornate in cui sono caduti più di 15 mm di pioggia al giorno e più precisamente sono caduti oltre 28 mm di pioggia il giorno 5/02 e oltre 15 mm il giorno 6/02: nel complesso in queste due giornate si sono concentrate circa il 57% delle precipitazioni dell'intero mese⁶. L'evento verificatosi in questi due giorni è conseguente ad una profonda depressione che si è creata a ovest della Sardegna e che ha prodotto abbondanti nevicate fino a quote di pianura sul territorio emiliano che hanno assunto carattere di pioggia sul territorio ferrarese e sulla Romagna. Contemporaneamente si sono generati forti venti di bora;
- a marzo 2015, le precipitazioni si sono concentrate prevalentemente (oltre il 60% dell'intero mese) nei giorni 16 e 25/03 che hanno registrato rispettivamente 21 e 24 mm di pioggia cumulata nella giornata;
- metà della pioggia cumulata nel mese di aprile è caduta nella sola giornata del 28/04;
- a maggio ci sono state essenzialmente tre giornate caratterizzate da una pioggia cumulata superiore ai 10 mm, ovvero 21, 22 e 26/05 con una pioggia totale cumulata di circa 45 mm, contro i 58 mm caduti nell'intero mese;
- a giugno oltre l'80% della pioggia si è concentrata in tre giornate: il 16/06 in cui sono caduti circa 30 mm di pioggia, e i giorni 20 e 23/06 con oltre 10 mm di pioggia cumulata nelle singole giornate⁷. L'evento è stato caratterizzato da fenomeni perlopiù di tipo convettivo, con temporali intensi che hanno colpito in particolar modo la provincia di Ferrara, dove si sono verificati degli allagamenti, ed un po' più a macchia di leopardo il resto della Regione.
- a ottobre si sono registrate quattro giornate con pioggia cumulata superiore ai 10 mm, con un contributo di oltre il 60% sul totale mensile.

⁶Per l'evento meteorologico del 5-6 febbraio 2015 è possibile consultare il relativo rapporto disponibile al seguente sito web: http://www.arpae.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/radar/rapporti/rapporto_meteo_20150205-06.pdf

⁷ Per l'evento meteorologico del 16-17 giugno 2015 è possibile consultare il relativo rapporto disponibile al seguente sito web: http://www.arpae.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/radar/rapporti/rapporto_meteo_20150616-17.pdf

Complessivamente nel 2015 si sono registrate 34 giornate con precipitazione cumulata superiore ai 5 mm⁸, molto inferiore rispetto a quanto rilevato per gli anni 2014 (44 giornate) e 2013 (42 giornate). Le giornate con precipitazioni cumulate superiori ai 10 mm, da associarsi a fenomeni temporaleschi e di perturbazioni atmosferiche a larga scala che possono avere efficacia certa nella rimozione degli inquinanti atmosferici, sono state 18: 3 a febbraio, 1 a marzo e 1 ad aprile, 3 a maggio e 3 a giugno, 1 a settembre e 4 ad ottobre, 1 a novembre.

3. Confronto PM10 e METEO

Nei grafici seguenti, relativi ai quattro trimestri dell'anno 2015, sono riportati gli andamenti giornalieri del PM10 misurati a Corso Isonzo, confrontati con due grandezze meteo potenzialmente influenti sulla concentrazione dell'inquinante: precipitazioni e ventosità.

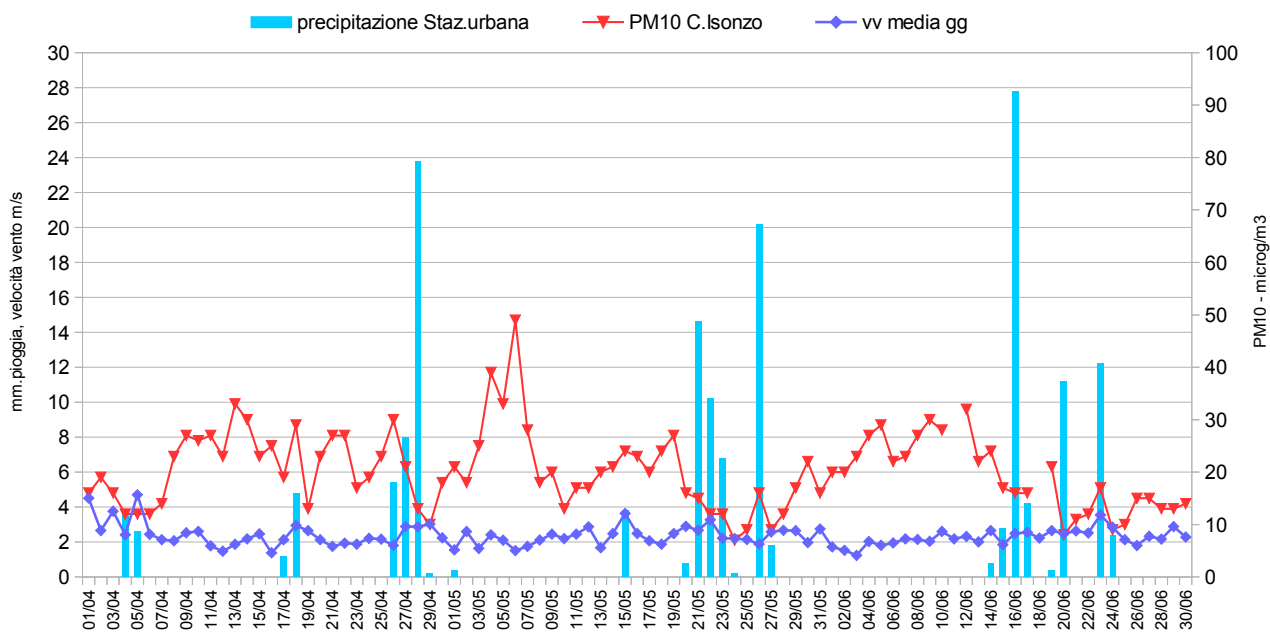
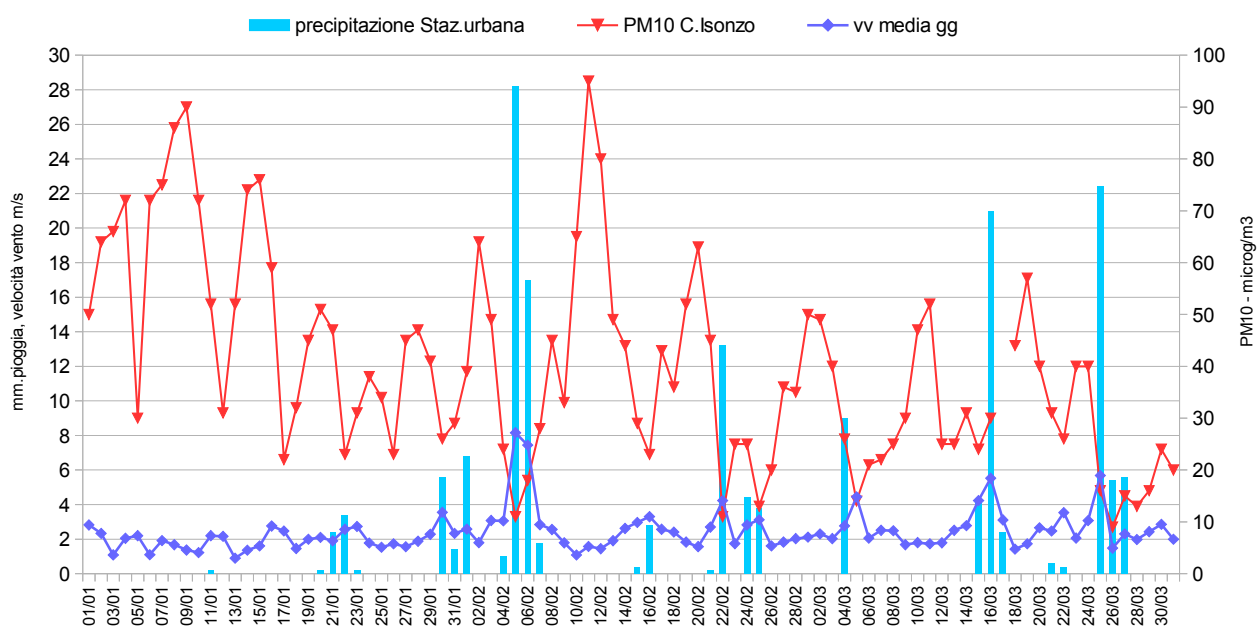
La ventosità, come già detto in precedenza è stata bassa in tutti i mesi, per un totale di 330 giorni caratterizzati da una velocità media giornaliera inferiore o uguale ai 3 m/s, di cui 160 giorni caratterizzati da una velocità media giornaliera inferiore o uguale ai 2 m/s.

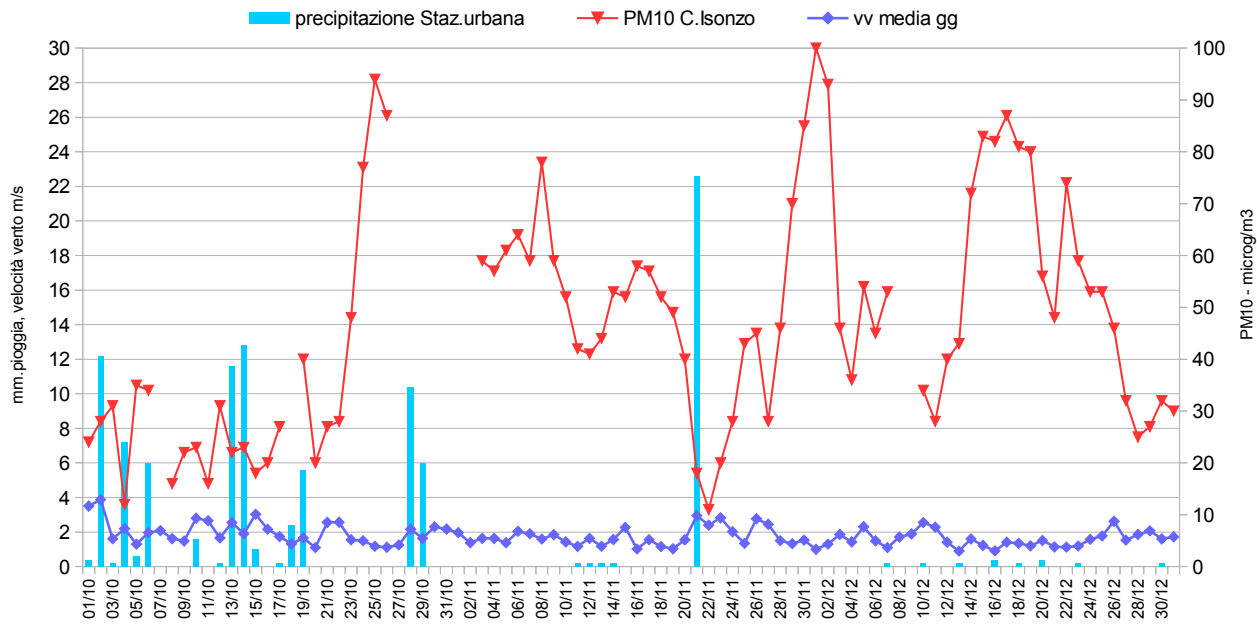
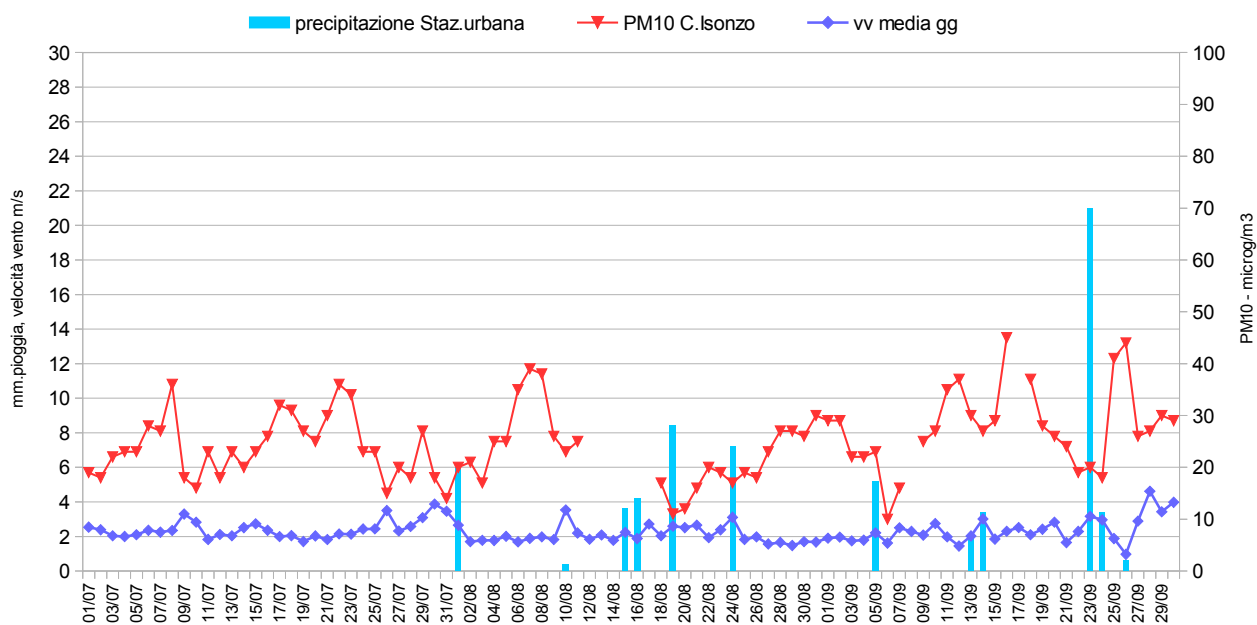
Nelle giornate del 5 e 6 febbraio si sono rilevate velocità medie giornaliere superiori ai 7 m/s, contemporanee ad intense precipitazioni, seguite dalle giornate 16 e 25 marzo caratterizzate da velocità medie giornaliere superiori ai 5 m/s con altrettanto copiose precipitazioni.

Dai grafici risulta evidente che l'effetto di dilavamento dell'atmosfera (e del PM10) da parte della pioggia, è osservabile in particolare nelle giornate 5, 6 e 22 febbraio, 25 marzo, 27 e 28 aprile, 23 settembre, 4 ottobre, 21 novembre.

⁸ Alcune indagini, ancora preliminari, suggeriscono che le precipitazioni inizino ad operare una qualche rimozione degli inquinanti atmosferici al di sopra dei 5 mm al giorno. Tale rimozione dipende però fortemente sia dal tipo di inquinante che dalla intensità del fenomeno meteorologico (pioggia prolungata o meno, intensa o meno). Le precipitazioni superiori ai 5 mm al giorno si possono quindi considerare di una qualche efficacia nella rimozione degli inquinanti atmosferici.

PM10 a confronto con precipitazione cumulata giornaliera e vento medio - Ferrara, anno 2015





4. GIORNI CRITICI

Di seguito sono riportati alcuni dati meteorologici utili a valutare il numero di giorni critici, ovvero favorevoli all'accumulo del PM10 d'inverno e alla formazione di Ozono d'estate, per ogni mese dell'anno per la città urbana di Ferrara.

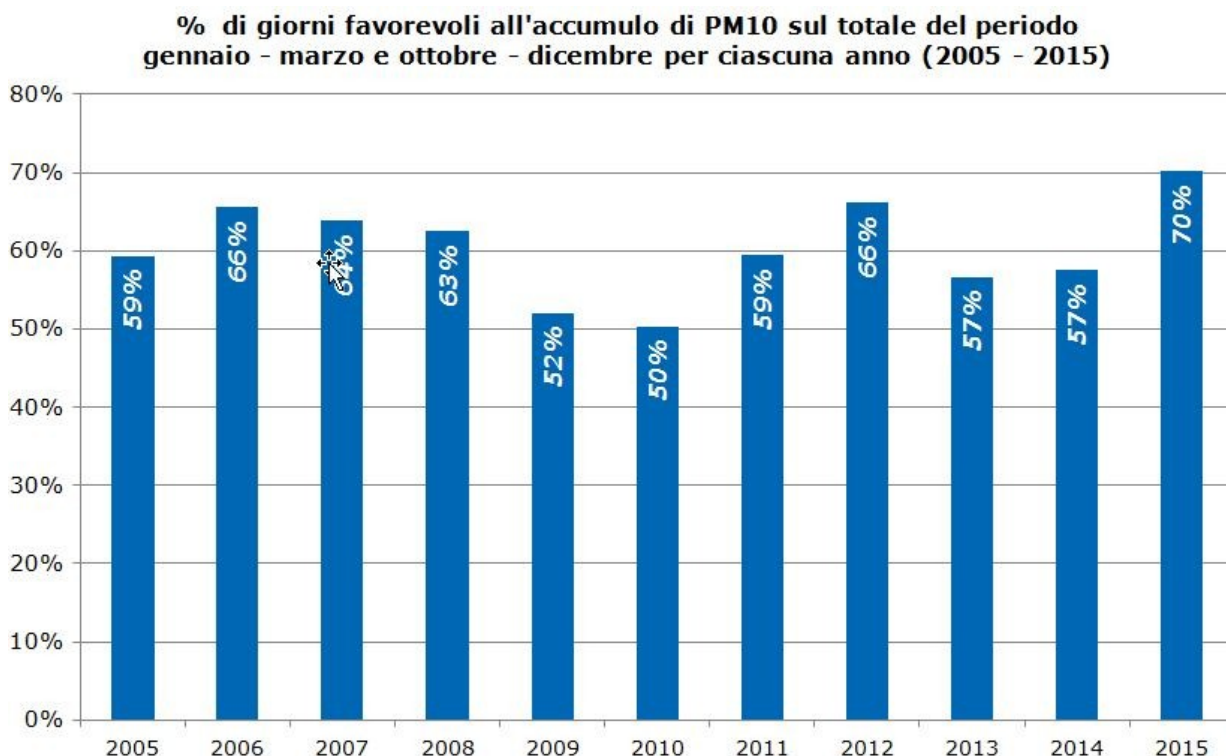
Per **“giornate favorevoli all'accumulo di PM10”** si intendono quei giorni in cui l'indebolirsi della turbolenza nei bassi strati dell'atmosfera determina condizioni di stagnazione. Segnatamente si tratta di giorni in cui si verificano contemporaneamente due condizioni:

- l'indice di ventilazione (definito come il prodotto fra altezza media dello strato rimescolato e intensità media del vento) è inferiore a 800 m²/s;
- le precipitazioni sono assenti (< 0.3 mm).

L'indice è stato messo a punto dal Servizio Idro-Meteo-Clima di ARPAE⁹, che ha selezionato le soglie applicando il metodo statistico degli alberi di classificazione, calibrato con i valori di PM10 misurati. Si noti che l'indicatore non tiene conto della direzione del vento e potrebbe perciò rivelarsi poco significativo sulla fascia costiera o in presenza di fonti emissive puntuali, condizioni in cui la direzione del vento incide particolarmente sull'accumulo o la dispersione degli inquinanti.

Nel grafico che segue, viene riportata per ciascun anno, dal 2005 al 2015, la percentuale di giorni favorevoli all'accumulo sul totale dei giorni del periodo invernale da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre.

⁹L'indice è stato calcolato utilizzando il dataset meteorologico LAMA (Limited Area Meteorological Analysis) che viene implementato a partire da simulazioni operative del modello meteorologico COSMO e da osservazioni della rete meteorologica internazionale (dati GTS). COSMO è un modello meteorologico ad area limitata (dominio 2000 X 2000 km²), non idrostatico, attualmente sviluppato dai servizi meteorologici di Germania, Svizzera, Italia, Grecia e Polonia, raggruppati nel consorzio COSMO. E' il modello di riferimento italiano per le previsioni del tempo a breve termine. Il dataset LAMA copre un'area di 1200x1200 km², corrispondente alla parte centrale del dominio di COSMO:

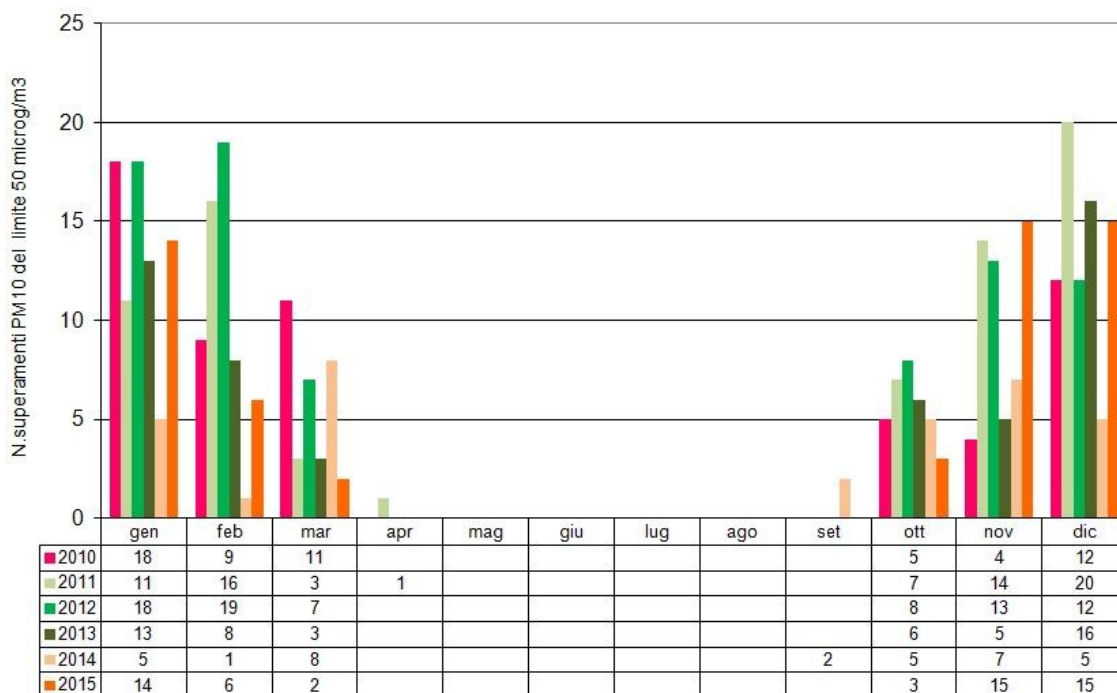


Per l'anno 2015 si è registrato un aumento del numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel periodo invernale rispetto agli ultimi due anni, e questo è da imputarsi alle condizioni meteorologiche sfavorevoli. Inoltre da stime effettuate dal CTR - Arpae¹⁰ si riscontra che nel semestre invernale vengono emessi mediamente circa i due terzi delle polveri sottili e dell'ossido di carbonio e che almeno la metà delle polveri PM10 e PM2.5 è di origine secondaria, ovvero si forma in atmosfera a partire da altri inquinanti.

Dai grafici del numero dei superamenti mensili e delle medie di PM10 mensili calcolate per la stazione di Corso Isonzo, si osserva che nel 2015 rispetto al 2014, anno caratterizzato da condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla diluizione e al ricambio atmosferico, si è registrato un rilevante aumento del numero dei superamenti nei mesi di gennaio, novembre e dicembre, e analogamente per quanto riguarda le concentrazioni medie mensili.

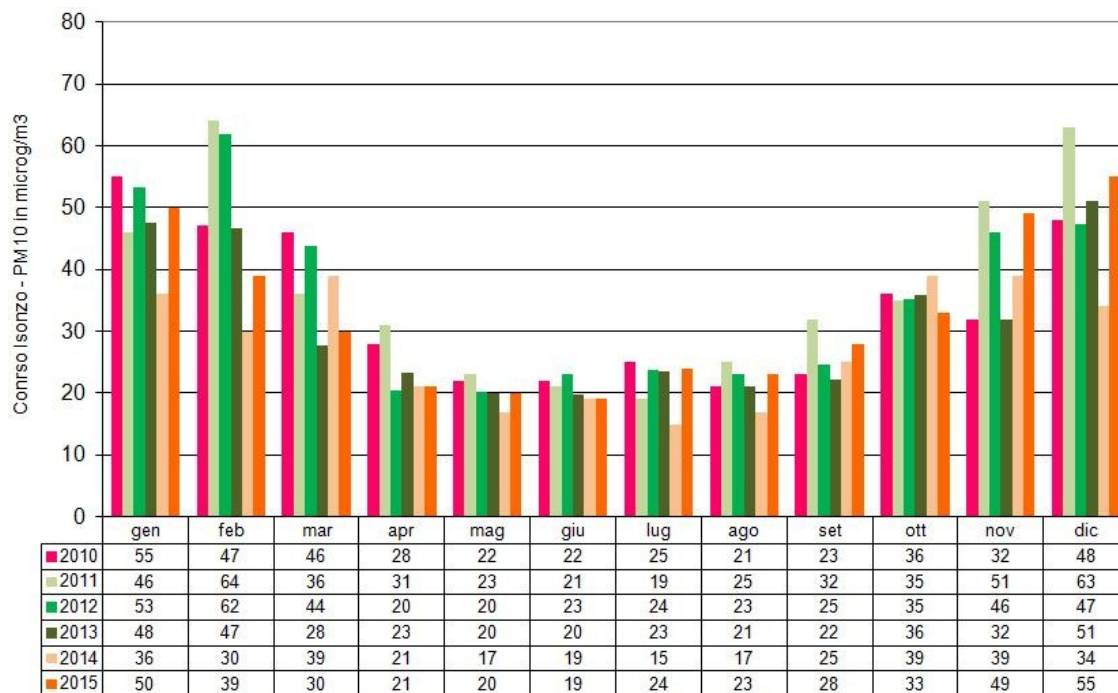
Nel 2015 si sono registrati 24 giorni con valori di concentrazione di PM10 superiore ai 70 microg/m³ (11 giorni nel 2014), verificatisi prevalentemente nei mesi di gennaio e dicembre (il giorno 1 dicembre si è registrata la concentrazione più alta in assoluto dell'anno, pari a 100 microg/m³).

¹⁰Per un approfondimento sulla valutazione della qualità dell'aria del 2015, si rimanda alle seguenti pagine web sul sito di Arpae:
https://infogr.am/_gNWzshLeo1vqxxxJUn6k
http://www.arpae.emr.it/cms3/documenti/relazione_aria_2015_def.pdf



PM10 - Corso Isonzo - Numero di superamenti del valore limite giornaliero di 50 g/m3 per anno

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
74	85	97	74	66	59	72	77	51	33	55



Parallelamente per quasi la totalità dei mesi di gennaio, novembre e dicembre si sono verificate condizioni favorevoli all'accumulo di PM10 (circa 30 giorni favorevoli all'accumulo/mese).

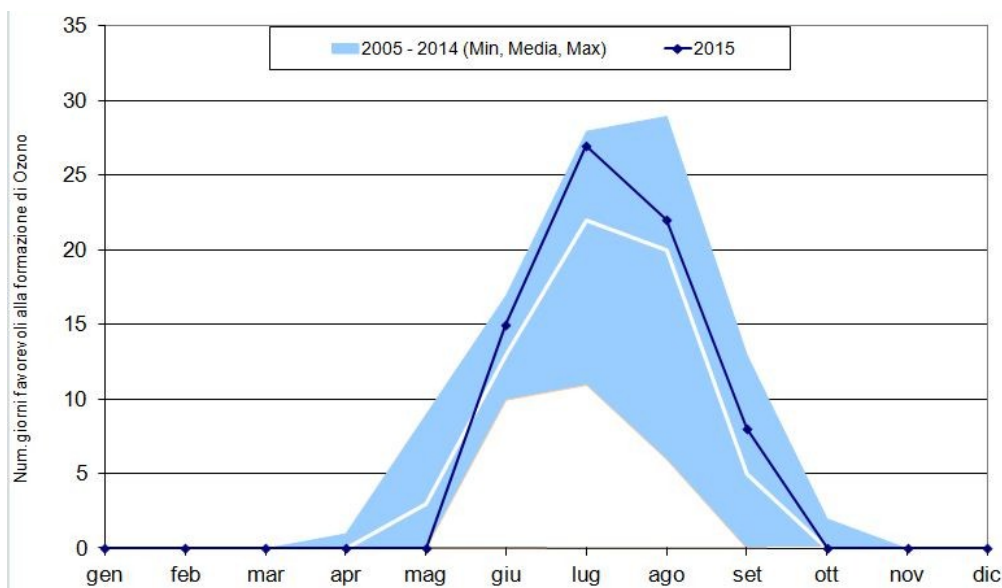
Anche per il periodo estivo è stato messo a punto l'indicatore “**giornate favorevoli alla formazione di ozono**”, ovvero giornate in cui la temperatura massima è maggiore di 29°C: in tal caso i mesi estivi di giugno, luglio e agosto sono da considerarsi mesi critici per l'inquinante in esame in quanto caratterizzati da una radiazione solare globale più intensa, da un numero maggiore di ore di insolazione diurna e da temperature elevate.

E' un indicatore molto semplice, elaborato dal Servizio Idro Meteo Clima di ARPAE, che non esaurisce certo la complessità delle interazioni tra meteorologia, chimica e trasporto dell'ozono, ma che si pone l'obiettivo di valutare la criticità del semestre estivo dal punto di vista meteorologico rispetto alla formazione di ozono nei bassi strati dell'atmosfera.

L'estate del 2015 ha presentato un maggior numero di giornate favorevoli alla formazione di ozono rispetto alla media degli ultimi 10 anni; in particolare il mese di luglio 2015.

Tale situazione trova riscontro nel numero dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana ($120 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$) come evidenziato nella tabella che segue.

Numero di giorni favorevoli alla formazione di ozono - confronto 2015 con anni precedenti - Ferrara



Numero di giorni critici per la formazione di Ozono suddivisi per anno - Ferrara

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
43	58	67	79	73	54	77	79	63	37	72

O3 - Numero di superamenti del valore obiettivo per la salute umana ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per anno

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Villa Fulvia			36	27	69	60	43	19	41
Cento				41	88	65	46	46	77
Ostellato			68	23	71	58	43	23	46
Gherardi	58	35	71	36	63	76	59	n.d.	80