



**Episodi acuti di PM10 in Toscana: valutazioni
tecniche e soluzioni operative per
l'applicazione della D.G.R. 814/2016**

**Episodi acuti di PM10 in Toscana:
valutazioni tecniche e soluzioni operative
per l'applicazione della D.G.R. 814/2016**

Rapporto redatto da

ARPAT:

Chiara Collaveri

Bianca Patrizia Andreini

Settore Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria

Antongiulio Barbaro

Settore Modellistica Previsionale

LaMMA:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Francesca Guarnieri

Settore Meteo – Modellistica della Qualità dell'Aria

Dicembre 2016

Abstract

Nel presente rapporto vengono illustrati i dati e le analisi che sono state condotte al fine di definire l'indice ICQA, come richiesto dalla L.R. 9/2010 modificata dalla L.R. 27/2016.

Una parte delle conclusioni contenute nel presente rapporto - la definizione dell'indice ICQA - sono state recepite dalla Regione Toscana con la D.G.R. 814/2016 (Allegato B); una parte costituiscono la base tecnica per la formulazione delle previsioni sulla capacità dispersiva dell'atmosfera che il Consorzio LaMMA utilizza dal 1° novembre 2016 e che concorre quotidianamente al calcolo dell'ICQA¹.

Le analisi condotte sono di carattere statistico, scelta metodologica che ha consentito di pervenire alla definizione dell'indice ICQA ed alla conseguente messa a regime del nuovo sistema di gestione degli "episodi acuti" in soli 5 mesi dall'approvazione della L.R. 27/2016².

L'impostazione adottata è coerente con alcune metodologie note in letteratura ed applicate con successo in altri Paesi; tiene conto sia dei livelli di PM10 in atto negli ultimi 7 giorni sia della prevista evoluzione delle grandezze meteorologiche significative (altezza di rimescolamento e precipitazione); è particolarmente adatta in casi come quello in questione in cui sia necessario sostanzialmente prevedere il superamento o meno di una soglia di concentrazione predeterminata.

In particolare, per l'individuazione delle condizioni meteo di interesse si è scelto l'approccio che US-EPA definisce "criteria method" (altrove anche definito "rule of thumb"): si basa sul fatto che a particolari valori di certe variabili meteo sono associate elevate concentrazioni degli inquinanti.

Come tutti metodi di natura statistica, che non includono metaindicatori delle emissioni in atmosfera, richiede una periodica rivalutazione al fine di aggiornare le soglie delle grandezze meteo all'evolversi del quadro emissivo locale.

E' chiaro, da quanto sopra sintetizzato, che la definizione dell'indice ICQA e l'individuazione delle condizioni meteo critiche devono essere assunte in via sperimentale, anche se l'analisi riportata nel rapporto evidenzia con chiarezza l'efficacia ed i limiti del metodo adottato. Occorre qui precisare che si è scelto tale

1 L'elaborazione quotidiana dell'indice ICQA è frutto della collaborazione tra ARPAT e LaMMA, come stabilito dalla D.G.R. 814/2016, e viene resa pubblica entro le ore 13:00 sul sito internet di ARPAT (http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/superamenti/pm10_dgrt814_2016/).

2 Per "episodio acuto" si intende un giorno in cui la concentrazione media giornaliera di PM10 rilevata dalle stazioni del sistema di monitoraggio della qualità dell'aria supera il valore limite di 50 µg/m³.

approccio sia in base alla sua semplicità, che ben risponde alla necessità operativa espressa dalla Regione Toscana (attivare la nuova procedura entro il 1° novembre 2016), sia per la tipologia binaria del problema posto (stimare il superamento o meno del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Anzitutto si è potuto concludere che l'assunzione di interventi di emergenza dopo 7 giorni di superamento consecutivo (che potrebbe essere adottata applicando in modo rigido il Protocollo d'intesa del 30 dicembre 2015 tra Ministero dell'Ambiente, Conferenza delle Regioni e ANCI per migliorare la qualità dell'aria) non è appropriato per le situazioni di rischio che si possono verificare nella realtà regionale della Toscana.

E' stata verificata quindi l'applicazione di una finestra temporale mobile sui 7 giorni precedenti, ipotizzando di attivare gli interventi se i giorni di superamento del limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'interno della finestra sono maggiori di 5 o di 4. Si è potuto constatare che il criterio dei 4 superamenti su 7 per l'attivazione degli interventi di emergenza consente di identificare adeguatamente questi periodi di criticità. Tuttavia per evitare il verificarsi di attivazioni tardive risulta necessaria l'introduzione della previsione meteorologica.

L'analisi delle grandezze meteorologiche più significative per la descrizione della capacità di dispersione dei bassi strati dell'atmosfera ha portato alla scelta dei seguenti parametri: altezza dello strato di rimescolamento (Hmix) e precipitazione cumulata giornaliera (Prec). Questi due parametri vengono utilizzati, unitamente al numero di superamenti nei sette giorni precedenti, per costruire l'indice combinato ICQA richiesto dalla L.R. 9/2010.

Lo studio delle variabili Hmix e precipitazione nel periodo ottobre 2015-marzo 2016 ha permesso di individuare (per ciascun parametro) due soglie, di verificarne la capacità di predizione delle condizioni critiche o favorevoli alla dispersione degli inquinanti, e di elaborare un nuovo indicatore che classifichi le condizioni atmosferiche in tre categorie: condizioni critiche, indifferenti, favorevoli per la dispersione degli inquinanti. Le soglie sono state valutate sia su scala regionale sia a livello di ciascuna area di superamento; in prima istanza vengono utilizzati i valori-soglia individuati per ciascuna stazione rappresentativa dell'area di superamento.

L'analisi del periodo invernale 2015-2016, sia per i parametri meteo sia per i superamenti del valore limite giornaliero, ha consentito di ottimizzare la definizione dell'ICQA, con l'obiettivo di ottenere un sistema di attivazione delle misure contingibili

da parte dei Sindaci quanto più tempestivo ed efficace possibile.

Come illustrato nel rapporto, sono possibili anche altre metodologie che potranno eventualmente essere esplorate in seguito, mantenendo comunque ben presente la finalità di fornire quotidianamente entro la mattinata l'analisi e la prognosi della situazione ambientale, affinché i Sindaci siano in grado di attivare tempestivamente le misure contingibili ritenute necessarie.

Naturalmente le attività di perfezionamento dell'indice ICQA proseguiranno dopo l'inverno 2016-2017, al fine di implementare la serie storica dei dati meteo e di qualità dell'aria, valutare ulteriormente le prestazioni dell'attuale formulazione dell'indice, studiare la possibilità di aumentarne il grado di tempestività e affidabilità con l'obiettivo di incrementare il tasso di previsioni corrette, limitando il numero di "falsi allarmi" e di "mancati allarmi" intrinseci a qualunque tecnica prognostica impiegata.

Indice

Introduzione	5
1. Gli "episodi acuti" di PM10 ed il nuovo sistema di gestione della Regione Toscana	8
1.1 La gestione degli "episodi acuti" di inquinamento atmosferico	8
1.2 Il sistema di gestione degli "episodi acuti" di PM10 in Toscana	18
2. Analisi dei superamenti del PM10 negli anni 2012-2016	27
3. Individuazione di indici meteo per la previsione delle condizioni critiche per l'inquinamento atmosferico da PM10	43
3.1 Confronto previsioni-osservazioni meteo	44
3.2 Confronto tra variabili meteo e concentrazioni di PM10	54
3.3 Individuazione di valori-soglia per gli indicatori	62
3.3.1 Individuazione di valori-soglia per singola stazione	70
4. Applicazione dell'indice di criticità della qualità dell'aria (ICQA) al semestre 2015-2016	79
4.1 Applicazione delle condizioni meteo critiche al conteggio dei superamenti	80
4.2 Verifica della sensibilità dell'ICQA in funzione dei valori-soglia per Hmix	89
4.3 Sintesi conclusiva	115
5. Procedura di elaborazione e pubblicazione dei dati ai fini dell'applicazione della D.G.R. 814/2016	115
5.1 Procedura operativa di elaborazione dell'indice meteo	116
5.2 Modalità di pubblicazione e comunicazione del valore dell'indice ICQA	118
6. Conclusioni	120
Bibliografia	122
Appendice 1 Grafici	128

Introduzione

Nel presente rapporto vengono illustrati i dati e le analisi che sono state condotte al fine di definire l'indice ICQA, come richiesto dalla L.R. 9/2010 modificata dalla L.R. 27/2016.

Facendo riferimento agli "episodi acuti" caratterizzati dal superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da parte del PM10, il rapporto è così articolato:

- un capitolo introduttivo, in cui è riportata una rassegna dei sistemi di gestione degli "episodi acuti" di inquinamento atmosferico usualmente impiegati, ed è illustrato il percorso effettuato dalla Regione Toscana come premessa allo sviluppo dell'indice ICQA;
- un'analisi degli "episodi acuti" verificatisi in Toscana, suddivisi secondo le zone individuate dalla D.G.R.1182/2015, sia su base annuale sia limitando l'attenzione ai periodi invernali (periodo compreso tra ottobre e marzo);
- un'analisi delle grandezze meteorologiche più significative per la descrizione della capacità di dispersione dei bassi strati dell'atmosfera, scelte tra quelle disponibili in forma prognostica ottenute con idonei modelli meteorologici, e la conseguente individuazione dei valori-soglia di tali grandezze che consentono di distinguere tra le condizioni favorevoli all'accumulo da quelle favorevoli alla dispersione del PM10;
- un'analisi del periodo invernale 2015-2016 finalizzata ad ottimizzare la definizione dell'ICQA, con l'obiettivo di ottenere un sistema di attivazione delle misure contingibili da parte dei Sindaci quanto più tempestivo ed efficace possibile.

Una parte delle conclusioni contenute nel presente rapporto - la definizione dell'indice ICQA- sono state recepite dalla Regione Toscana con la D.G.R. 814/2016 (Allegato B), una parte costituiscono la base tecnica per la formulazione delle previsioni sulla capacità dispersiva dell'atmosfera che il Consorzio LaMMA utilizza dal 1° novembre 2016 e che concorre quotidianamente al calcolo dell'ICQA³.

Le analisi condotte sono di carattere statistico, scelta metodologica che ha consentito di pervenire alla definizione dell'indice ICQA ed alla conseguente messa a regime del nuovo sistema di gestione degli "episodi acuti" in soli 5 mesi dall'approvazione della L.R. 27/2016.

L'impostazione adottata è coerente con alcune metodologie note in letteratura ed

³ L'elaborazione quotidiana dell'indice ICQA è frutto della collaborazione tra ARPAT e LaMMA, come stabilito dalla D.G.R. 814/2016, e viene resa pubblica entro le ore 13:00 sul sito internet di ARPAT (http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/superamenti/pm10_dgrt814_2016/).

applicate con successo in altri Paesi; tiene conto sia dei livelli di PM10 in atto negli ultimi 7 giorni sia della prevista evoluzione delle grandezze meteorologiche significative (altezza di rimescolamento e precipitazione); è particolarmente adatta in casi - come quello in questione - in cui sia necessario sostanzialmente prevedere il superamento o meno di una soglia di concentrazione predeterminata [cap.1,26].

In particolare, per l'individuazione delle condizioni meteo di interesse si è scelto l'approccio che US-EPA definisce "criteria method" (altrove anche definito "rule of thumb"): si basa sul fatto che a particolari valori di certe variabili meteo sono associate elevate concentrazioni degli inquinanti [cap.1,27]. Una volta note le soglie delle grandezze meteo sopra o sotto le quali risulta storicamente numerosa la ricorrenza degli "episodi acuti", è possibile valutare se i valori previsti delle stesse grandezze si collochino o meno nella fascia critica e classificare di conseguenza il grado di dispersività dell'atmosfera atteso nei giorni successivi. In genere l'accuratezza del metodo dipende dalla disponibilità di serie storiche prolungate delle grandezze meteorologiche e delle concentrazioni dell'inquinante di interesse, nonché dal grado di correlazione tra ciascuna grandezza meteorologica e le concentrazioni dell'inquinante. Come tutti i metodi di natura statistica, che non includono meta-indicatori delle emissioni in atmosfera, richiede una periodica rivalutazione al fine di aggiornare le soglie delle grandezze meteo all'evolversi del quadro emissivo locale.

E' chiaro, da quanto sopra sintetizzato, che la definizione dell'indice ICQA e l'individuazione delle condizioni meteo critiche devono essere assunte in via sperimentale, anche se l'analisi illustrata nel rapporto evidenzia con chiarezza (tramite la classica analisi delle tabelle di contingenza in cui sono messi a confronto gli "episodi acuti" effettivi con quelli previsti) l'efficacia ed i limiti del metodo adottato.

Occorre qui precisare che si è scelto tale approccio sia in base alla sua semplicità, che ben risponde alla necessità operativa espressa dalla Regione Toscana (attivare la nuova procedura entro il 1° novembre 2016), sia per la tipologia binaria del problema posto (stimare il superamento o meno del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Come esposto nel paragrafo 1.1, sono possibili anche altre metodologie che potranno eventualmente essere esplorate in seguito, mantenendo comunque ben presente la finalità di fornire quotidianamente entro la mattinata l'analisi e la prognosi della situazione ambientale, affinché i Sindaci siano in grado di attivare tempestivamente le misure contingibili ritenute necessarie.

Naturalmente le attività di perfezionamento dell'indice ICQA proseguiranno dopo

l'inverno 2016-2017, al fine di implementare la serie storica dei dati meteo e di qualità dell'aria, valutare ulteriormente le prestazioni dell'attuale formulazione dell'indice, studiare la possibilità di aumentarne il grado di tempestività e affidabilità con l'obiettivo di incrementare il tasso di previsioni corrette, limitando il numero di "falsi allarmi" e di "mancati allarmi" intrinseci a qualunque tecnica prognostica impiegata.

1. Gli "episodi acuti" di PM10 ed il nuovo sistema di gestione della Regione Toscana

1.1 La gestione degli "episodi acuti" di inquinamento atmosferico

Durante ogni annualità si possono verificare situazioni in cui le concentrazioni in aria ambiente degli inquinanti atmosferici raggiungono livelli potenzialmente critici per la salute, superiori anche in misura significativa ai limiti o standard di qualità dell'aria fissati dalla normativa. Tali episodi di breve periodo ("episodi acuti") possono durare da alcune ore fino ad alcuni giorni e si possono verificare in particolare quando le emissioni di origine antropica (traffico veicolare, impianti termici civili, impianti di produzione energetica ed industriali, ecc.) sono relativamente elevate e contestualmente le condizioni meteorologiche non consentono l'efficace diluizione e dispersione gli inquinanti, ovvero ne favoriscono la formazione (nel caso ad esempio degli inquinanti fotochimici, quale l'ozono) e l'accumulo nei bassi strati dell'atmosfera. La vigente normativa nazionale [cap.1,1] e regionale [cap.1,2] in materia di qualità dell'aria ha confermato l'impostazione che si è sviluppata in Italia dal 1991 - inizialmente limitata alle più importanti aree urbane⁴ [cap.1,3] - secondo la quale, accanto ad interventi generali di contenimento delle emissioni inquinanti e risanamento della qualità dell'aria da attuarsi progressivamente, le Autorità locali possono/debbono adottare misure "di emergenza" per limitare in misura significativa, seppur temporanea, le principali sorgenti antropiche in occasione degli "episodi acuti". Guardando alle esperienze maturate in altri Paesi, il verificarsi di tali eventi e la necessità di informare la popolazione, anche al fine di indurre comportamenti finalizzati a diminuirne l'esposizione agli inquinanti, hanno condotto alla definizione di procedure di informazione e avviso delle comunità coinvolte, di previsione degli "episodi acuti", di adozione degli interventi di emergenza finalizzati a ridurre le emissioni. Tra le misure di emergenza che tipicamente vengono adottate vi sono:

- restrizioni sul numero e la tipologia degli autoveicoli che possono circolare in una o

⁴ Nel 1991 fu anzitutto adottata una normativa nazionale finalizzata ad omogeneizzare le modalità di raccolta dei dati di qualità dell'aria mediante reti automatiche di rilevamento (Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 20 maggio 1991, "Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria"). Alla fine di quell'anno furono quindi adottate alcune Ordinanze da parte del Ministro dell'Ambiente, di carattere temporaneo, successivamente sostituite da una serie di Decreti più strutturati e articolati, che imponevano l'assunzione di misure di limitazione delle emissioni al superamento di alcune soglie prefissate delle concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente.

più aree predefinite;

- aumento dell'offerta del trasporto pubblico;
- riduzione dei consumi di energia negli edifici pubblici e privati, sia diminuendo il riscaldamento in inverno, sia diminuendo il ricorso ai sistemi di condizionamento in estate;
- riduzione o temporanea fermata delle emissioni di taluni stabilimenti industriali;
- adozione di comportamenti individuali finalizzati a ridurre l'esposizione alle emissioni (ad esempio evitando la permanenza all'esterno nei pressi di assi stradali caratterizzati da traffico intenso).

L'esperienza ha dimostrato che le misure di contenimento temporaneo delle emissioni, se non sufficientemente drastiche e tempestive, difficilmente sono in grado di evitare il verificarsi degli "episodi acuti"; possono tuttavia ridurre l'intensità, la durata e l'estensione spaziale. Occorre peraltro tenere conto che l'assunzione delle misure di emergenza andrebbe giustificata in termini di capacità di riduzione delle emissioni, delle concentrazioni in aria ambiente e di esposizione della popolazione, anche alla luce del fatto che tali misure - se non strettamente necessarie - possono determinare danni di carattere economico, indurre stress e ansietà tra la popolazione, aumentare l'esposizione agli inquinanti di gruppi della popolazione (in particolare i soggetti più sensibili), minare progressivamente il consenso pubblico nei confronti delle misure strutturali di risanamento. Queste ultime sono invece necessarie per ottenere il miglioramento non temporaneo della qualità dell'aria: per ridurre i livelli di fondo degli inquinanti in atmosfera sono infatti da preferire rispetto all'adozione delle misure di emergenza [cap.1,4].

In Figura 1 è mostrata schematicamente la tipica evoluzione delle concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente in presenza di provvedimenti strutturali che limitano progressivamente le emissioni: la loro riduzione produce un generale abbassamento delle concentrazioni (*trend* in diminuzione) che non assicura la scomparsa assoluta di episodi acuti nel primo periodo, ma li rende via via più improbabili, nel senso che le condizioni meteorologiche in grado di produrli risultano sempre più estreme: alla fine del processo gli "episodi acuti" risultano decisamente improbabili.

Quanto prima tali eventi vengono individuati o previsti e capillarmente comunicati, quanto maggiore può essere l'efficacia delle misure di emergenza, giacché ciò consente di avere più tempo affinché le Autorità locali possano dispiegare le misure di emergenza ed i soggetti più sensibili (bambini, anziani, soggetti con difficoltà o

patologie respiratorie o cardiocircolatorie) possano evitare l'esposizione ad aria ambiente di scarsa qualità. Il "fattore tempo" è inoltre importante giacché il successo e l'efficacia delle procedure di intervento è determinato dal grado di coordinamento tra più Enti pubblici presenti sul territorio (Comune/i, Forze dell'Ordine, Autorità ambientali e sanitarie, servizi di trasporto pubblico, servizi meteorologici, ecc.) e di coinvolgimento consapevole dei cittadini, che devono conoscere, accettare e rispettare le eventuali limitazioni temporanee delle proprie attività.

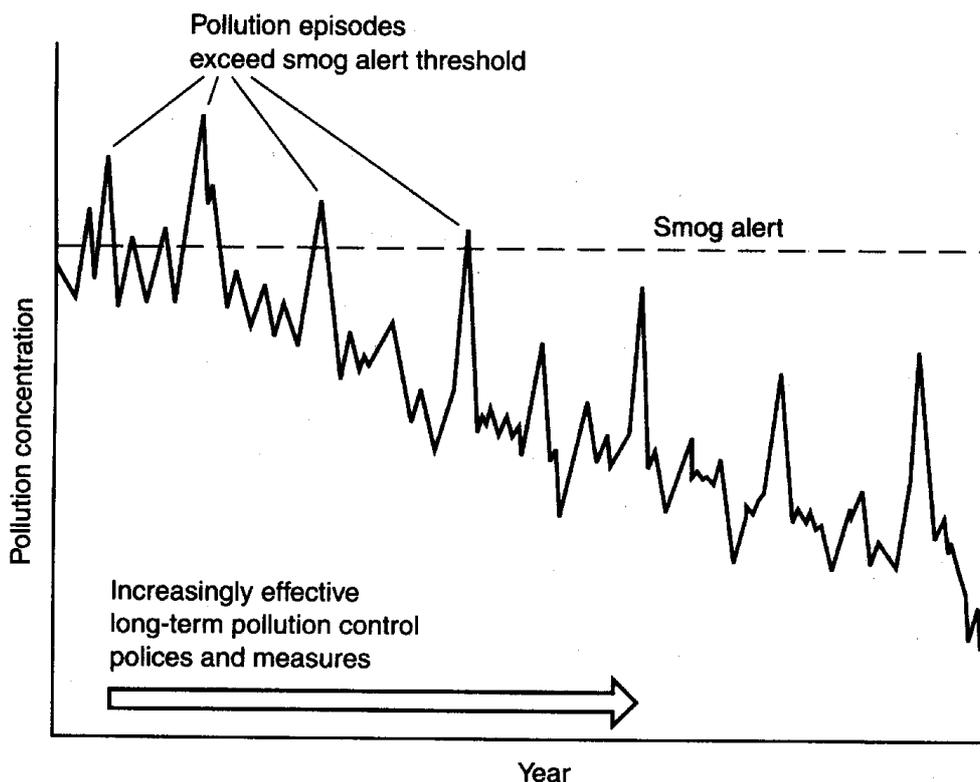


Figura 1: rappresentazione esemplificativa dell'effetto nel tempo dei provvedimenti strutturali di riduzione delle emissioni, anche in riferimento agli "episodi acuti" (*pollution episodes exceed smog alert threshold*) [cap.1,5].

In generale, le procedure di intervento devono preventivamente definire:

- gli inquinanti, le stazioni di misura e le relative soglie di concentrazione su intervalli di breve periodo, superate le quali gli eventi sono definiti "episodi acuti";
- gli eventuali sistemi di previsione circa il verificarsi ed il perdurare degli "episodi acuti";
- le modalità di informazione delle Autorità locali e dei cittadini;
- le misure, obbligatorie e/o volontarie, di contenimento delle emissioni e di riduzione dell'esposizione della popolazione da adottare nel corso degli "episodi acuti";

- l'estensione territoriale delle aree interessate dagli "episodi acuti" e, quindi, coinvolte nelle misure di emergenza.

Gli inquinanti e le soglie di concentrazione variano da Paese a Paese: in genere sono riferite a ossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂) biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃), particolato (PTS, ma più recentemente PM10 e PM2.5)⁵. Qualora la normativa nazionale abbia già fissato soglie o standard su intervalli di breve periodo (da 1 a 24 ore) tali soglie vengono di solito utilizzate anche come primo livello di intervento, per il quale viene tipicamente emanato un avviso alla popolazione. Tuttavia, per tenere conto dei livelli di fondo già elevati che si registrano in determinate aree (specie quelle urbane) oltre che degli effettivi rischi per la salute umana, le soglie di intervento superate le quali le Autorità locali sono tenute ad assumere interventi di emergenza sono congruamente maggiori degli standard di qualità dell'aria [cap.1,5].

In alcuni Paesi, per rendere più immediata la comunicazione circa lo stato della qualità dell'aria oltre che per la gestione degli "episodi acuti", sono stati definiti specifici indici giornalieri che tengono conto in modo combinato delle concentrazioni in aria ambiente dei diversi inquinanti misurati e dei relativi standard normativi: il caso più noto è quello degli Stati Uniti, dove fin dal 1976 è stato introdotto l'indice PSI (Pollutant Standard Index), sostituito nel 1999 dall'indice AQI (Air Quality Index), utilizzato soprattutto per l'informazione della popolazione (ed in particolare dei soggetti sensibili) anche al fine di suggerire i comportamenti più adeguati per ridurre l'esposizione⁶.

La possibilità di prevedere tempestivamente il verificarsi degli "episodi acuti" dipende dalla conoscenza delle emissioni e della loro evoluzione nel tempo, dalla conoscenza dei meccanismi che presiedono alla dispersione e formazione degli inquinanti in atmosfera, dalla possibilità di prevedere l'evoluzione della capacità di diluizione dell'atmosfera (ovvero dall'evoluzione dei diversi parametri meteorologici con cui viene descritto lo stato dell'atmosfera). In genere si tende a distinguere gli "episodi acuti" che possono verificarsi nel corso della stagione invernale (caratterizzati tipicamente da elevate concentrazioni di CO, SO₂, NO₂ e particolato), da quelli che possono verificarsi nella stagione estiva (in genere caratterizzati da elevate

⁵ PTS, polveri totali sospese – PM10, polveri con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm – PM2.5, polveri con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 2.5 µm.

⁶ US-EPA, "Air Quality Index Reporting", 40 CFR Part 58, Federal Register, 1998. Informazioni sui valori rilevati e su quelli previsti dell'indice AQI sono rese quotidianamente disponibili sul sito internet "Air Now" (<https://www.airnow.gov>).

concentrazioni di O₃).

Nel presente rapporto l'attenzione si concentra sugli episodi invernali (intendendo con ciò il periodo compreso tra ottobre e marzo) che in Toscana, da diversi anni, sono contraddistinti da concentrazioni giornaliere di PM10 periodicamente superiori alla soglia di 50 µg/m³ fissata dalla Direttiva 2008/50/CE e dal D.Lgs. 155/2010, il cui ripetersi può determinare il superamento dello standard normativo annuale⁷, essendo invece da tempo rispettate le soglie di breve periodo fissate per gli altri inquinanti tipici del periodo invernale [cap.1,6].

E' già stato osservato come in Toscana nel periodo invernale possono instaurarsi condizioni atmosferiche generali a scala sinottica, caratterizzate dal permanere sulla penisola italiana di un regime di alta pressione (centrato sull'Europa centro-settentrionale oppure sulle isole Azzorre), che possono risultare critiche per la qualità dell'aria [cap.1,7].

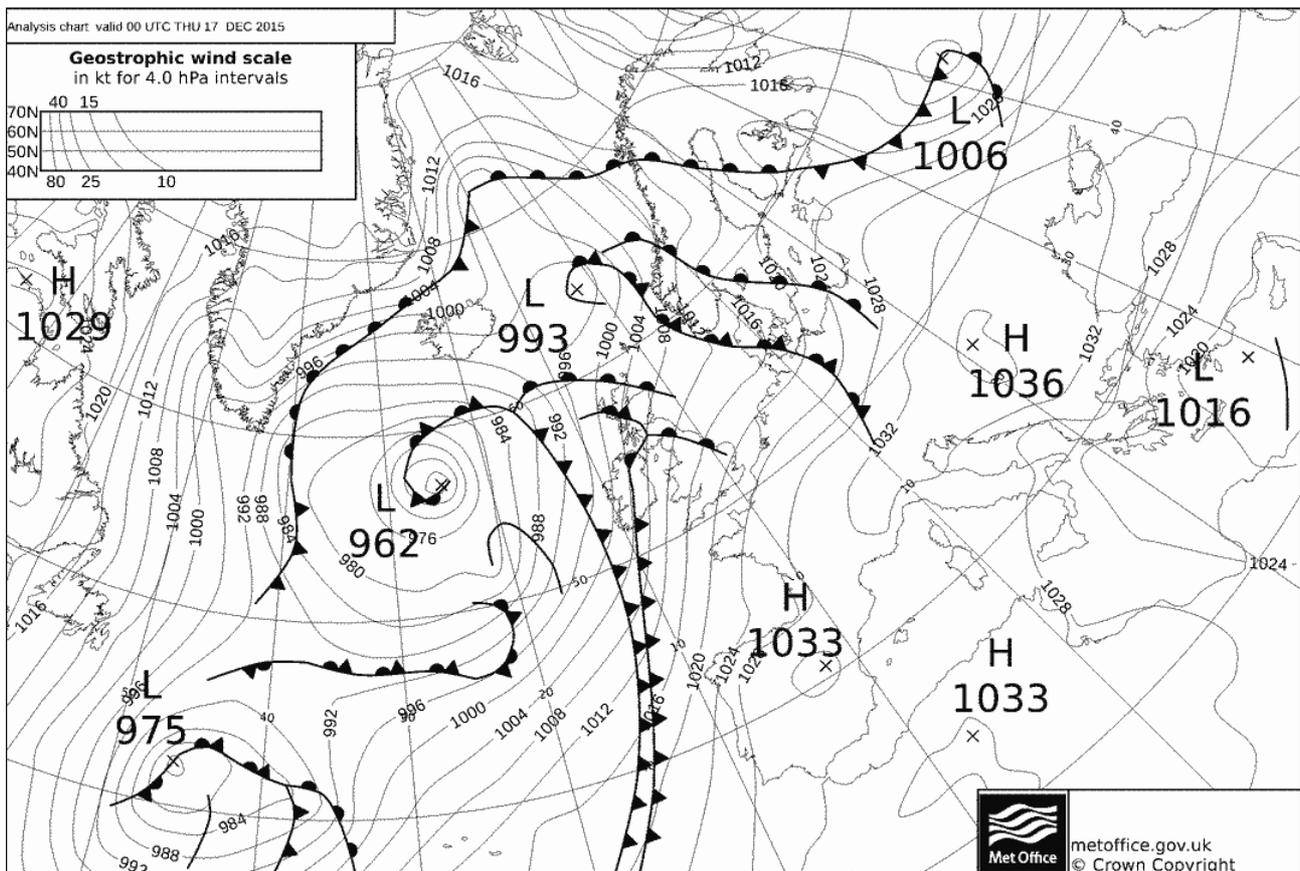


Figura 2: situazione sinottica sull'Europa alle ore 00:00 UTC del 17 dicembre 2015 (Met Office ©), caratterizzata dalla presenza di una vasta e livellata area anticiclonica estesa dall'area Carpatico-Danubiana fino alla penisola Iberica.

⁷ L'Allegato XI al D.Lgs. 155/2010 stabilisce che il valore limite di 50 µg/m³ non sia superata per più di 35 giorni in ogni anno solare, ovvero che il 90,4° percentile annuo delle concentrazioni giornaliere di PM10 non sia superiore a 50 µg/m³.

Un esempio recente è mostrato in Figura 2: in tali situazioni gli alti valori di pressione, associati spesso a moti di subsidenza delle masse d'aria, portano a condizioni di forte stabilità atmosferica con venti deboli variabili che, nel semestre invernale, sono frequentemente associati al fenomeno di inversione termica nei bassi strati (ovvero a valori modesti dell'altezza di rimescolamento)⁸, con foschia densa o nebbia nei fondovalle e nelle pianure [cap.1,8].

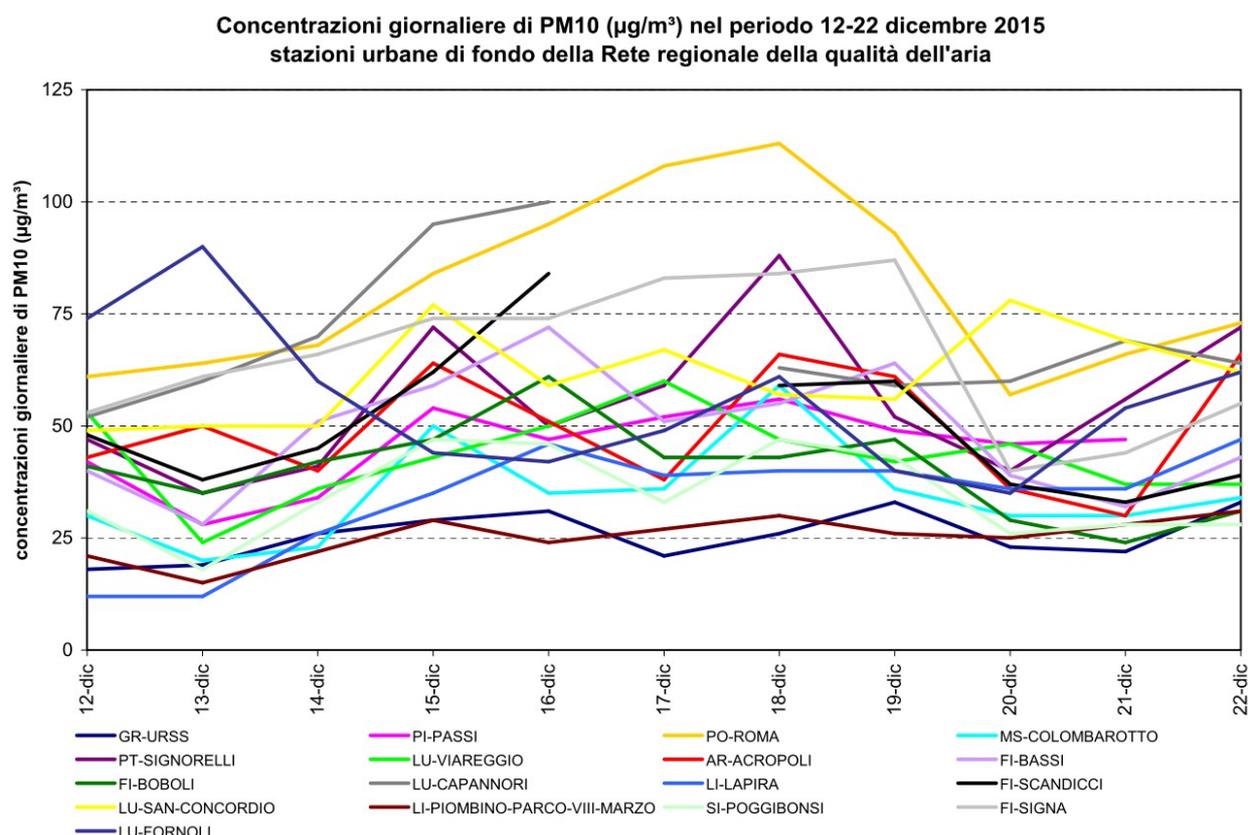


Figura 3: concentrazioni giornaliere di PM10 nel periodo dal 12 al 22 dicembre 2015 rilevate dalle stazioni classificate "urbane - fondo" della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria.

Questo insieme di condizioni, in special modo qualora si protraggano per più giorni, può condurre a concentrazioni di PM10 superiori alla soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si è effettivamente verificato nel periodo cui si riferisce la Figura 2, durante il quale in gran parte delle stazioni di monitoraggio della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria della Toscana si sono osservate per più giorni consecutivi concentrazioni ben superiori alla soglia (Figura 3).

⁸ La cosiddetta "altezza di rimescolamento" (*mixing height*) delimita la porzione di atmosfera al di sopra del suolo nella quale sono presenti i moti turbolenti (caratteristici dell'atmosfera) che producono un continuo mescolamento dell'aria e quindi delle sostanze inquinanti presenti. Oltre tale altezza è presente uno strato di inversione termica in cui i moti turbolenti risultano invece assai ridotti. Quanto minore è l'altezza di rimescolamento, quanto minore è il volume disponibile per la diluizione degli inquinanti, con il conseguente effetto di un aumento della loro concentrazione nei bassi strati.

Durante il periodo invernale, in occasione delle giornate caratterizzate da basse temperature (inferiori a 0 °C), si determina peraltro una più elevata domanda di energia per il riscaldamento degli ambienti abitati, che a sua volta produce un aumento delle emissioni dovute al maggior consumo di combustibili; in tali condizioni inoltre anche le emissioni degli autoveicoli risultano maggiori a causa della maggior durata del periodo necessario affinché i motori ed i sistemi di abbattimento catalitico raggiungano la temperatura necessaria per il loro efficiente funzionamento.

L'insieme di queste considerazioni ed elementi ben spiega quanto si osserva anche in Toscana circa l'andamento annuale delle concentrazioni degli inquinanti, ed in particolare quelle di PM10, che risultano mediamente più elevate nel periodo compreso tra ottobre e marzo, durante il quale si addensano gli eventi di superamento della soglia di 50 µg/m³ (Figura 4).

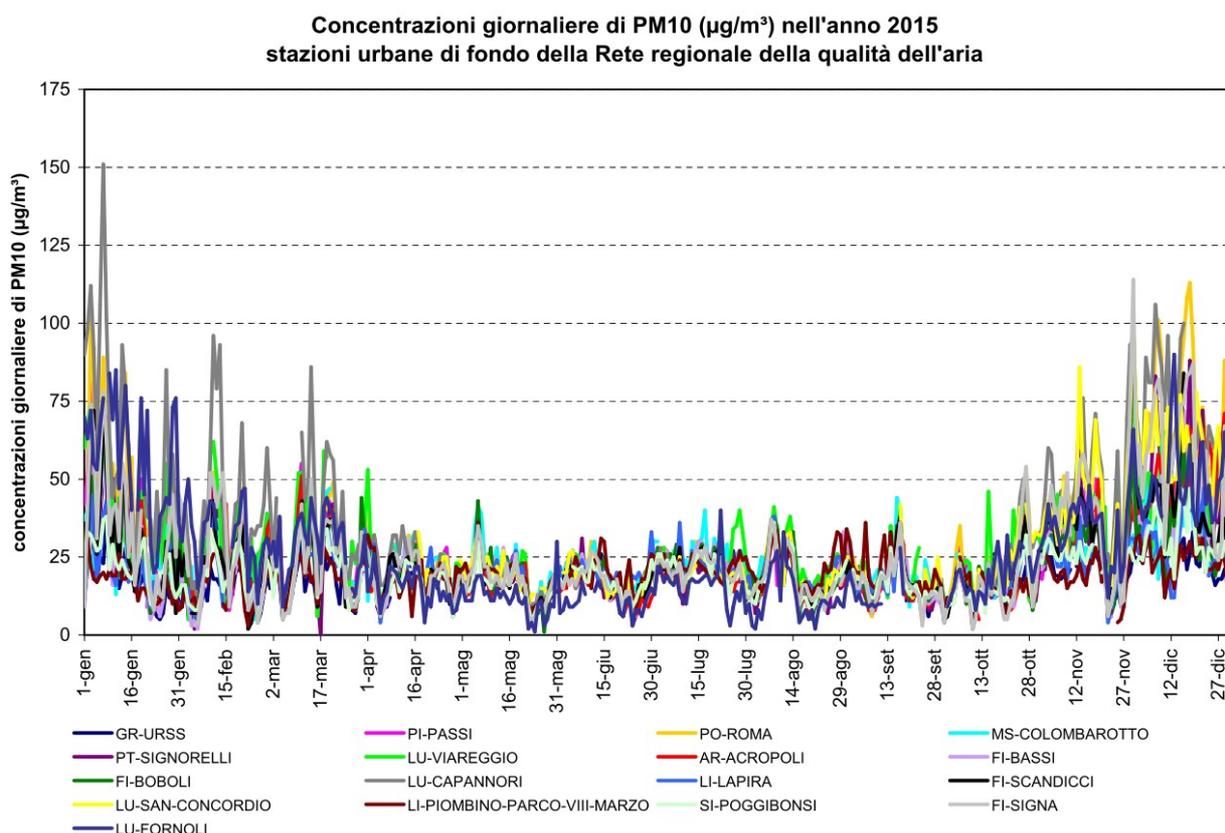


Figura 4: concentrazioni giornaliere di PM10 nell'anno 2015 rilevate dalle stazioni classificate "urbane - fondo" della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria.

L'analisi e la previsione dell'evoluzione temporale dei parametri e delle condizioni meteorologiche sinottiche sono alla base delle procedure con le quali usualmente vengono formulate previsioni sull'andamento futuro delle concentrazioni degli inquinanti, con specifico riferimento al verificarsi degli "episodi acuti". Le procedure di

prognosi possono essere di tipo semplificato, basate sulla conoscenza empirica delle relazioni tra i valori dei parametri meteorologici e le conseguenti concentrazioni degli inquinanti (ricostruite per mezzo di un'analisi delle serie storiche disponibili per l'area di interesse); oppure di elevata complessità, basate sul ricorso ad una catena di più modelli matematici che includono la stima delle emissioni, dei valori dei parametri meteorologici, e quindi delle concentrazioni in aria ambiente mediante sofisticati codici numerici in grado di simulare la dispersione degli inquinanti [cap.1,9].

Rientrano nel primo gruppo le procedure di previsione basate su tecniche statistiche (ARMA, ARMAX, segmentazione, regressione, *k* primi vicini o *k-nearest-neighbours*, reti neurali, *fuzzy logic*, ecc.) con le quali è possibile stimare per ciascuna stazione di una rete di rilevamento, sulla base delle serie storiche delle concentrazioni in aria ambiente e degli altri predittori significativi (velocità del vento, temperatura, altezza di rimescolamento, ecc.), sia la probabilità di superamento della soglia che individua gli "episodi acuti" sia la concentrazione attesa nei giorni successivi [cap.1,10]. Modelli predittivi di questo genere sono stati impiegati anche a Firenze dove (in relazione agli "episodi acuti" relativi all'NO₂) se ne è anche potuto dimostrare l'efficacia in termini di più corretta gestione degli eventi e di riduzione delle concentrazioni in aria ambiente [cap.1,11].

A titolo di esempio si può citare il sistema di previsione degli "episodi acuti" attivo in Belgio e gestito dall'Agenzia Interregionale per l'Ambiente (IRCEL-CELINE)⁹, costituito da un insieme di più modelli statistici in grado di fornire la previsione nei giorni successivi della concentrazione oraria di O₃ (SMOGSTOP) [cap.1,12] e giornaliera di PM10 (OVL) [cap.1,13] in base ai valori previsti dei parametri meteorologici ed alla serie storica delle concentrazioni.

Come tutti i sistemi prognostici di questo genere, il vantaggio è costituito dalla rapidità con la quale è possibile ottenere la previsione per ognuna delle stazioni della rete di monitoraggio; gli svantaggi risiedono nella necessità di avere a disposizione una serie storica delle concentrazioni completa e prolungata nel tempo, e nell'impossibilità (a meno di ricorrere ad altre tecniche) di estendere le stime ottenute in aree del territorio diverse da quelle in cui sono attive stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

Per quanto riguarda i modelli più complessi, si tratta in genere di "catene" di più codici

⁹ I dati misurati dalla rete di rilevamento attiva in Belgio e le previsioni nei giorni successivi sono disponibili sul sito internet di IRCEL-CELINE (<http://www.irceline.be/en>). Si veda anche la sintesi (2013) delle attività del servizio di gestione della qualità dell'aria in Belgio condotte da IRCEL-CELINE (https://ees.kuleuven.be/maccbet2013/presentations/MACCBET_Sandy_Adriaenssens.pdf).

di calcolo ognuno dedicato a simulare un aspetto del problema (Figura 5):

- un modello in grado di stimare, sulla base di alcuni indicatori o meta-indicatori (consumi, densità di popolazione, uso del suolo, dati di traffico, ecc.), le emissioni in atmosfera degli inquinanti di interesse;
- un modello meteorologico in grado di stimare (in base a dati meteo osservati al momento "zero", all'uso del suolo, all'orografia, ecc.) i valori attesi dei parametri meteo di interesse nelle ore e nei giorni successivi, in genere in un dominio di calcolo tridimensionale;
- un modello per la stima delle concentrazioni in aria ambiente degli inquinanti di interesse, che impiega i risultati dei due modelli precedenti come informazioni di input, spesso organizzato in più moduli dedicati (formazione degli inquinanti reattivi, trasporto degli inquinanti in atmosfera, deposizione al suolo del particolato).

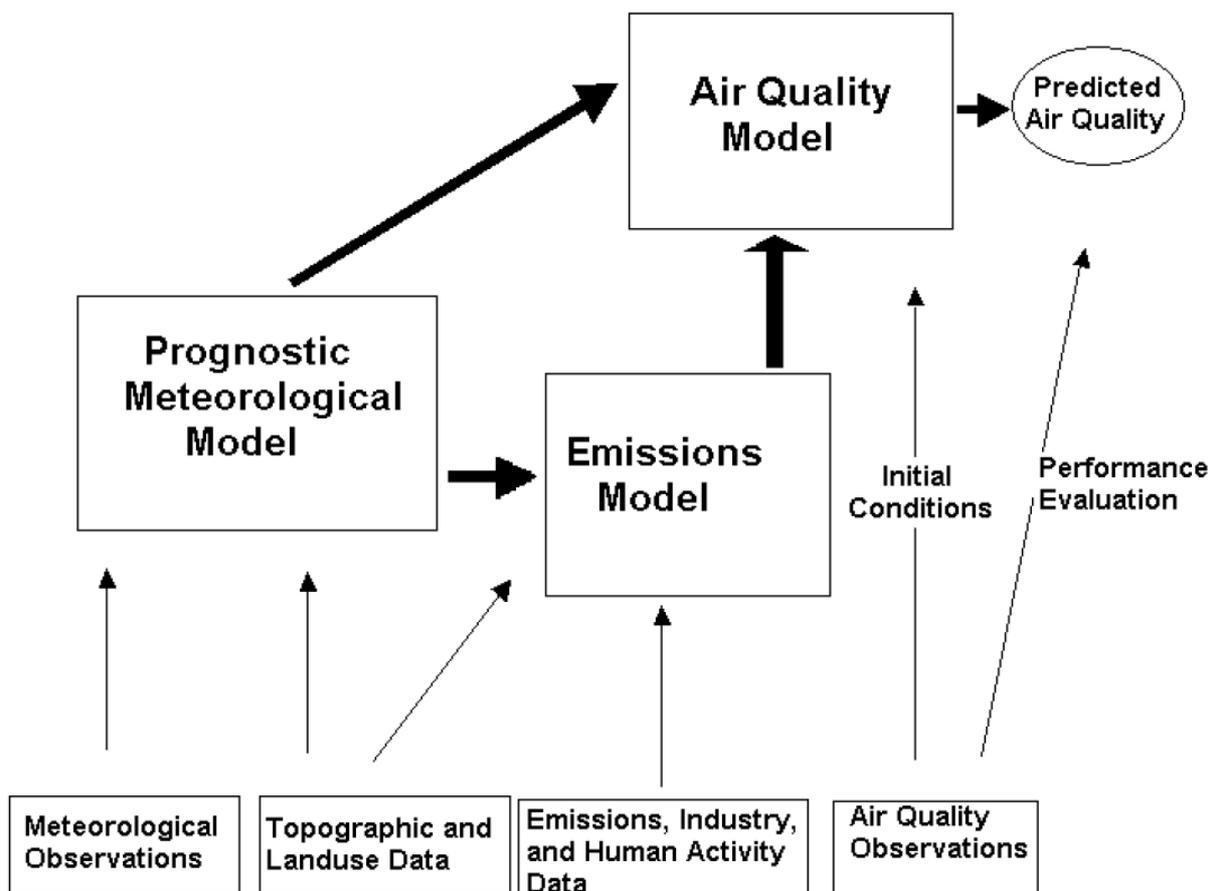


Figura 5: rappresentazione schematica dei moduli in cui è suddivisa una tipica catena modellistica complessa, suddivisa nel sistema per la stima dei parametri meteorologici (a sinistra), quello per la stima delle emissioni (al centro), e quello per la stima delle concentrazioni in aria ambiente (in alto) [cap.1,14].

Un esempio di questo genere di modelli è costituito dal sistema operativo in Francia ("PREV'AIR")¹⁰, che quotidianamente stima per i giorni successivi (su un'area che copre tutta la Francia, con risoluzione 10 km) le concentrazioni in aria ambiente di NO₂, PM10, PM2.5 e O₃ (media giornaliera e massima oraria) [cap.1,15].

Sistemi complessi di questo genere - con la rapida evoluzione degli elaboratori elettronici - negli ultimi anni si sono diffusi, su scale spaziali non inferiori a quella regionale. Tali sistemi infatti consentono di ottenere informazioni anche su aree non servite dalle reti di monitoraggio; inoltre, essendo in grado di mettere in relazione le emissioni delle diverse sorgenti attive sul territorio con le concentrazioni rilevate/attese, permettono anche di effettuare analisi diagnostiche finalizzate a stimare l'efficacia delle misure di miglioramento della qualità dell'aria. In genere, nell'ambito della gestione degli "episodi acuti" tali sistemi sono impiegati soprattutto con finalità meramente informative, mentre sono per lo più impiegati per la gestione pianificata della qualità dell'aria e degli interventi di miglioramento e risanamento, che in Europa è l'ambito di utilizzo indicato dalla Direttiva 2008/50/CE.

10 Le stime ottenute con "PREV'AIR" sono disponibili sul sito internet <http://www2.prevair.org/>.

1.2 Il sistema di gestione degli "episodi acuti" di PM10 in Toscana

Prima del 2010, in attuazione della prima normativa nazionale unitaria per la valutazione e gestione della qualità dell'aria [cap.1,16], la Regione Toscana aveva individuato alcuni Comuni tenuti ad attuare interventi di emergenza in occasione degli "episodi acuti" di PM10 (secondo due livelli di concentrazione giornaliera: attenzione, soglia 50 µg/m³; allarme, soglia 75 µg/m³) qualora le stazioni delle reti locali di monitoraggio della qualità dell'aria (allora gestite dalle Amministrazioni provinciali) avessero raggiunto o superato le soglie prefissate per più di cinque giorni consecutivi [cap.1,17].

Tuttavia in Toscana la gestione a livello regionale dei sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria e degli "episodi acuti" ha preso concreto avvio con l'approvazione della L.R. 9/2010, la quale, oltre ad abrogare la normativa regionale risalente agli anni '90 [cap.1,18] al fine di recepire le disposizioni nazionali ed europee vigenti all'epoca in materia di gestione della qualità dell'aria, ha anticipato l'attuazione della Direttiva 2008/50/CE, recepita in Italia qualche mese dopo con il D.Lgs. 155/2010.

Tra le diverse disposizioni innovative della L.R. 9/2010 vi è l'organizzazione della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria (art. 5) - affidata in gestione ad ARPAT - che ha consentito di superare la preesistente gestione frammentaria su base provinciale, con l'intento di assicurare la disponibilità di un quadro conoscitivo completo ed affidabile mediante un'organizzazione unitaria capace di rispondere a criteri di semplificazione, efficacia ed efficienza nel rispetto delle norme nazionali ed europee per la valutazione della qualità dell'aria ambiente.

Inoltre la L.R. 9/2010 ha introdotto l'obbligo di definire i necessari interventi di miglioramento della qualità dell'aria nell'ambito di una programmazione regionale di settore (il Piano regionale per la qualità dell'aria, PRQA: art. 9) con cui attuare una strategia integrata per la tutela della qualità dell'aria ambiente e per la riduzione delle emissioni dei gas climalteranti, nonché assicurare il raccordo, l'integrazione ed il coordinamento con gli altri atti della programmazione regionale.

In tale contesto, la L.R. 9/2010 stabilisce che i Comuni specificamente individuati dalla Regione sono tenuti ad adottare il Piano di azione comunale (PAC: art. 12) che, sulla base di specifici indirizzi, deve includere interventi strutturali ("di natura permanente finalizzati al miglioramento nonché al mantenimento della qualità dell'aria ambiente

attraverso la riduzione delle emissioni antropiche nell'atmosfera") ed interventi contingibili ("di natura transitoria che producono effetti nel breve periodo, finalizzati a limitare il rischio dei superamenti dei valori limite e delle soglie di allarme stabilite dalla normativa nazionale, attraverso la riduzione delle emissioni antropiche in atmosfera").

Tale impostazione è coerente con le disposizioni del D.Lgs. 351/1999, che già all'epoca distingueva tra piani e programmi di natura strutturale (art. 8) e piani di azione di natura temporanea (art. 7), ma anche con il D.Lgs. 155/2010 entrato in vigore successivamente (artt. 9 e 10). In materia di "interventi da attuare a breve termine" quest'ultimo stabilisce che le Regioni sono tenute ad adottare un piano di azione in cui inserire le misure di emergenza "per i casi in cui insorga, presso una zona o un agglomerato, il rischio che i livelli degli inquinanti ... superino le soglie di allarme" (art. 10, comma 1; Allegato XII), mentre è facoltà delle Regioni estendere tali piani di azione anche alle zone "per i casi in cui insorga, presso una zona o un agglomerato, il rischio che i livelli degli inquinanti ... superino i valori limite o i valori obiettivo" (art. 10, comma 2; Allegati VII e XI); in tal caso "i piani d'azione hanno ad oggetto specifiche circostanze contingenti, non aventi carattere strutturale o ricorrente, che possono causare un superamento o che possono pregiudicare il processo di raggiungimento dei valori limite o di perseguimento dei valori obiettivo". E' da notare che il D.Lgs. 155/2010 (Allegato XII) fissa soglie di allarme solo per SO₂ (500 µg/m³), NO₂ (400 µg/m³) e O₃ (240 µg/m³): ne consegue che gli interventi di emergenza relativi agli "episodi acuti" di PM10 rientrano tra quelli che ciascuna Regione ha facoltà o meno di adottare¹¹.

La Regione Toscana, già pochi giorni dopo l'entrata in vigore della L.R. 9/2010, anche alla luce dei ripetuti superamenti da parte del PM10 del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ ed in continuità con le proprie deliberazioni precedenti, ha adottato con carattere di urgenza un primo piano di azione esteso ad alcuni territori comunali¹² "da attuare nel breve periodo al fine di ridurre il numero dei superamenti della concentrazione media giornaliera nell'arco dell'anno per il PM10" [cap.1,19].

Successivamente, al fine di attuare le disposizioni dettate dal D.Lgs. 155/2010, con la D.G.R. 1025/2010 la Regione Toscana [cap.1,20]:

11 In Toscana negli ultimi 20 anni non sono state mai raggiunte le soglie di allarme per SO₂ e NO₂, inquinanti che tipicamente caratterizzano il periodo invernale.

12 Si tratta dei Comuni di Arezzo, Bagno a Ripoli, Campi Bisenzio, Calenzano, Capannori, Cascina, Firenze, Lastra a Signa, Lucca, Montale, Montecatini Terme, Pisa, Pistoia, Porcari, Prato, S. Croce sull'Arno, Scandicci, Sesto Fiorentino, Signa, Grosseto, Siena, Livorno e Viareggio.

- ha individuato le stazioni di misura che costituiscono la Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria;
- ha individuato i Comuni tenuti all'elaborazione ed all'adozione del PAC previsto dalla L.R. 9/2010¹³;
- ha indicato, come prima applicazione, i criteri in base ai quali sono individuate le situazioni a rischio di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme per una o più sostanze inquinanti. I Comuni nel cui territorio sono individuate tali situazioni a rischio sono tenuti ad adottare gli interventi contingibili ed urgenti.

Alla luce dei criteri prestabiliti, con la D.G.R. 22/2011 la Regione Toscana [cap.1,21]:

- ha precisato che il rischio di superamento "sussiste esclusivamente per il materiale particolato fine PM10 relativamente al superamento del valore limite giornaliero";
- ha individuato i Comuni tenuti all'adozione, nell'ambito del PAC, degli interventi contingibili al fine di limitare il rischio di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme e la durata degli stessi¹⁴;
- ha individuato i criteri in base ai quali i Sindaci dei Comuni tenuti all'adozione delle misure di emergenza attivano i conseguenti interventi contingibili, in seguito alla comunicazione da parte di ARPAT del superamento del valore limite giornaliero.

Con la D.G.R. 22/2011 è stato altresì stabilito (Allegato 2) che l'attivazione degli interventi deve avvenire al raggiungimento del 15° superamento annuo del valore limite giornaliero del PM10 di una stazione urbana-fondo della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria (tra quelle riportate nell'Allegato 1), fatta salva la potestà del Sindaco di intervenire con ulteriore anticipo nei casi in cui lo ritenga opportuno, anche in relazione al perdurare del fenomeno e della relativa intensità; in merito alla durata degli interventi la delibera ha demandato la scelta al PAC di ciascun Comune¹⁵. Infine la D.G.R. 22/2011 ha stabilito che "il Sindaco attiva gli interventi contingibili prescelti il giorno della comunicazione da parte di ARPAT dell'avvenuto superamento, per la durata predefinita, tenuto conto degli eventuali effetti sul tessuto economico sociale e delle previste condizioni meteorologiche".

Come ben si comprende, tali modalità di attivazione degli interventi contingibili

13 Si tratta dei Comuni di Bagno a Ripoli, Calenzano, Campi Bisenzio, Firenze, Lastra a Signa, Scandicci, Sesto Fiorentino, Signa (Agglomerato di Firenze), Capannori, Arezzo, Carrara, Cascina, Empoli, Grosseto, Livorno, Lucca, Massa, Montecatini Terme, Montale, Montemurlo, Piombino, Pisa, Pistoia, Porcari, Poggibonsi, Pontedera, Prato, Rosignano M.mo, S.Croce sull'Arno, Siena e Viareggio.

14 Si tratta dei Comuni di Bagno a Ripoli, Firenze, Scandicci, Lastra a Signa, Signa, Sesto Fiorentino, Campi Bisenzio, Calenzano (Agglomerato di Firenze), Montale, Capannori, Lucca, Porcari, Montecatini Terme, Viareggio.

15 "si ritiene che la durata dei provvedimenti debba essere di un periodo congruo, in relazione alla tipologia di interventi, tale da influenzare in maniera sensibile i livelli di concentrazione di fondo urbano di PM10" (Allegato 2 alla D.G.R. 22/2011).

presentano alcuni elementi problematici:

- l'attivazione avviene solo dopo il 15° giorno di superamento (anche non consecutivo) del valore limite giornaliero di 50 µg/m³, computando tale conteggio dall'inizio di ciascun anno solare;
- l'attivazione avviene sostanzialmente a prescindere da qualunque valutazione tecnica circa la prevista evoluzione delle condizioni meteorologiche e quindi delle concentrazioni di PM10, le quali possono essere tenute in considerazione in termini generici per lo più al fine di modulare la durata dei provvedimenti di riduzione delle emissioni;
- ne consegue una scarsa tempestività dei provvedimenti rispetto agli "episodi acuti", con il rischio di mantenerli in vigore a situazione ambientale ormai rientrata nella norma, oltre all'impossibilità di gestire gli eventuali "episodi acuti" prolungati che possono verificarsi tra la fine dell'anno e l'inizio di quello successivo, giacché il conteggio dei giorni di superamento evidentemente riparte da zero con il 1° gennaio.

Tali modalità di attivazione degli interventi contingibili sono rimaste in vigore fino all'inverno 2015-2016.

La D.G.R. 1025/2010 e la D.G.R. 22/2011, adottate come prima attuazione della L.R. 9/2010 e del D.Lgs. 155/2010, sono state aggiornate nel 2015 (D.G.R. 964/2015 e D.G.R. 1182/2015) [cap.1,22] alla luce di alcuni approfondimenti e implementazioni promosse dalla Regione Toscana, tra cui la valutazione della rappresentatività spaziale delle singole stazioni inserite nella Rete, con specifico riferimento all'individuazione della rispettiva area di superamento¹⁶ [cap.1,28]; nonché la realizzazione di un sistema di modelli per la stima della qualità dell'aria su tutto il territorio regionale messo a punto dal Consorzio LaMMA ad integrazione delle informazioni ottenibili dalla Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria, come richiesto dal D.Lgs. 155/2010 (artt. 5 e 22).

Infatti il Consorzio LaMMA ha progressivamente sviluppato un sistema modellistico di tipo complesso per la stima della qualità dell'aria¹⁷, che nel 2015 è entrato formalmente a far parte del "programma di valutazione della qualità dell'aria" della

16 "Area di superamento: area, ricadente all'interno di una zona o di un agglomerato, nella quale è stato valutato il superamento di un valore limite o di un valore obiettivo" (art. 2, comma1, lettera g, del D.Lgs. 155/2010). Le aree di superamento per ciascuna stazione "di fondo" della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria attiva in Toscana sono state individuate mediante uno studio condotto da ARPAT e Consorzio LaMMA, realizzato applicando due tecniche proposte da ENEA (<http://www.arpat.toscana.it/notizie/notizie-brevi/2015/rappresentativita-spaziale-delle-stazioni-di-monitoraggio-della-qualita-dellaria>).

17 La catena modellistica impiega l'inventario delle emissioni IRSE, il modello meteorologico WRF ed il modello di dispersione degli inquinanti CAMx (<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/qualita-dellaria>).

Regione (Allegato B alla D.G.R. 964/2015). Tale sistema è finalizzato a perseguire gli obiettivi di carattere pianificatorio fissati dalla normativa (Appendice III al D.Lgs. 155/2010):

- "ottenere campi di concentrazione anche nelle aree all'interno delle zone ove non esistano stazioni di misurazione o estendere la rappresentatività spaziale delle misure stesse;
- comprendere le relazioni tra emissioni e immissioni, discriminare i contributi delle diverse sorgenti alle concentrazioni in una determinata area (*source apportionment*), e determinare i contributi transfrontalieri e quelli derivanti da fenomeni di trasporto su larga scala (per esempio, le polveri sahariane);
- integrare e combinare le misurazioni effettuate tramite le stazioni di misurazione in siti fissi, in modo tale da ridurre il numero, nel rispetto dei criteri individuati nel presente decreto;
- valutare la qualità dell'aria nelle zone in cui non sono presenti stazioni di misurazione, nel rispetto dei criteri individuati nel presente decreto;
- prevedere la qualità dell'aria sulla base di scenari ipotetici di emissione o in funzione di variazioni delle condizioni meteorologiche;
- valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera".

Tenuto conto delle necessità operative espresse dalla Regione Toscana, del grado di aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni (alla base del sistema modellistico predisposto dal Consorzio LaMMA), dell'attuale livello di sviluppo della catena di modelli (progettata, come ben si comprende, per fini diversi da quelli connessi con la gestione quotidiana degli "episodi acuti"), si è ritenuto nettamente preferibile orientare il lavoro di messa a punto dell'indice ICQA verso approcci più semplici, ma non per questo meno efficaci.

Con le delibere del 2015 la Regione Toscana ha conseguentemente provveduto, tra le altre cose, ad aggiornare la struttura della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria, ad adottare il Programma di valutazione della qualità dell'aria, ad aggiornare i criteri per la definizione delle situazioni a rischio di superamento delle soglie di allarme e dei valori limite, ad individuare le aree di superamento, ad aggiornare l'individuazione dei Comuni tenuti all'adozione del PAC¹⁸ e di quelli tenuti ad attivare le

¹⁸ Si tratta dei Comuni di Arezzo, Grosseto, Livorno, Pisa, Bientina, Casciana Terme Lari, Cascina, Castelfiorentino, Castelfranco di Sotto, Crespina, Empoli, Fauglia, Fucecchio, Montopoli in Val d'Arno, Ponsacco, Pontedera, S. Croce sull'Arno, S. Maria a Monte, S. Miniato, Vinci, Bagni di Lucca, Borgo a Mozzano, Bagno a Ripoli, Calenzano, Campi Bisenzio, Firenze, Lastra a Signa, Scandicci, Sesto Fiorentino, Signa, Altopascio, Buggiano, Capannori, Chiesina Uzzanese, Massa e Cozzile, Monsummano Terme, Montecatini Terme, Montecatini Terme, Pescia, Lucca, Pieve a Nievole, Ponte Buggianese, Porcari, Uzzano, Agliana, Carmignano, Montale, Montemurlo, Pistoia, Poggio a Caiano, Prato,

misure contingibili¹⁹; ha invece confermato i criteri già fissati dalla D.G.R. 22/2011 in base ai quali i Sindaci dei Comuni tenuti all'adozione delle misure di emergenza attivano i conseguenti interventi contingibili.

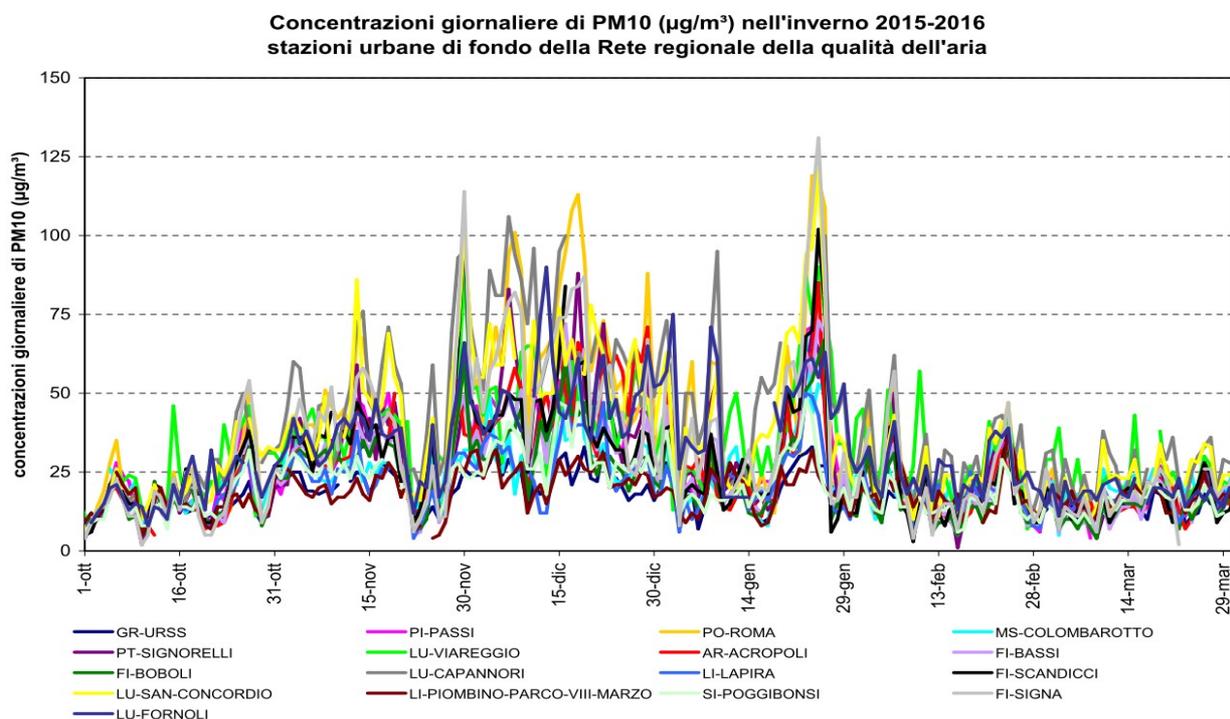


Figura 6: concentrazioni giornaliere di PM10 nell'inverno 2015-2016 rilevate dalle stazioni classificate "urbane - fondo" della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria.

Durante l'inverno 2015-2016, tuttavia, si sono verificati alcuni periodi prolungati caratterizzati da condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, con ripetuti superamenti da parte del PM10 del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in numerose stazioni della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria (Figura 6). In particolare, solo nel periodo compreso tra il 1° ottobre ed il 31 dicembre 2015 si sono osservati (le percentuali sono computate rispetto al massimo annuale ammesso dal D.Lgs. 155/2010, 35 giorni):

- 25 giorni di superamento nella stazione FI-Signa (71.4%);
- 36 giorni di superamento nella stazione PT-Montale (102.9%);
- 29 giorni di superamento nella stazione PO-Roma (82.9%);

Quarrata, Serravalle Pistoiese, Figline e Incisa Valdarno, Montevarchi, Reggello, San Giovanni Valdarno, Terranuova Bracciolini, Camaiore, Viareggio, Carrara, Massa, Piombino.

¹⁹ Si tratta dei Comuni di Bientina, Casciana Terme Lari, Cascina, Castelfiorentino, Castelfranco di Sotto, Crespina, Empoli, Fauglia, Fucecchio, Montopoli in Val d'Arno, Ponsacco, Pontedera, S. Croce sull'Arno, S. Maria a Monte, S. Miniato, Vinci, Bagni di Lucca, Borgo a Mozzano, Bagno a Ripoli, Calenzano, Campi Bisenzio, Firenze, Lastra a Signa, Scandicci, Sesto Fiorentino, Signa, Altopascio, Buggiano, Capannori, Chiesina Uzzanese, Massa e Cozzile, Monsummano Terme, Montecatini Terme, Pescia, Lucca, Pieve a Nievole, Ponte Buggianese, Porcari, Uzzano, Agliana, Carmignano, Montale, Montemurlo, Pistoia, Poggio a Caiano, Prato, Quarrata, Serravalle Pistoiese, Figline e Incisa Valdarno, Montevarchi, Reggello, San Giovanni Valdarno, Terranuova Bracciolini, Camaiore, Viareggio.

- 41 giorni di superamento nella stazione LU-Capannori (117.1%);
- 27 giorni di superamento nella stazione LU-San Concordio (77.1%);
- 18 giorni di superamento nella stazione PI-Santa Croce (51.4%).

Tale situazione ha fatto emergere con maggiore chiarezza i limiti delle modalità di attivazione delle misure contingibili adottate fin a quel momento, anche alla luce del protrarsi delle condizioni meteo sfavorevoli nel periodo tra la fine del 2015 e l'inizio del 2016.

La situazione verificatasi in quel periodo, dovuta ad una zona di alta pressione estesa a buona parte del bacino del Mediterraneo (Figura 2), è stata osservata in buona parte del territorio nazionale: perciò il Ministero dell'Ambiente ha assunto l'iniziativa di promuovere il Protocollo d'intesa "Per migliorare la qualità dell'aria, incoraggiare il passaggio a modalità di trasporto pubblico a basse emissioni, disincentivare l'utilizzo del mezzo privato, abbattere le emissioni, favorire misure intese ad aumentare l'efficienza energetica", sottoscritto il 30 dicembre 2015 dai rappresentanti della Conferenza delle Regioni e dell'Associazione nazionale dei Comuni italiani²⁰.

Il Protocollo d'intesa sottolinea la necessità di assumere "misure e interventi coordinati in più settori per conseguire, nel medio periodo, obiettivi stabili di miglioramento della qualità dell'aria e di riduzione dei gas climalteranti", individuando una serie di azioni strutturali che i contraenti si impegnano a favorire e promuovere (art. 1, comma 2), nonché alcune misure d'urgenza e temporanee (art. 1, comma 3). Il Protocollo d'intesa precisa che "le misure emergenziali saranno attivate dopo reiterati superamenti delle soglie giornaliere massime consentite delle concentrazioni di PM10, di regola identificate in 7 giorni" (art. 1, comma 3).

Per questo insieme di motivi la Giunta regionale nel febbraio 2016 ha sottoposto al Consiglio una proposta di modifica della L.R. 9/2010, approvata nell'aprile 2016 (Legge regionale 12 aprile 2016, n. 27) [cap.1,23], con la quale è stata stabilita (art. 13, comma 3 ter) la necessità di definire "specifici indici di criticità e le relative modalità di calcolo per l'individuazione delle situazioni di rischio di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme dei singoli inquinanti, tenendo conto:

- a) delle misurazioni effettuate, senza soluzioni di continuità, nei periodi di massima concentrazione dell'inquinante, ancorché a cavallo tra due anni di riferimento;
- b) delle previsioni di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme, formulate

²⁰ La Regione Toscana ha preso atto del Protocollo d'intesa con la Delibera della Giunta regionale 12 gennaio 2016, n. 4, "Presa d'atto del Protocollo d'intesa per migliorare la qualità dell'aria, incoraggiare il passaggio a modalità di trasporto pubblico a basse emissioni, disincentivare l'utilizzo del mezzo privato, abbattere le emissioni, favorire misure intese ad aumentare l'efficienza energetica".

sulla base di tecniche di modellizzazione, anche sperimentali, coerenti con i metodi di valutazione stabiliti dal D.Lgs. 155/2010”.

In sostanza, l’obiettivo del legislatore regionale è quello di ridefinire le modalità di attivazione delle misure contingibili in modo da tenere conto esplicitamente delle previsioni circa l’evoluzione delle concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente, superando il criterio di attendere il 15° “episodio acuto” conteggiato a partire da ciascun anno solare.

Al fine di dare attuazione alle nuove norme inserite nella L.R. 9/2010, nonché al Protocollo d’intesa promossa dal Ministero dell’Ambiente, la Regione ha successivamente adottato una nuova procedura di attivazione degli interventi contingibili (Allegato B alla D.G.R. 814/2016) [cap.1,24] con la quale, in relazione all’obiettivo di “ridurre il rischio di avere un superamento del valor limite giornaliero di 50 µg/m³ del particolato fine (PM10) (fissato dall’Allegato XI al D.Lgs. 155/2010) e comunque limitarne l’intensità”, gli interventi contingibili vengono articolati in due moduli di graduazione crescente in relazione al valore assunto dall’Indice di criticità per la qualità dell’aria (ICQA):

- il primo modulo viene attivato automaticamente dal 1° novembre al 31 marzo di ogni anno, ovvero nel periodo invernale (ICQA pari a 1);
- il secondo modulo viene attivato, nello stesso periodo, qualora sia pari a 7 la somma del numero dei giorni con superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nei 7 giorni precedenti e delle condizioni meteo previste favorevoli all’accumulo di inquinanti nei 3 giorni successivi (ICQA pari a 2); la durata di tali interventi è fissata orientativamente in 4-5 giorni.

A titolo di esempio, il secondo modulo viene attivato se nei precedenti 7 giorni vi sono stati 4 superamenti della soglia da parte del PM10 e sono previsti 3 giorni con condizioni favorevoli all’accumulo; oppure se vi sono stati 5 superamenti e sono previsti 2 giorni favorevoli all’accumulo.

Questa nuova procedura di attivazione è entrata in vigore il 1° novembre 2016. In sostanza, è stata stabilita la gradualità degli interventi di diminuzione delle emissioni (primo e secondo modulo), dove quelli più severi sono adottati tenendo conto sia dell’emergere di un numero significativo di superamenti già registrati nei sette giorni precedenti, sia dell’evoluzione futura delle condizioni meteorologiche; il meccanismo individuato prescinde dal numero complessivo di giorni di superamento verificatosi dall’inizio dell’anno.

Questa procedura richiama quanto stabilito già nei primi anni '90 dalla normativa italiana in merito all'attivazione delle misure di emergenza, per la quale i Sindaci dovevano tenere conto dell'evoluzione meteorologica nei giorni successivi [cap.1,25]; inoltre appare maggiormente rispondente alle raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità²¹ ed alle prassi correnti utilizzate in altri Paesi.

21 "To increase the quality of smog prognoses a simple model should be used, in which some characteristic meteorological factors are combined with measured pollution levels": World Health Organization - Regional Office for Europe, "Acute effects on health of smog episodes - Report on a WHO meeting 's - Hertogenbosch, Netherlands, 30 October 2 November 1990", WHO Regional Publications, European Series, n. 43, ISBN 92 890 1306 0, 1992.

2. Analisi dei superamenti del PM10 negli anni 2012-2016

Nella seguente analisi dei dati di superamento del valore limite giornaliero di PM10 negli ultimi anni, finalizzata alla revisione della D.G.R. 22/2011 sugli interventi contingibili e urgenti, sono ipotizzati meccanismi di attivazione degli interventi diversi da quelli adottati fino all'inverno 2015-2016 e ne sono valutati gli effetti sui dati storici. Per ciascuna delle stazioni a cui sono associate le aree di superamento, individuate nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015 (Tabella 1), sono analizzati i dati del quinquennio 2012-2016 [cap.2,1].

Area di superamento	Comune	Stazioni di riferimento
Comprensorio del cuoio di Santa Croce sull'Arno	Bientina	PI-Santa-Croce-COOP
	Casciana Terme Lari	
	Cascina	
	Castelfiorentino	
	Castelfranco di Sotto	
	Crespina	
	Empoli	
	Fauglia	
	Fucecchio	
	Montopoli in Val d'Arno	
	Ponsacco	
	Pontedera	
	S. Croce sull'Arno	
	S. Maria a Monte	
S. Miniato		
Vinci		
Media valle del Serchio	Bagni di Lucca	LU-Fornoli
	Borgo a Mozzano	
Agglomerato di Firenze	Bagno a Ripoli	FI-Scandicci FI-Bassi FI-Boboli [1] FI-Signa
	Calenzano	
	Campi Bisenzio	
	Firenze	
	Lastra a Signa	
	Scandicci	
	Sesto Fiorentino	
	Signa	
	Altopascio	
Buggiano		
Capannori		
Chiesina Uzzanese		
Massa e Cozzile		
Monsummano Terme		
Montecarlo		
Montecatini-Terre		
Pescia		
Lucca		
Pieve a Nievole		
Ponte Buggianese		
Porcari		
Uzzano		
Piana Prato-Pistoia	Agliana	PO-Roma PT-Montale
	Carmignano	
	Montale	
	Montemurlo	
	Pistoia	
	Poggio a Calano	
	Prato	
	Quarrata	
	Serravalle Pistoiese	
Valdarno superiore	Figline e Incisa Valdarno	FI-Figline
	Montevarchi	
	Reggello	
	San Giovanni Valdarno	
	Terranuova Bracciolini	
Versilia	Camaione	LU-Viareggio
	Viareggio	

Tabella 1: Aree di superamento come in Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015.

Le analisi seguenti tengono conto sia dell'aggiornamento delle conoscenze sulla rappresentatività delle stazioni di fondo, che ha portato alla nuova identificazione delle aree di superamento²², sia di alcuni nuovi orientamenti definiti a livello nazionale²³ e regionale²⁴ nella valutazione degli "episodi acuti".

Quanto di seguito riportato costituisce perciò al tempo stesso premessa alla D.G.R. 814/2016 per quanto riguarda l'individuazione di un meccanismo di attivazione degli interventi, ed attuazione della delibera stessa nella parte relativa alla definizione del protocollo di elaborazione e comunicazione dell'indice di criticità della qualità dell'aria.

Per la definizione della nuova procedura sono stati considerati:

- il principio di continuità del periodo critico per il PM10, che tipicamente si estende "a cavallo" tra due anni solari;
- le indicazioni contenute nel Protocollo d'intesa tra Ministero dell'Ambiente, Conferenza delle Regioni e ANCI del 30 dicembre 2015 con il quale è stato stabilito che "le misure emergenziali saranno attivate dopo reiterati superamenti delle soglie giornaliere massime consentite delle concentrazioni di PM10, di regola identificabili in 7 giorni" (paragrafo 1.2).

Di seguito sono riportati alcuni esempi delle elaborazioni effettuate insieme alle principali conclusioni che se ne possono trarre, mentre ulteriori elaborati sono disponibili in Appendice 1.

Occorre anzitutto ricordare che quotidianamente è disponibile la concentrazione giornaliera di PM10 relativa al giorno precedente e che i provvedimenti possono eventualmente essere attuati il giorno successivo a quello in cui viene data comunicazione del superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³: perciò qualsiasi meccanismo ipotizzabile ha insito un rischio di attivazione tardiva, rispetto alla persistenza delle condizioni di superamento e, per contro, un rischio di mancata attivazione.

Nella D.G.R. 22/2011 è stabilito che gli interventi debbano essere adottati a partire del 15° superamento dell'anno. E' stato perciò valutato, per le aree di superamento,

22 Le aree di superamento per ciascuna stazione "di fondo" della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria attiva in Toscana sono state individuate mediante uno studio condotto da ARPAT e Consorzio LaMMA, realizzato applicando due tecniche proposte da ENEA (<http://www.arpat.toscana.it/notizie/notizie-brevi/2015/rappresentativita-spaziale-delle-stazioni-di-monitoraggio-della-qualita-dellaria>).

23 Protocollo d'intesa promosso dal Ministero dell'Ambiente "Per migliorare la qualità dell'aria, incoraggiare il passaggio a modalità di trasporto pubblico a basse emissioni, disincentivare l'utilizzo del mezzo privato, abbattere le emissioni, favorire misure intese ad aumentare l'efficienza energetica", sottoscritto il 30 dicembre 2015 dai rappresentanti della Conferenza delle Regioni e dell'Associazione nazionale dei Comuni italiani.

24 Legge regionale 12 aprile 2011, n. 27, che ha modificato la Legge regionale Legge regionale 11 marzo 2010, n. 9 "Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente".

l'effetto di tale disposizione su base annua ed in riferimento al periodo ottobre-marzo, che costituisce il periodo critico per il PM10. Nei Grafici 1.a, 1.b, 1.c, 1.d sono riportate per ogni area di superamento le curve cumulate del numero di superamenti per stazione nel periodo Ottobre 2014-Marzo 2015.

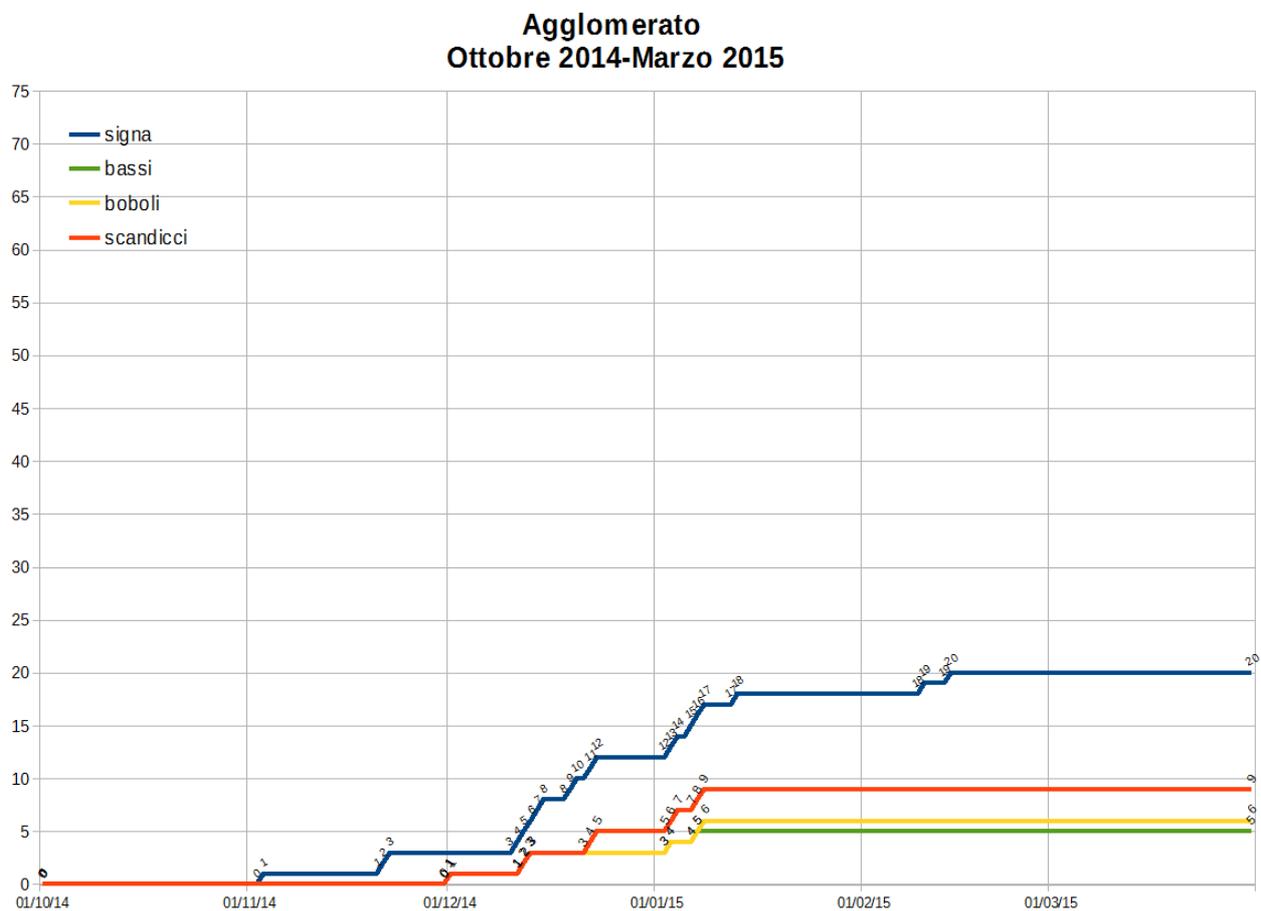


Grafico 1.a: curve cumulate del numero di superamenti (ascisse-data, ordinate numero) nelle stazioni dell'Agglomerato di Firenze.

Zona Valdarno pisano e piana lucchese Ottobre 2014-Marzo 2015

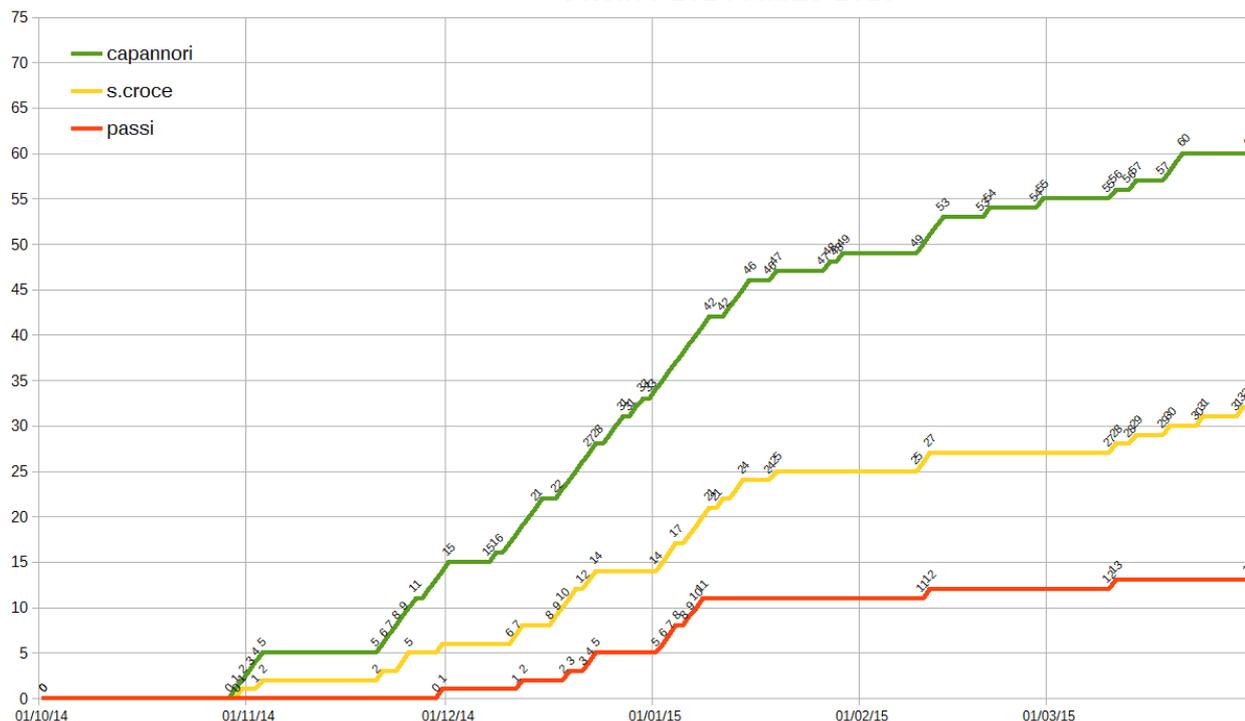


Grafico 1.b: curve cumulate del numero di superamenti (ascisse-data, ordinate numero) nelle stazioni della Zona Valdarno pisano e Piana lucchese.

Zona Prato Pistoia Ottobre 2014-Marzo 2015

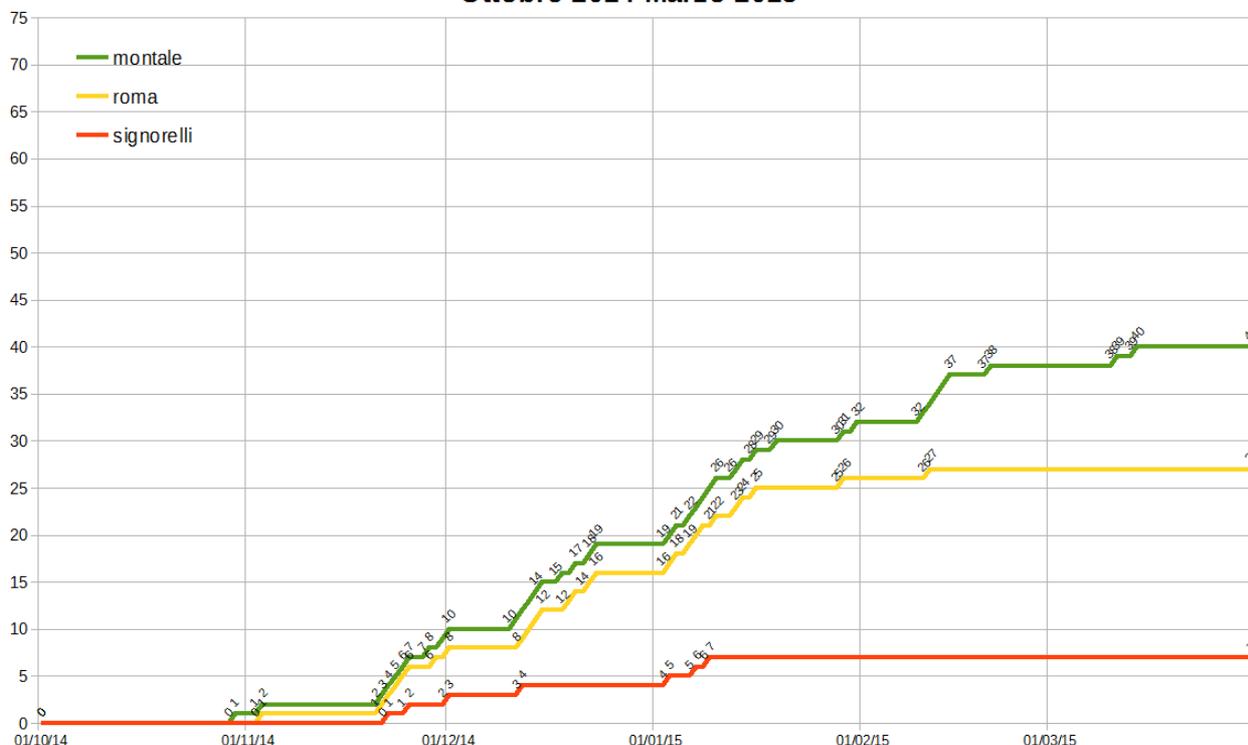


Grafico 1.c: curve cumulate del numero di superamenti (ascisse-data, ordinate numero) nelle stazioni della Piana Prato-Pistoia.

Fornoli e Viareggio Ottobre 2014 - Marzo 2015

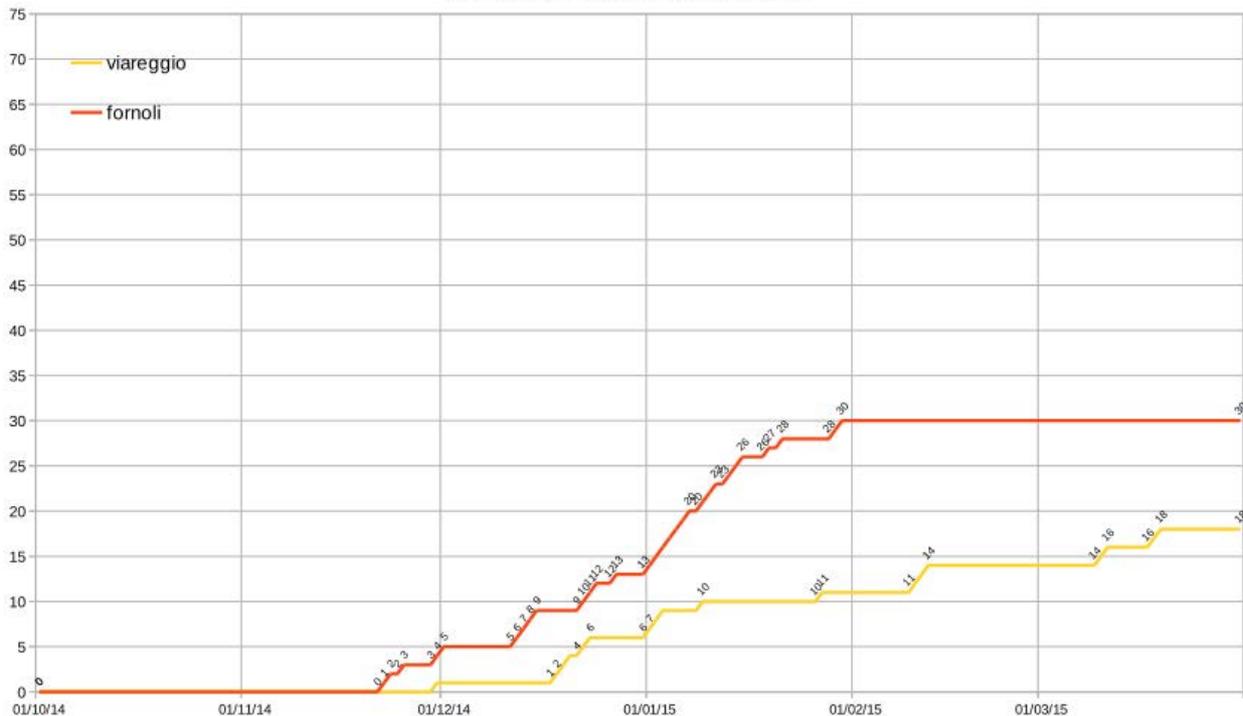


Grafico 1.d: curve cumulate del numero di superamenti (ascisse-data, ordinate numero) nelle stazioni Fornoli e Viareggio.

Dagli andamenti riportati nei grafici è possibile osservare che il raggiungimento del 15° superamento ricorre circa a metà del periodo di osservazione (ottobre-marzo). La prospettiva di definire un periodo di vigilanza all'interno del quale i Comuni possono essere chiamati ad attivare provvedimenti in occasione degli "episodi acuti" permette di superare la necessità di mantenere un dispositivo basato sul conteggio dei superamenti. Infatti per il periodo invernale, che si estende tra due anni diversi, manca un limite fissato dalla legge e quindi un numero assoluto di eventi da non superare. D'altra parte definire un conteggio nel solo semestre invernale avrebbe principalmente lo scopo di introdurre la necessaria continuità del periodo critico; ed inoltre gli interventi mirati assunti durante tale periodo producono effetti sulla limitazione degli episodi di superamento, rispetto al limite di legge (35 giorni/anno), nei due anni di riferimento.

A questo proposito, tornando ad analizzare i grafici si evidenziano ancora due importanti elementi. Il primo è che, nella realtà regionale, durante il semestre invernale i mesi nei quali risultano effettivamente concentrati la maggior parte degli "episodi acuti" sono dicembre e gennaio. Il secondo è che in questi due mesi le curve presentano rampe di crescita (giorni di superamento con aumento del conteggio) con

pochi e tendenzialmente brevi gradini (giorni di non superamento con conteggio costante); ovvero gli "episodi acuti", concentrati nei due mesi, si verificano in maniera consecutiva o a breve intermittenza.

Appare quindi in linea di principio coerente una rilettura degli interventi contingibili non solo nel quadro del rispetto del limite di legge, che impone soprattutto l'adozione di interventi strutturali di larga portata e con ricadute nel lungo termine, ma più specificamente in un'ottica di precauzionale tutela della salute pubblica: tali interventi rispondono infatti all'obiettivo di limitare il carico emissivo nelle "contingenze" in cui si verificano e persistono condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti, ed in cui la popolazione, specie nei centri urbani, può risultare esposta a concentrazioni di picco, espresse come medie giornaliere.

Si tratta perciò di definire quando può dirsi verificata una condizione tale da richiedere l'adozione di misure di emergenza. La Regione Toscana, anche raccogliendo le sollecitazioni di alcuni Comuni, ha deciso che l'attivazione degli interventi di limitazione delle emissioni debba essere supportata anche da previsioni meteorologiche, sia perché le condizioni dispersive dell'atmosfera sono determinanti per il verificarsi degli "episodi acuti", sia perché consentono di anticipare l'attivazione dei provvedimenti.

In questo capitolo sono esaminati i dati storici delle concentrazioni di PM10 al fine di fornire informazioni di maggiore dettaglio sulla ricorrenza e durata degli "episodi acuti" in Toscana. Come primo riferimento è stato esaminato quanto previsto dal Protocollo d'intesa del 30 dicembre 2015 che, come riportato, stabilisce di attivare misure emergenziali dopo reiterati superamenti, di norma sono identificati in 7 giorni.

I dati di ciascuna stazione della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria sono stati analizzati prendendo in considerazione i gruppi di superamenti consecutivi. Sono stati elaborati i dati di tutte le stazioni con riferimento temporale annuale (dal 2012 al 2015) o relativo al semestre invernale (dal 2012-13 al 2015-16). Di seguito sono riportati i grafici relativi al 2015, uno per ciascuna "area di superamento", considerando la stazione con il maggior numero di superamenti nell'anno. Tutti i grafici sono riportati in Appendice 1.

Si commenta, a titolo di esempio, il Grafico 2 riferito ai dati della stazione di Fornoli nell'anno 2015 nel quale è riportata la distribuzione di frequenza del numero di episodi consecutivi di superamento durante l'anno. Per la stazione di Fornoli si può osservare che i 30 superamenti avvenuti nel corso del 2015 si sono verificati come 4 eventi

singoli, 3 eventi della durata di 2 giorni, 3 eventi di 3 giorni, 1 evento della durata di 4 giorni ed un solo evento della durata di 7 giorni. La curva in blu riporta la percentuale di giorni sul numero totale di superamenti che darebbero luogo, nel periodo, all'attivazione di misure di emergenza. Assumendo di adottare misure per ogni singolo superamento si avrebbero interventi nel 100% dei casi; se invece l'adozione avvenisse dopo 7 giorni di superamento si otterrebbe una percentuale di giorni "attivanti" pari al 23% (7/30).

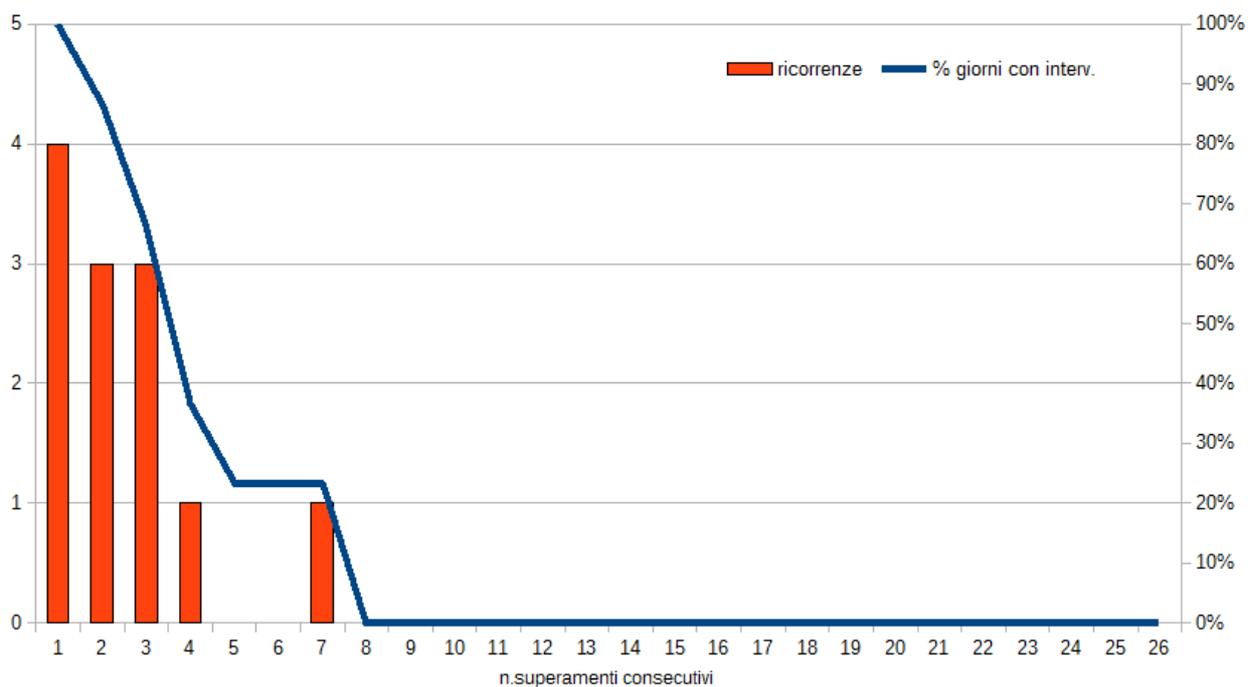


Grafico 2: stazione di Fornoli, anno 2015 – 30 superamenti.

Nei Grafici 3-7 sono rappresentati analoghi conteggi per alcune delle altre stazioni nelle diverse aree di superamento.

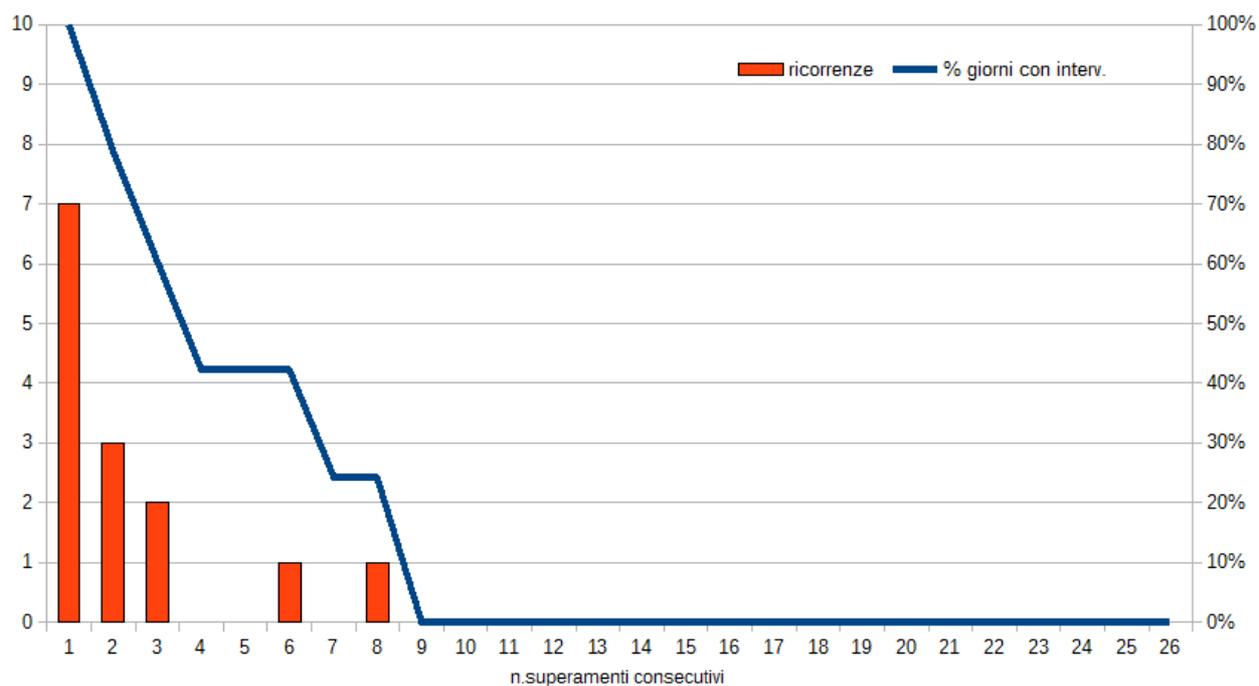


Grafico 3: stazione di Signa anno 2015 - 33 superamenti (stazione peggiore dell'Agglomerato nell'anno).

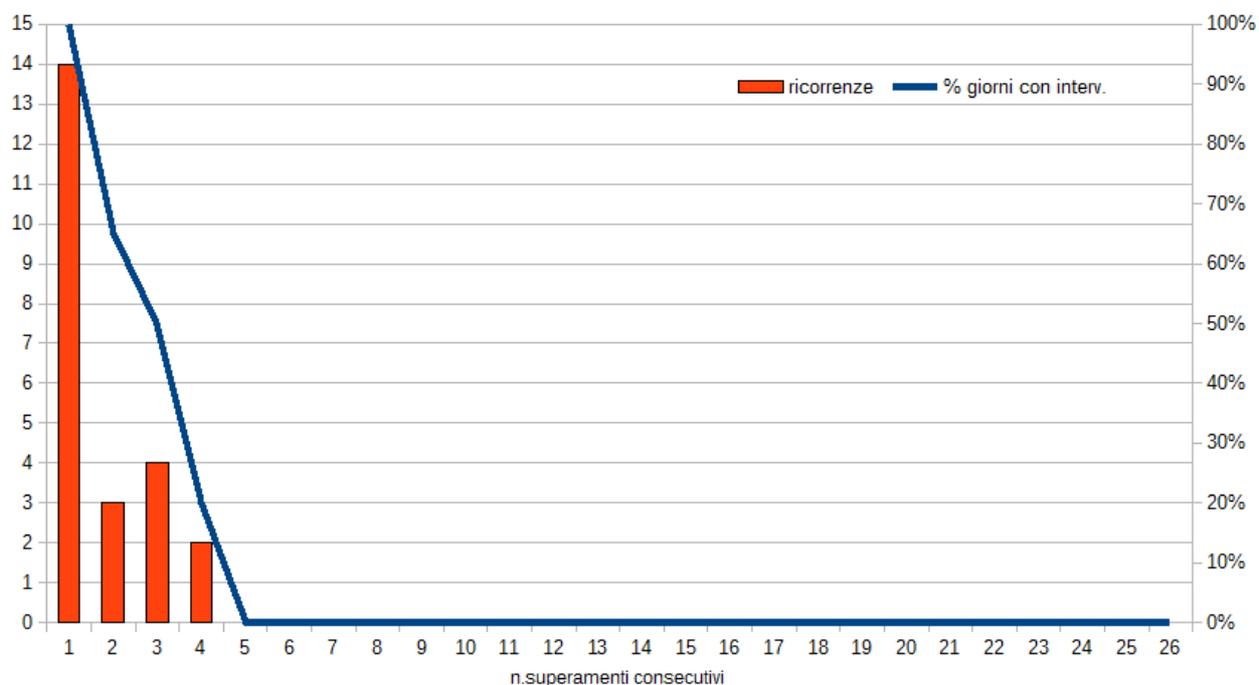


Grafico 4: stazione di Santa Croce anno 2015- 40 superamenti.

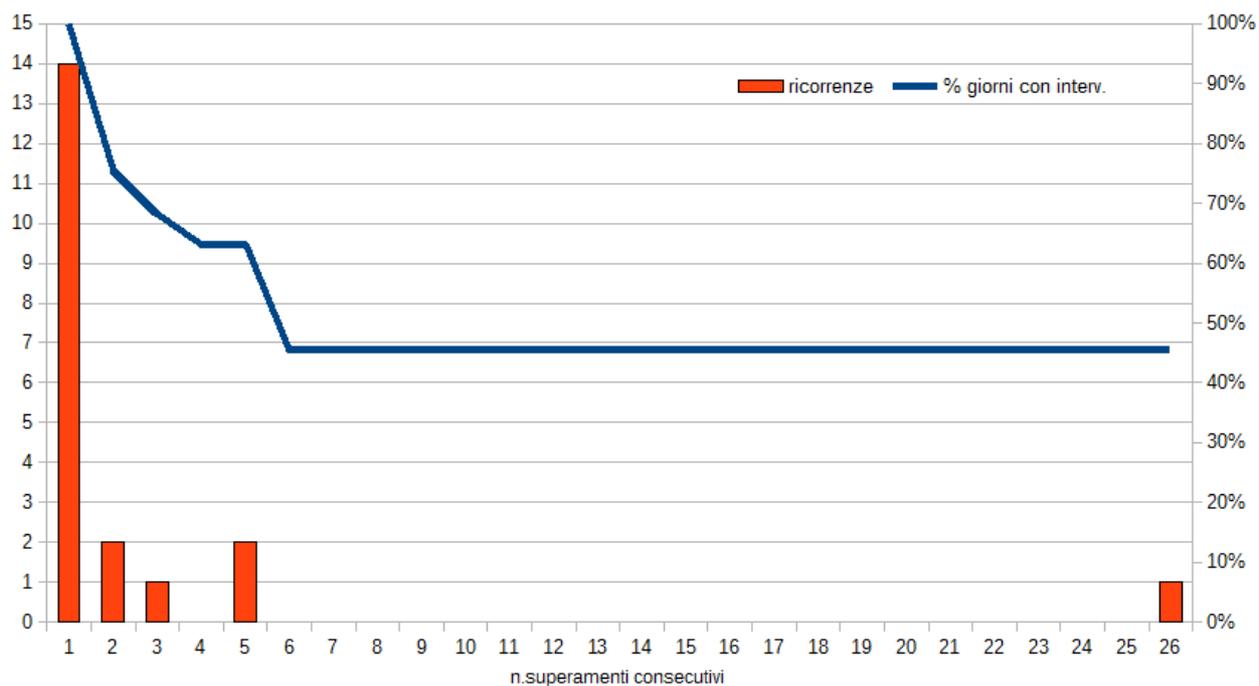


Grafico 5: stazione di Montale anno 2015 - 57 superamenti (stazione peggiore dell'area Prato-Pistoia).

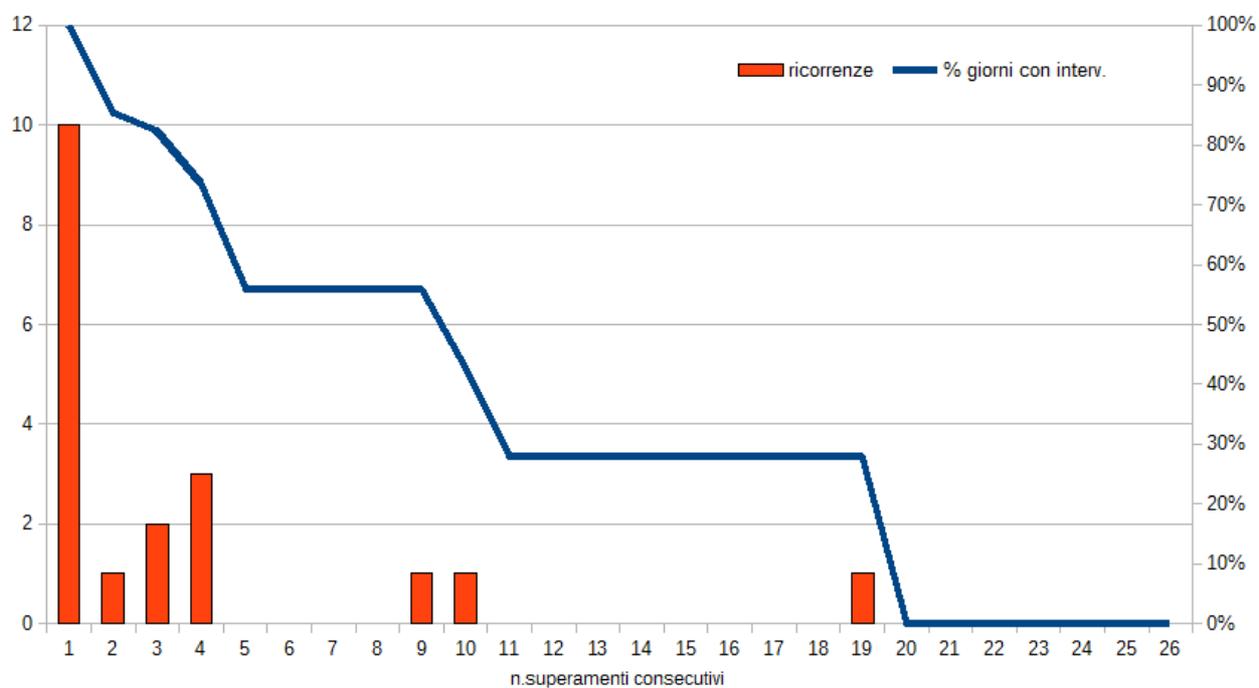


Grafico 6: stazione di Capannori anno 2015 - 68 superamenti (peggiore stazione regionale nell'anno).

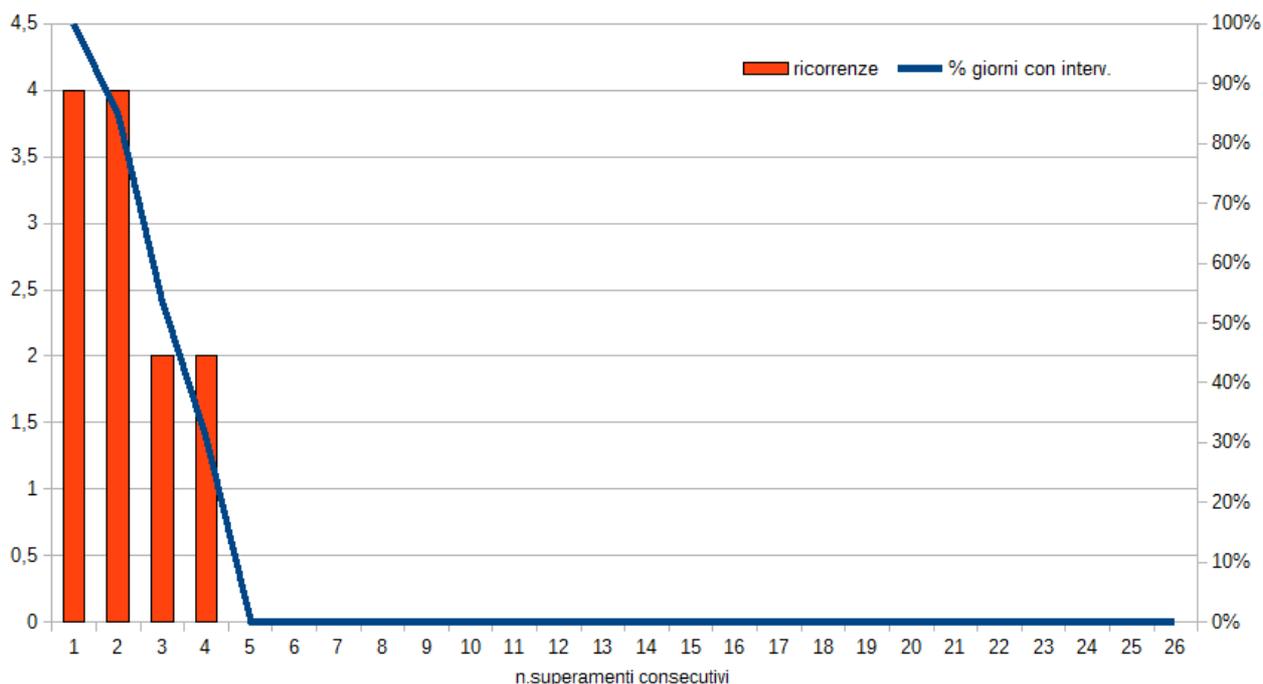


Grafico 7: stazione di Viareggio anno 2015 - 26 superamenti.

Dagli esempi sopra riportati (uno per area di superamento) si può osservare che durante il 2015 nelle stazioni di Signa, Montale, Capannori e Fornoli si sono verificati episodi con 7 superamenti consecutivi o superiori. E' da notare che la stazione di Santa Croce, pur avendo superato il limite dei 35 superamenti annuali, non ha avuto "episodi acuti" con più di 4 giorni consecutivi di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nel caso delle stazioni di Signa (1 episodio di 8 giorni) e di Fornoli (1 episodio di 7 giorni), l'attivazione di interventi dopo 7 giorni consecutivi risulta tardiva rispetto alla durata dell'evento; diverso è il caso degli episodi prolungati verificatisi nelle stazioni di Montale e Capannori.

Anche esaminando più in generale le diverse aree di superamento, complessivamente²⁵ durante le annualità 2012-2015 si ha il quadro rappresentato nei Grafici 8-12.

²⁵ Il giorno viene considerato "episodio acuto" ogni volta che almeno una delle stazioni di riferimento per l'area supera il valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione media giornaliera.

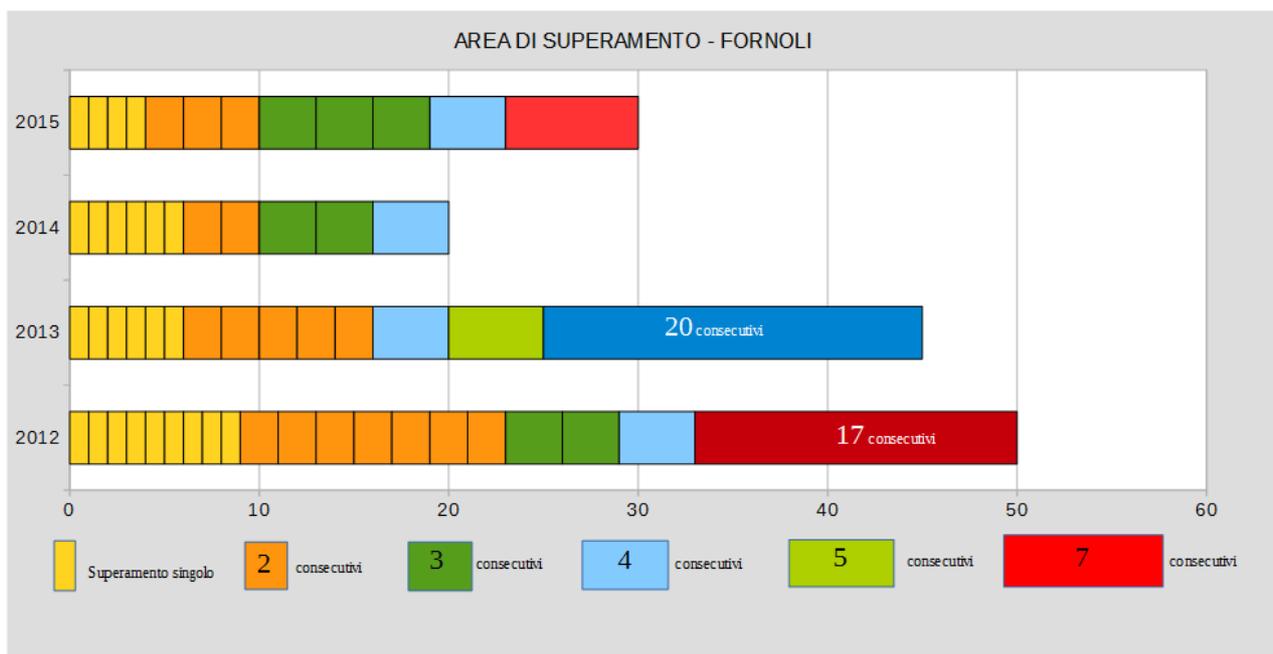


Grafico 8: Area di superamento Media valle del Serchio
stazione di riferimento: Fornoli - 2012-2015.

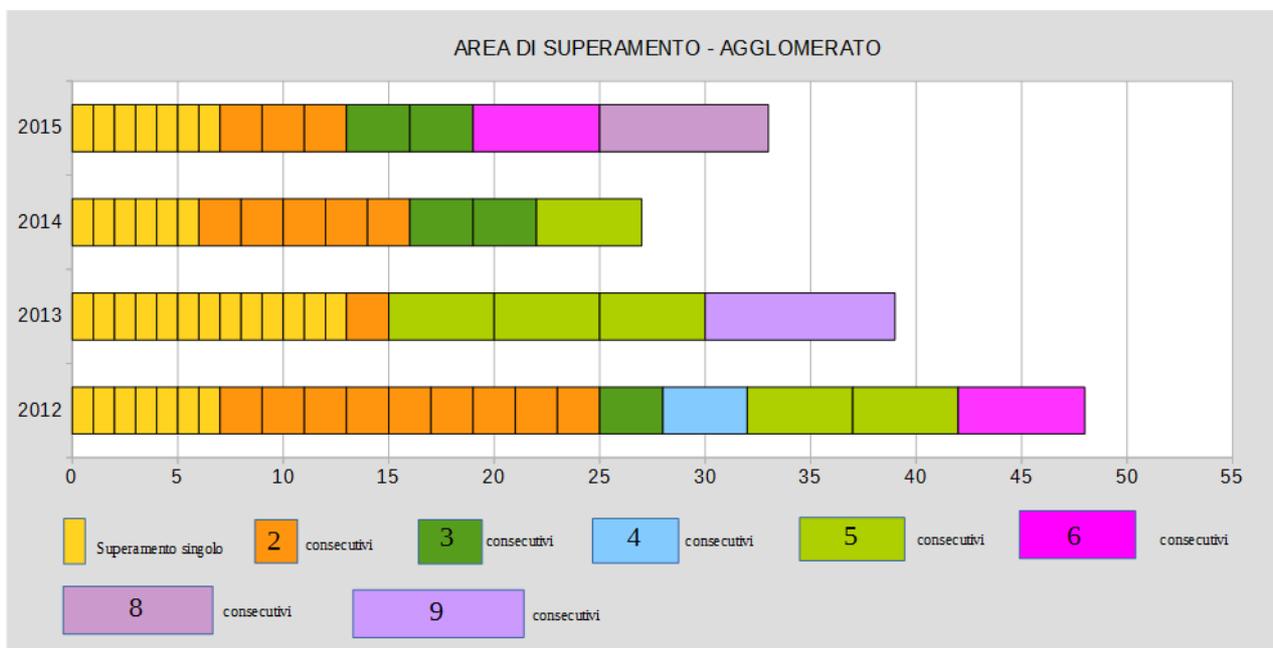


Grafico 9: Area di superamento Agglomerato di Firenze
stazioni di riferimento: FI-Boboli, FI-Bassi, FI-Scandicci, FI-Signa - 2012-2015.

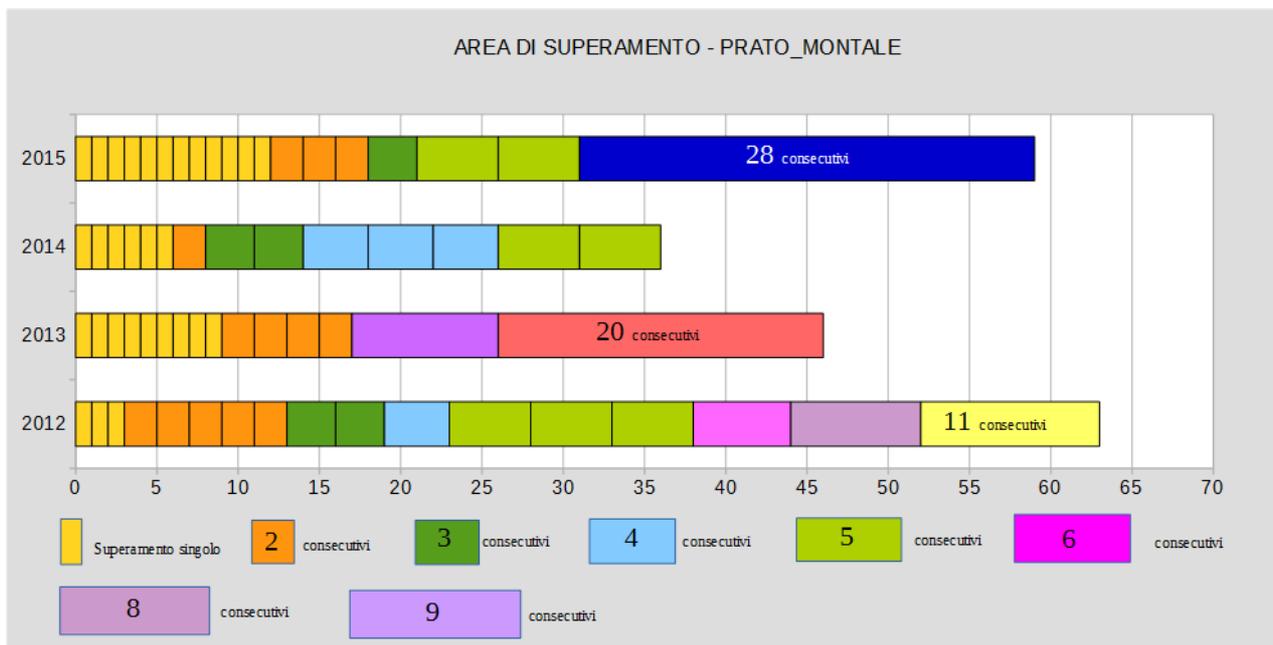


Grafico 10: Area di superamento Piana Prato-Pistoia stazioni di riferimento: PO-Roma, PT-Montale – 2012-2015.

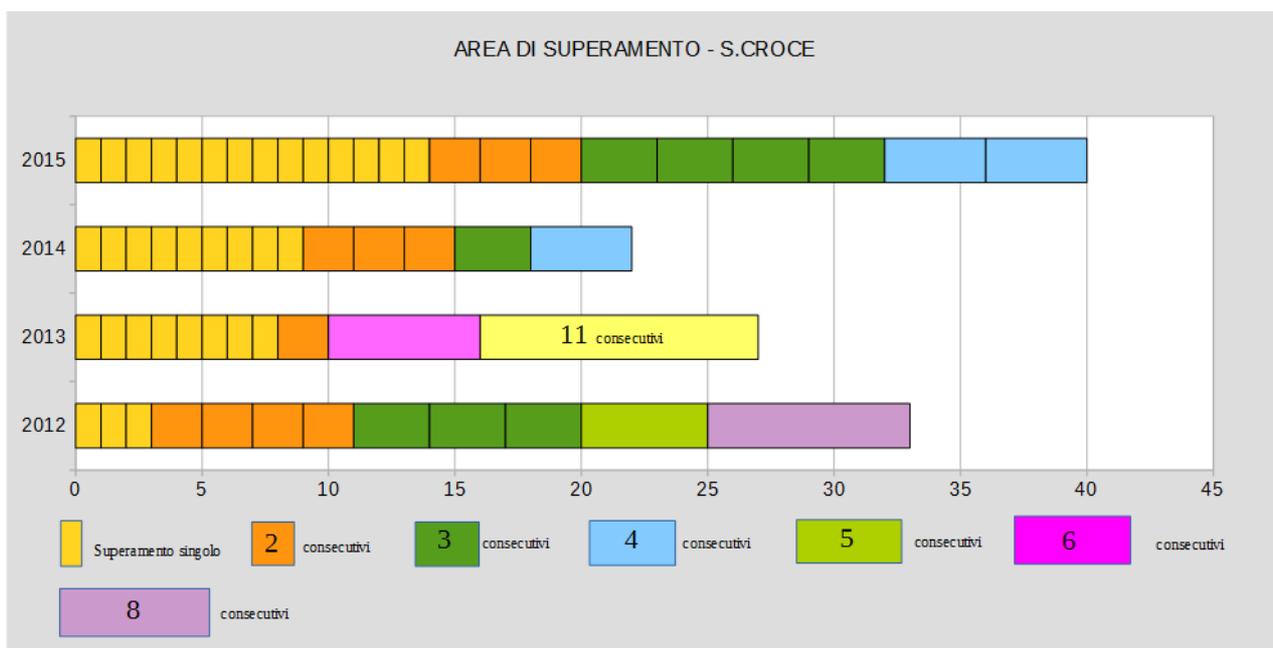


Grafico 11: Area di superamento Comprensorio del cuoio stazione di riferimento: di PI-S.Croce – 2012-2015.

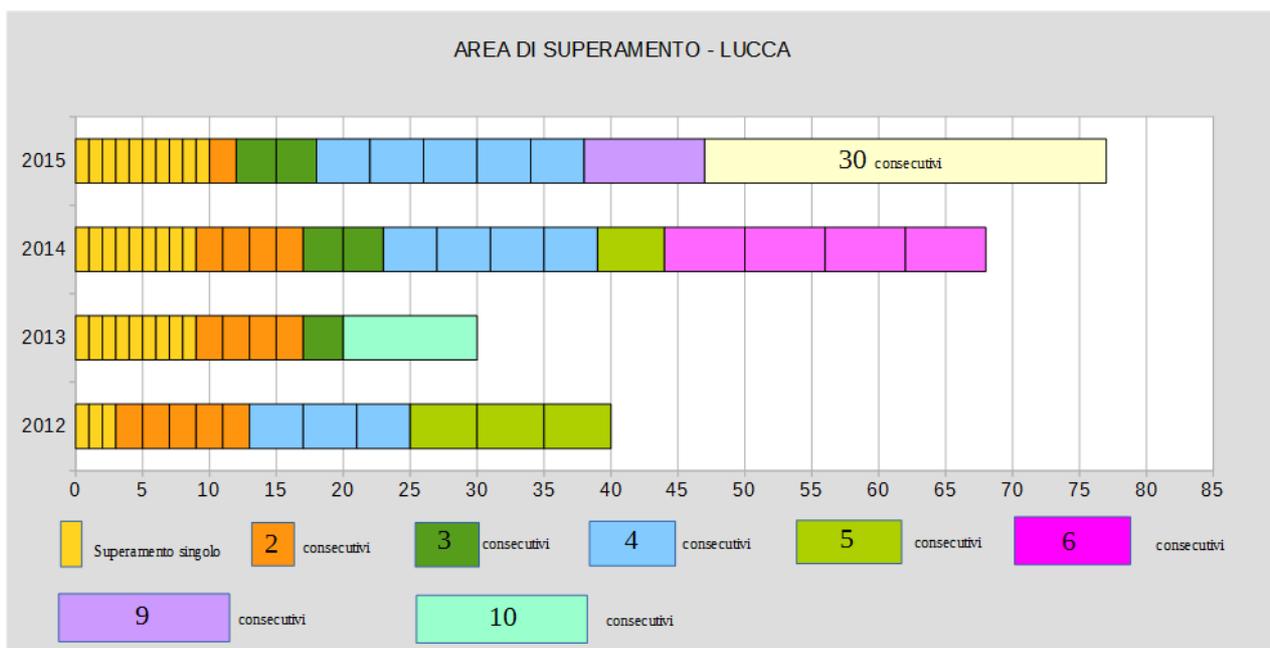


Grafico 12: Area di superamento Piana lucchese
stazione di riferimento: LU-S.Concordio, LU-Capannori - 2012-2015.

Come già sottolineato, lo scopo degli interventi contingibili è primariamente quello di ridurre l'intensità e la durata degli "episodi acuti", concorrendo in tal modo anche a contenere il numero di superamenti annuali del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quindi a perseguire il rispetto dello standard fissato dal D.Lgs. 155/2010. Perciò la loro attivazione deve dipendere dal ripetersi degli "episodi acuti" piuttosto che da un contatore incrementale su base annua.

Si deve a questo proposito rilevare che l'attivazione delle misure di emergenza eventualmente disposta dopo 7 giorni consecutivi di superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in diverse stazioni in cui lo standard risulta superato, non porterebbe ad alcuna attivazione nell'anno. Inoltre, rispetto alle modalità di gestione degli "episodi acuti" stabilite dalla D.G.R. 22/2011, il numero di comunicazioni ai fini dell'adozione degli interventi risulterebbe apparentemente ridotto. Effettuare un confronto tra i due meccanismi di attivazione (ai sensi della D.G.R. 22/2011 e dopo 7 giorni consecutivi) non è immediato a causa della non completa coerenza dei dati relativi ai due meccanismi. Infatti le aree di superamento e le stazioni di riferimento sono state modificate con la D.G.R. 964/2015. Inoltre i dati disponibili presso ARPAT sono relativi alle comunicazioni effettuate e non ai provvedimenti effettivamente adottati dai Comuni; in altre parole essendo le comunicazioni effettuate, come dovuto, ogni giorno feriale (a partire dal 15° superamento) successivo ad "episodi acuti" anche consecutivi, esse non corrispondono necessariamente al numero di provvedimenti

adottati.

Per tutti i motivi sopra illustrati l'intervento dopo 7 "episodi acuti" consecutivi non è sembrato appropriato per le situazioni che si possono verificare nella realtà della Toscana. In pratica una tale modalità di intervento, applicata ai dati dell'ultimo quinquennio, produrrebbe un numero cospicuo di mancate attivazioni in caso di stazioni che superano lo standard annuale ed un numero significativo di attivazioni tardive caratterizzate da misure di emergenza attive successivamente al rientro delle concentrazioni entro la soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'attivazione dopo 7 giorni funziona invece molto bene per quei casi, che pure si sono verificati in Toscana, in cui i giorni di superamento consecutivi sono superiori a 10; va tuttavia considerato che queste situazioni sono quelle in cui più facilmente si identifica la necessità di intervento e che qualsiasi meccanismo di attivazione ipotizzabile è in grado di classificarle come condizioni critiche.

Una possibile interpretazione alternativa delle indicazioni del Protocollo d'intesa del 30 dicembre 2015 è quella di considerare i reiterati superamenti in senso più ampio rispetto al termine consecutivi, ovvero come superamenti ripetuti, ma non necessariamente consecutivi, in un lasso di tempo limitato.

Considerando ad esempio una finestra temporale mobile sui 7 giorni precedenti, si può ipotizzare di attivare gli interventi di emergenza se i giorni di superamento all'interno della finestra superano un certa soglia.

Sono state a tale proposito effettuate valutazioni sui dati storici, relative agli interventi che sarebbe stato necessario attivare, negli anni 2012-2015, ipotizzando una soglia di 5 superamenti ed una soglia di 4 superamenti nell'ambito di una finestra mobile di 7 giorni.

In Figura 1 è riportato un calendario del periodo di riferimento (inverno 2014-2015) in cui le caselle riportate in rosso rappresentano i giorni di superamento mentre le x rappresentano i giorni in cui sussiste la condizione di criticità ipotizzata (in questo caso 4 giorni di superamento nei precedenti 7). Le tabelle sono suddivise per area di superamento ed in ciascuna area sono riportate tutte le stazioni di riferimento indicate nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015. Per l'Agglomerato di Firenze sono state riportate tutte le stazioni, per verificare come cambierebbe la valutazione includendo anche le stazioni di traffico; se ne conclude che il risultato non cambierebbe in maniera significativa.

Osservando in generale il quadro rappresentato dal calendario del semestre

ottobre 2014-marzo 2015 si può immediatamente notare che in termini di continuità i superamenti dei mesi di ottobre e marzo non sono mai tali da dare luogo ad interventi nelle ipotesi fatte.

Per quanto riguarda il quadrimestre novembre-febbraio si osservano prevalentemente periodi discontinui di superamento con gruppi di "episodi acuti" inferiori a 7 consecutivi, ma distribuiti ad intermittenza su periodi abbastanza lunghi. Il criterio dei 4 superamenti nell'ambito della finestra mobile di 7 giorni consente di riconoscere, anche se con un certo ritardo, questi periodi di criticità. Va tuttavia sottolineato che anche in questo modo potrebbero verificarsi attivazioni tardive (addirittura dopo la fine dell'evento) e che l'introduzione della previsione meteorologica è l'unico strumento che può essere determinante al fine di evitare tale eventualità.

Altri elaborati, nella forma della Figura 1, sono stati realizzati per tutti i periodi di riferimento ed anche nell'ipotesi di considerare 5 superamenti nell'ambito della finestra mobile di 7 giorni (Appendice 1).

3. Individuazione di indici meteo per la previsione delle condizioni critiche per l'inquinamento atmosferico da PM10

Sono state prese in esame alcune delle variabili meteorologiche che influenzano in modo significativo la concentrazione degli inquinanti atmosferici per valutare la possibilità di utilizzarle, in modalità previsionale, onde ottenere indicazioni relative all'instaurarsi o meno di condizioni critiche per il superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione giornaliera di PM10, con il quale si individuano gli "episodi acuti".

Le variabili considerate sono la velocità del vento, la precipitazione, l'altezza dello strato di rimescolamento (Hmix): precedenti studi hanno mostrato l'influenza di questi parametri sui livelli di concentrazione del PM10 [cap.3,1], [cap.3,2], [cap.3,3], [cap.3,4].

In questo capitolo sono state analizzate queste variabili previste con modelli matematici, per il periodo che va da ottobre 2015 a marzo 2016: in particolare sono stati analizzati i campi di vento e di precipitazione previsti dal modello globale operativo presso ECMWF²⁶, nonché i campi di vento, precipitazione e Hmix stimati dalla catena di modelli ad alta risoluzione WRF-CALMET (1 km) operativa presso il Consorzio LaMMA.

Per valutare l'attendibilità dei parametri meteorologici previsti, sono stati presi in considerazione i dati osservati in alcune stazioni meteorologiche presenti sul territorio della Toscana. Successivamente le stime previsionali sono state confrontate con i livelli di concentrazione di PM10 rilevati nelle stazioni di monitoraggio della Rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria, in particolare in quelle rappresentative delle "aree di superamento" individuate nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015. In ultimo viene proposto un algoritmo per determinare un indice di criticità per il PM10, basato sulle variabili meteorologiche previste.

26 Si veda il sito internet dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF): <http://www.ecmwf.int/en/forecasts>.

3.1 Confronto previsioni-osservazioni meteo

Le stazioni meteorologiche prese in esame sono quelle del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare²⁷ e del Settore Idrologico Regionale²⁸, con dati disponibili nel periodo ottobre 2015-marzo 2016: si tratta di 9 stazioni, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.

STAZIONI METEOROLOGICHE							
ID STAZIONE	NOME STAZIONE	LATITUDINE	LONGITUDINE	QUOTA s.l.m.	ENTE	pluviometro	anemometro
2395	FIRENZE LAMMA (FI)	43.819	11.202	40	LAMMA	SI	SI
1530	FIRENZE PERETOLA (FI)	43.809	11.203	40	AM	NO	SI
778	LA FERRUCCIA (PT)	43.880	10.997	45	SIR	SI	SI
524	SAN MINIATO (PI)	43.678	10.892	121	SIR	SI	SI
92	LUCCA (LU)	43.840	10.512	20	SIR	SI	NO
3600	CASA ROTA (FI)	43.584	11.542	176	SIR	SI	SI
373	CHIENTI (LU)	44.006	10.563	111	SIR	SI	NO
1066	VIAREGGIO (LU)	43.865	10.257	0	SIR	SI	NO
1527	PISA SAN GIUSTO (PI)	43.683	10.396	2	AM	NO	SI

Tabella 1: elenco delle stazioni meteorologiche utilizzate.

In corrispondenza di queste stazioni sono stati estratti i valori di velocità del vento e di precipitazione dal modello globale ECMWF e dalla catena di modelli ad alta risoluzione WRF-CALMET, da cui è stata estratta anche la variabile Hmix.

Per effettuare il confronto tra i dati osservati e le stime previsionali, i valori di velocità del vento e di Hmix sono stati mediati su base giornaliera, mentre i valori di precipitazione sono stati cumulati su base giornaliera. Il confronto con le stime previsionali si limita alla previsione relativa a 24 ore (day 1).

Di seguito sono riportati i grafici relativi alla media giornaliera della velocità del vento per ciascuna stazione (Figure 1-7): i dati osservati sono indicati dalla linea rossa, le stime ottenute dalla catena WRF-CALMET in blu, dal modello ECMWF in verde.

Si può notare in tutte le stazioni un ottimo accordo tra i dati osservati e le stime CALMET, sia come andamento temporale che come valori quantitativi. L'accordo è meno buono per le stime ECMWF. I risultati sono in linea con quanto atteso: infatti la stima di vento dipende fortemente dall'orografia e la catena di modelli ad alta risoluzione (1 km) è in grado di fornire risultati adeguati, nettamente migliori rispetto ai risultati ottenuti ad una risoluzione più bassa (ECMWF: 0.25 gradi, circa 25 km di risoluzione).

27 Si veda il sito internet del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare: <http://clima.meteoam.it/RicercaDati.php>.

28 Si veda il sito internet del Settore Idrologico Regionale della Regione Toscana: <http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>.

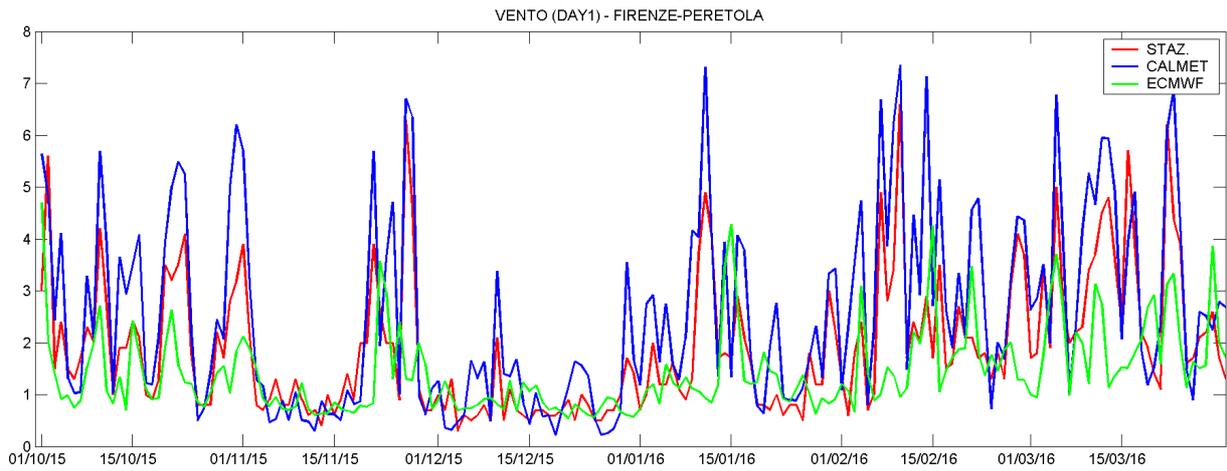


Figura 1: media giornaliera della velocità del vento, stazione FI-Peretola (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

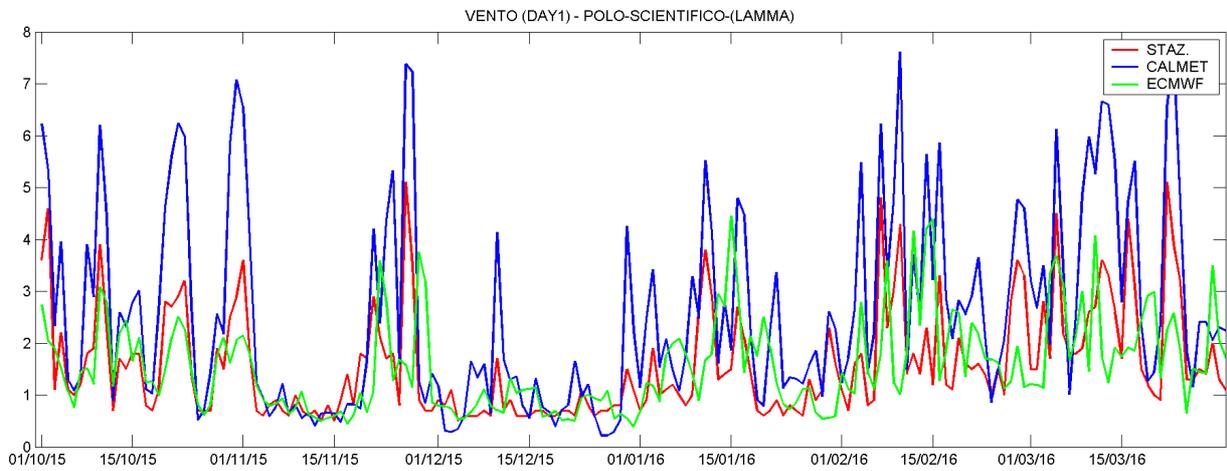


Figura 2: media giornaliera della velocità del vento, stazione FI-LaMMA (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

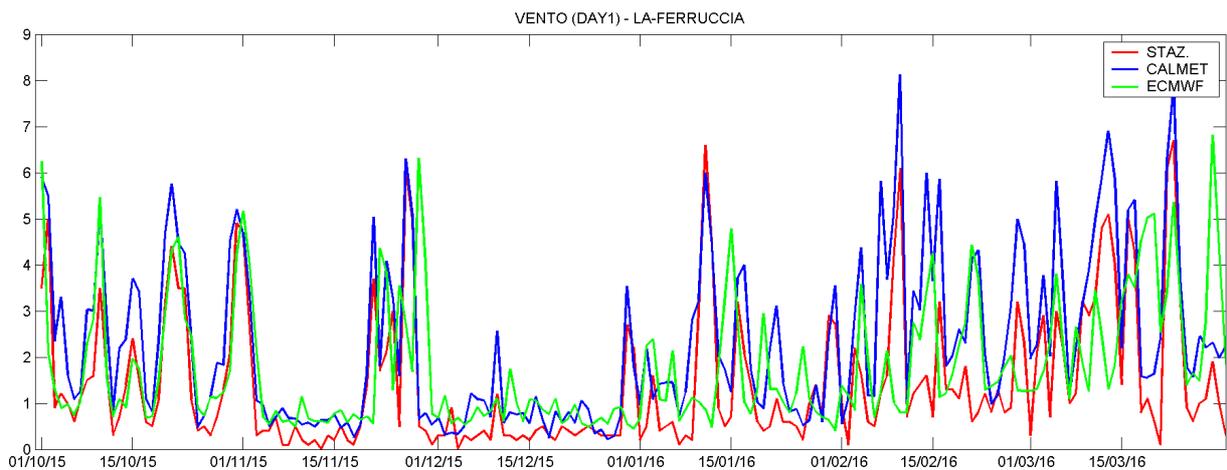


Figura 3: media giornaliera della velocità del vento, stazione PT-La Ferruccia (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

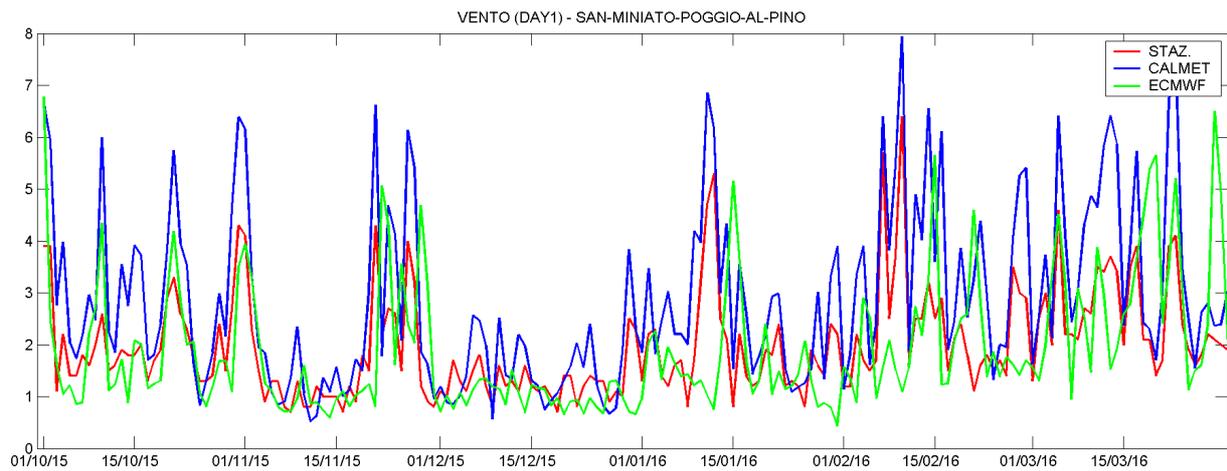


Figura 4: media giornaliera della velocità del vento, stazione PI-San Miniato (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

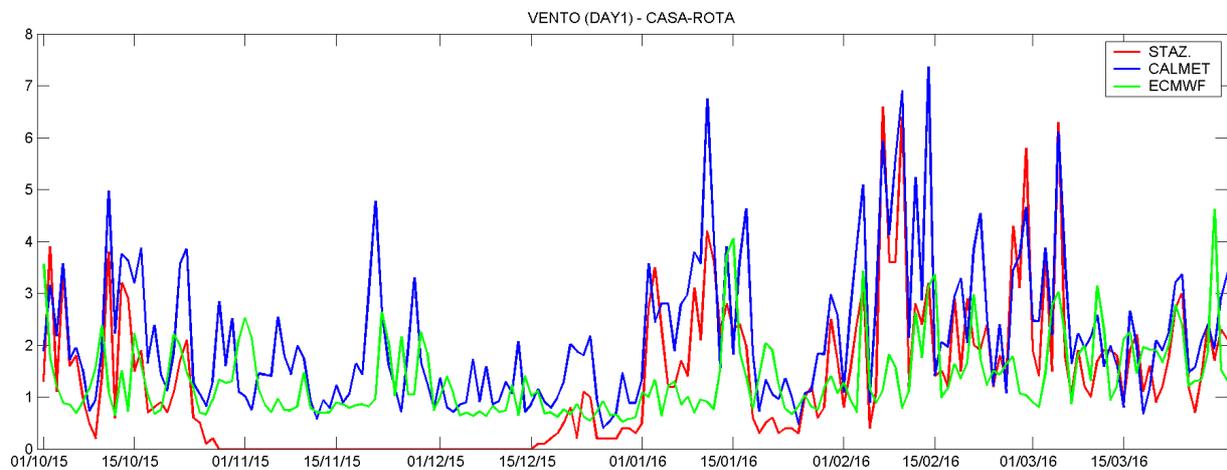


Figura 5: media giornaliera della velocità del vento, stazione AR-Casarota (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

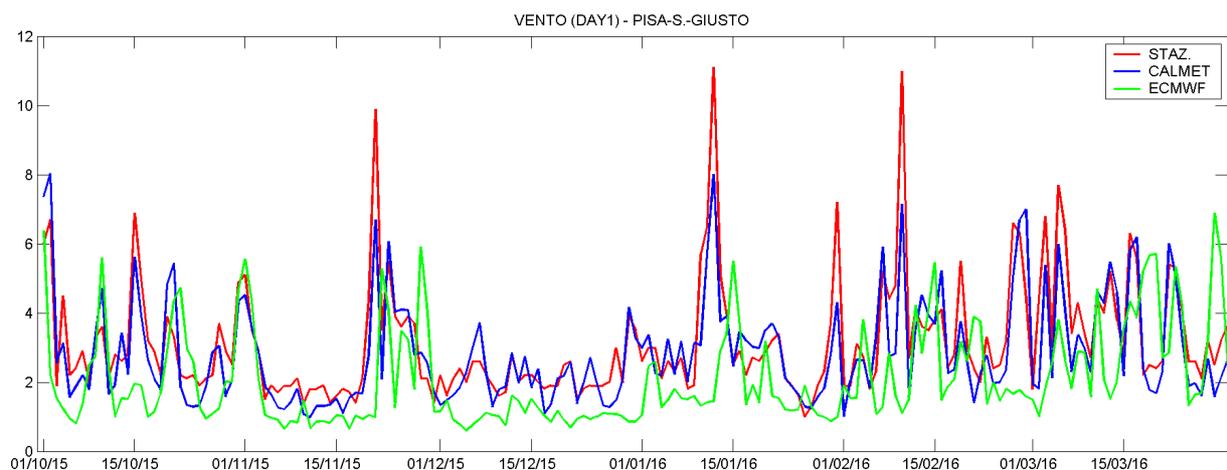


Figura 6: media giornaliera della velocità del vento, stazione PI-San Giusto (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

In Tabella 2 sono riportati alcuni indicatori statistici per la variabile velocità del vento (media giornaliera), ottenuti dai dati osservati e dalle stime modellistiche WRF-CALMET e ECMWF. Anche da questi valori emerge che i risultati migliori si hanno considerando le stime WRF-CALMET: in particolare i valori del coefficiente di correlazione sono molto alti, in genere superiori a 0.8 per le stime relative alla catena ad alta risoluzione, decisamente inferiori per le stime ECMWF.

Velocità del Vento											
NOME_STAZ	MEDIA STAZIONE	MEDIA CALMET	MEDIA ECMWF	BIAS CALMET	BIAS ECMWF	CORR CALMET	CORR ECMWF	RMSE CALMET	RMSE ECMWF	STD CALMET	STD ECMWF
BRENZE LAMMA IPII	1.60	2.59	1.57	0.99	-0.03	0.89	0.37	1.47	1.10	1.62	0.98
BRENZE-BERETO IA	1.92	2.55	1.44	0.63	-0.48	0.87	0.38	1.14	1.35	1.63	1.13
LA FERRUCCIA IPTI	1.46	2.32	1.79	0.87	0.34	0.88	0.35	1.22	1.69	1.72	1.46
SAN MINIATO IPII	1.98	2.96	1.91	0.87	-0.07	0.90	0.32	1.26	1.35	1.46	1.15
CASA BOTA IRI	1.25	2.17	1.35	0.92	0.10	0.80	0.29	1.26	1.34	1.42	1.09
PISA-S.GIUSTO	3.16	2.87	2.10	-0.30	-1.07	0.85	0.21	0.94	2.22	1.61	1.64

Tabella 2: indicatori statistici della velocità del vento (media giornaliera), nel periodo ottobre 2015-marzo 2016, per ciascuna stazione.

Precipitazione											
NOME_STAZ	MEDIA STAZIONE	MEDIA CALMET	MEDIA ECMWF	BIAS CALMET	BIAS ECMWF	CORR CALMET	CORR ECMWF	RMSE CALMET	RMSE ECMWF	STD CALMET	STD ECMWF
BRENZE LAMMA IPII	3.37	3.25	4.71	-0.12	1.34	0.39	0.66	7.36	6.10	6.68	7.23
LA FERRUCCIA IPTI	4.78	2.75	4.79	-2.03	0.01	0.51	0.75	8.65	6.45	7.90	8.82
SAN MINIATO IPII	3.82	2.96	3.81	-0.96	-0.01	0.63	0.73	6.12	5.80	6.82	7.25
LUCCA ILUI	6.08	3.10	6.13	-2.98	0.05	0.67	0.85	11.67	9.08	11.92	12.81
CASA BOTA IRI	3.68	2.87	4.09	-0.81	0.41	0.52	0.61	6.61	6.05	6.74	6.94
CHIRENTI ILUI	10.52	4.72	7.78	-5.80	-2.74	0.37	0.86	19.07	11.58	15.39	16.06
VIAREGGIO ILUI	4.51	2.18	6.58	-2.33	2.07	0.35	0.80	9.87	6.82	7.92	10.38

Tabella 3: indicatori statistici della pioggia cumulata (su base giornaliera), nel periodo ottobre 2015-marzo 2016, per ciascuna stazione.

Per quanto riguarda le stime relative alla pioggia cumulata su base giornaliera, il confronto con i corrispondenti dati misurati è meno soddisfacente rispetto a quello relativo alle stime di vento. In particolare, gli eventi di pioggia sono individuati correttamente da entrambi i modelli, mentre, in generale, in termini quantitativi si riscontrano sovrastime o sottostime. L'osservazione dei soli grafici (Figure 7-13) non è sufficiente per valutare quale dei due modelli fornisca risultati migliori; gli indicatori statistici, in particolare il coefficiente di correlazione, mostrano valori migliori per le stime ECMWF rispetto a WRF-CALMET (Tabella 3).

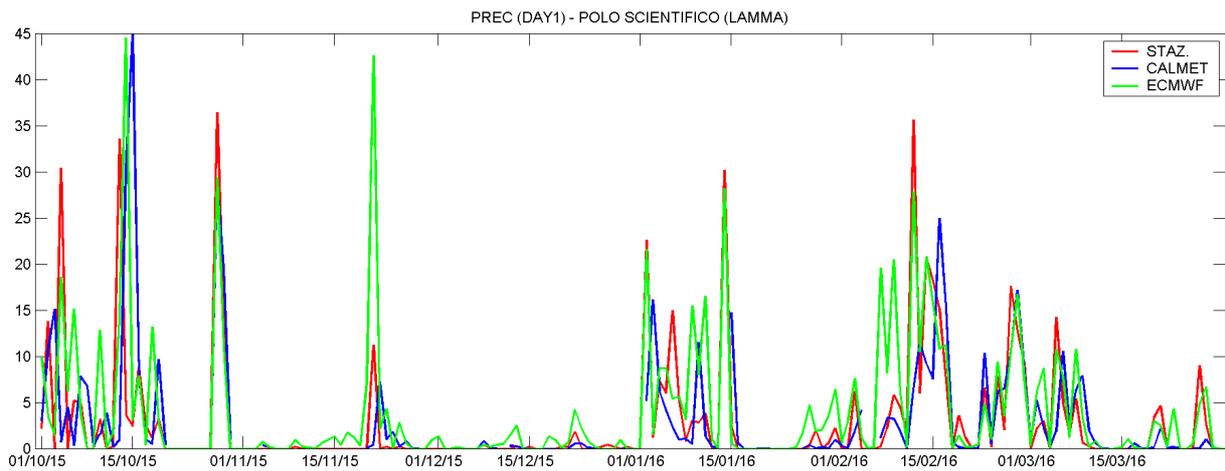


Figura 7: precipitazione cumulata giornaliera, stazione FI-LaMMA (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

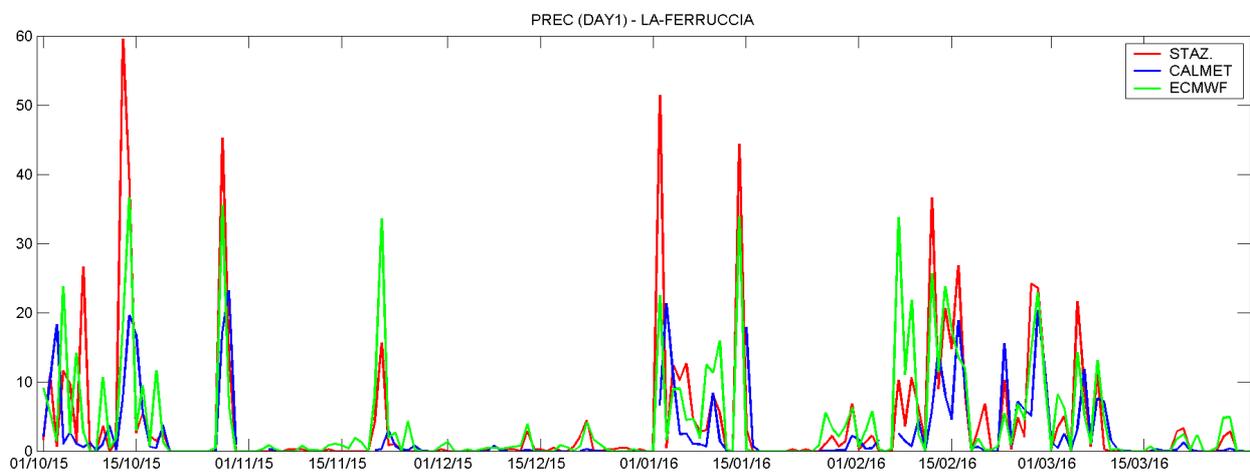


Figura 8: precipitazione cumulata giornaliera, stazione PT-La Ferruccia (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

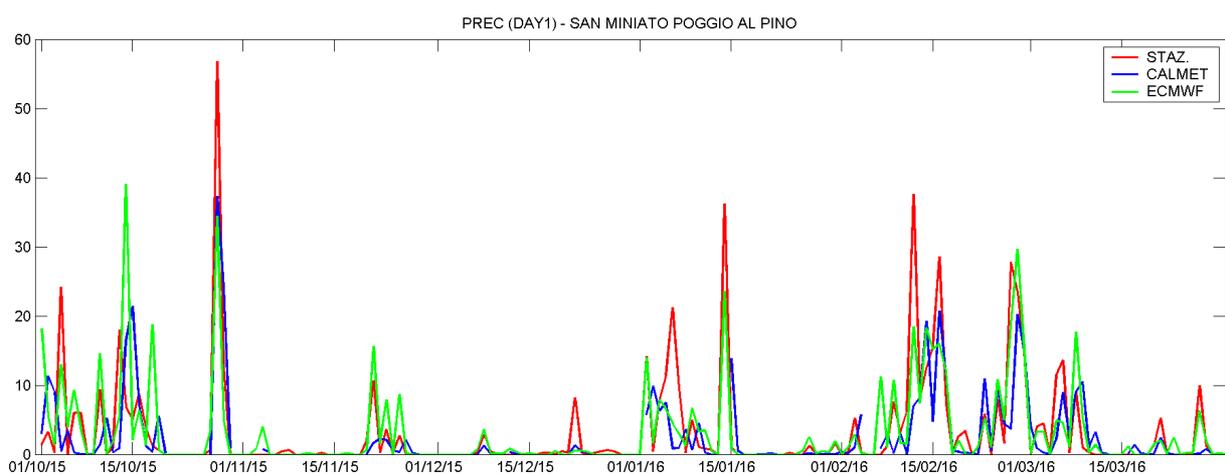


Figura 9: precipitazione cumulata giornaliera, stazione PI-San Miniato (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

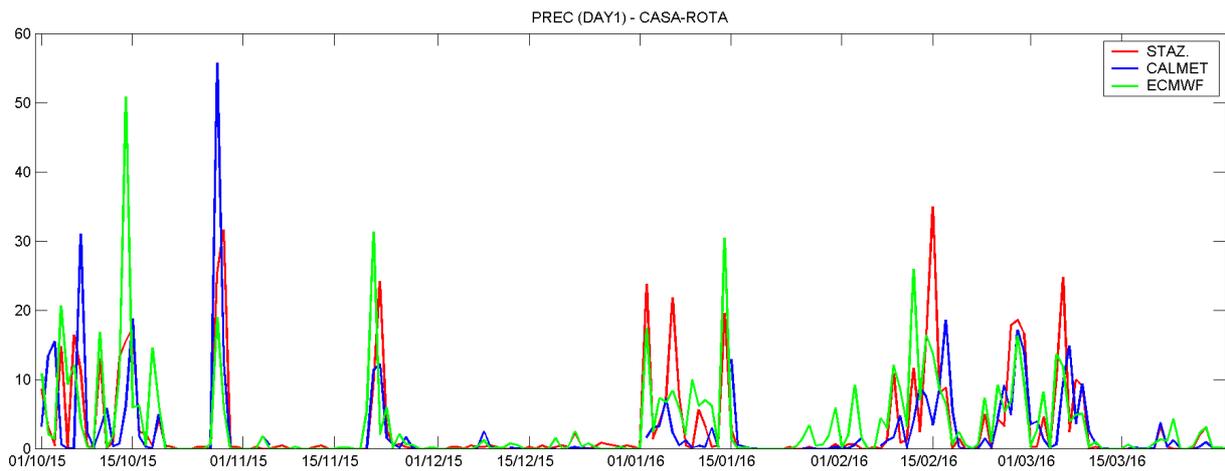


Figura 10: precipitazione cumulata giornaliera, stazione AR-Casarota (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

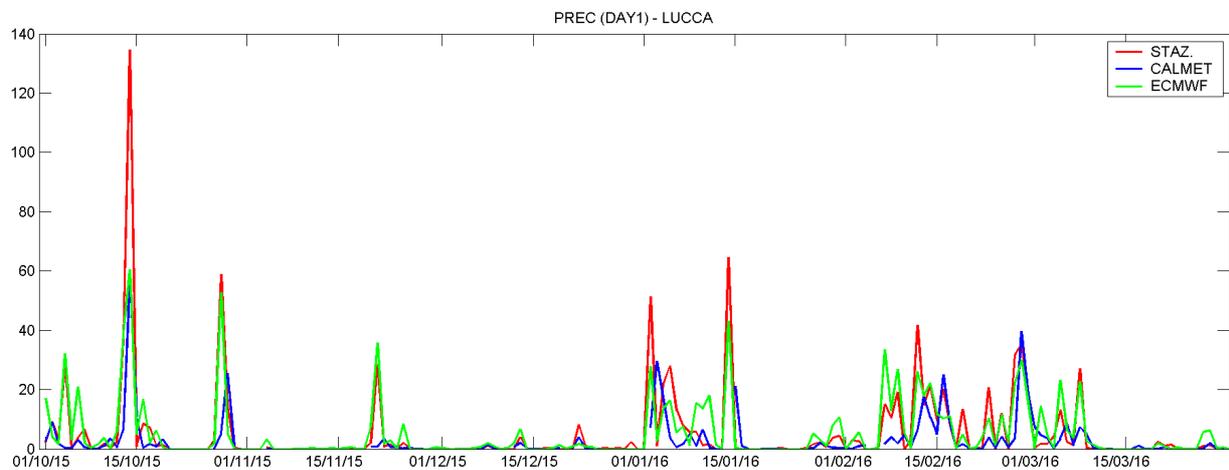


Figura 11: precipitazione cumulata giornaliera, stazione Lucca (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

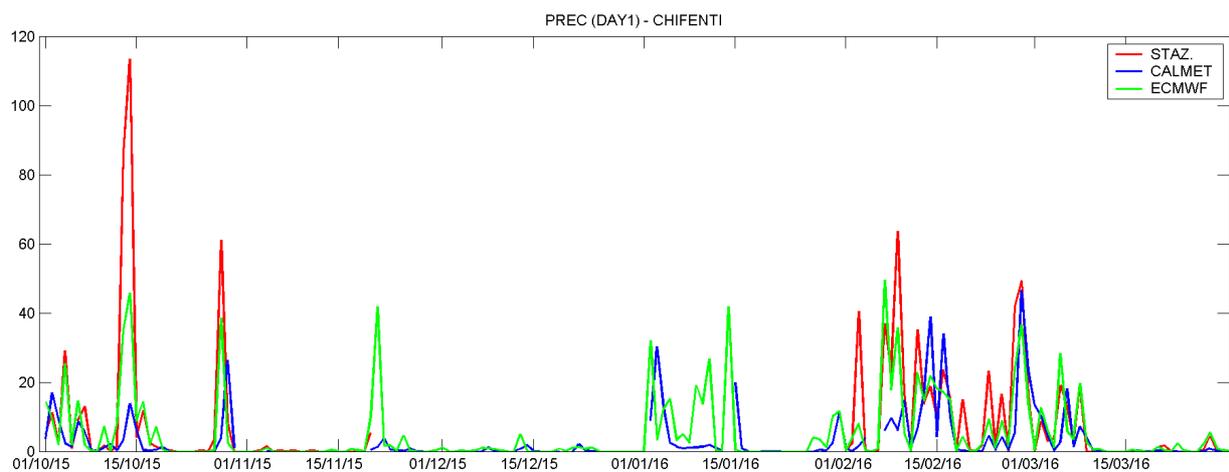


Figura 12: precipitazione cumulata giornaliera, stazione LU-Chifenti (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

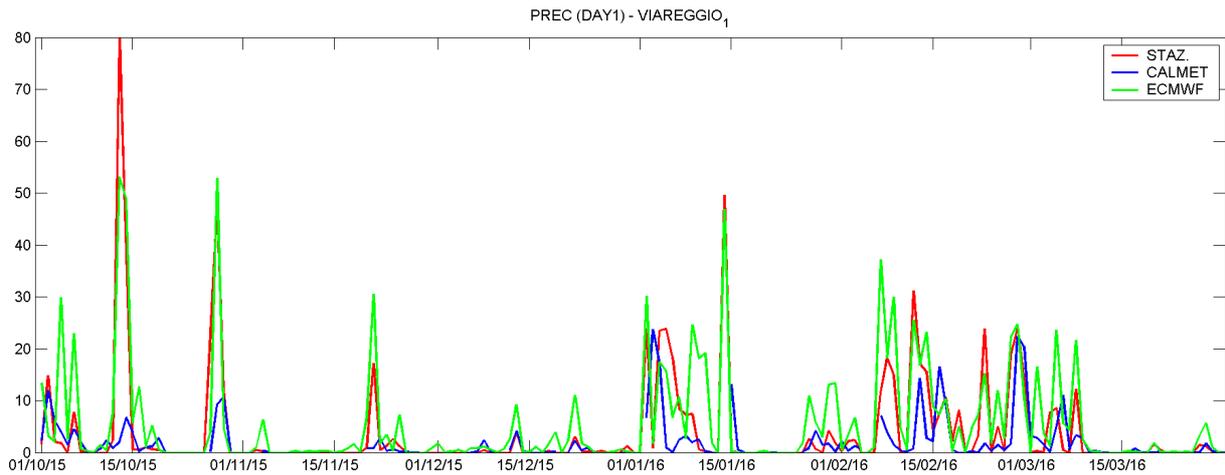


Figura 13: precipitazione cumulata giornaliera, stazione LU-Viareggio (ottobre 2015-marzo 2016): in rosso dati osservati, in blu le stime CALMET, in verde le stime ECMWF.

In ultimo, le stime della media giornaliera di velocità del vento e di Hmix, ottenute dalla catena di modelli WRF-CALMET sono riportate nelle Figure 14-19, per ciascun punto corrispondente alla posizione delle stazioni meteo: in rosso sono riportati i valori di Hmix (asse a sinistra, m), in blu i valori della velocità del vento (asse a destra, m/s).

Correlazione tra Hmix e VV CALMET						
PisaS.Giusto	Peretola	San Miniato	Ferruccia	Casarota	FI-Lamma	LI-Lamma
0.95	0.96	0.95	0.96	0.88	0.97	0.91

Tabella 4: coefficiente di correlazione tra Hmix e velocità del vento (su base giornaliera), nel periodo ottobre 2015–marzo 2016, per ciascuna stazione.

In tutte le stazioni le due variabili sono molto correlate, con valori dell'ordine di 0.90 o superiori (Tabella 4): infatti l'altezza dello strato di rimescolamento risente sia dei fenomeni turbolenti (vento) che dei fenomeni convettivi (flussi di calore).

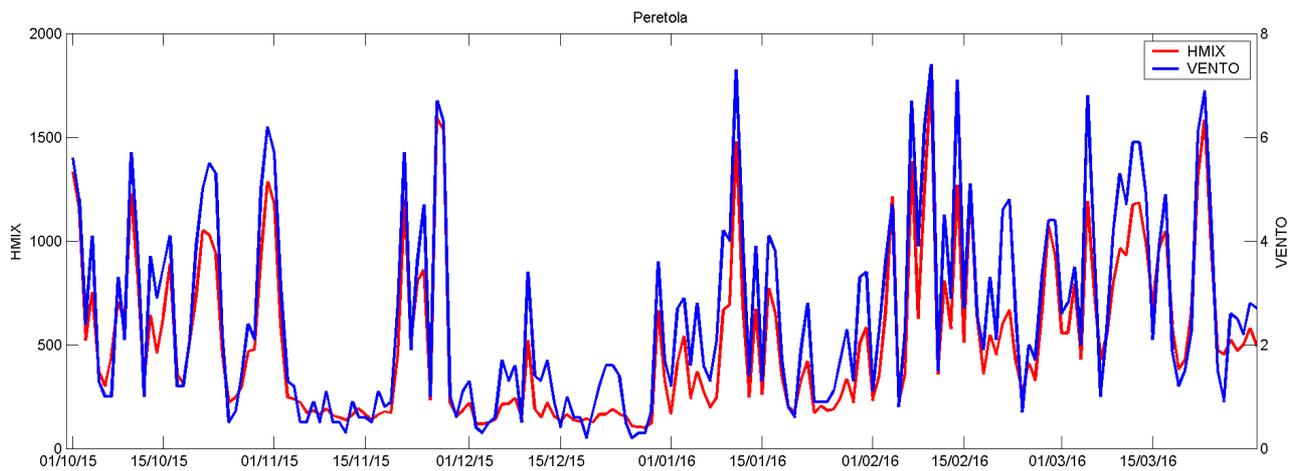


Figura 14: andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione FI-Peretola (ottobre 2015-marzo 2016).

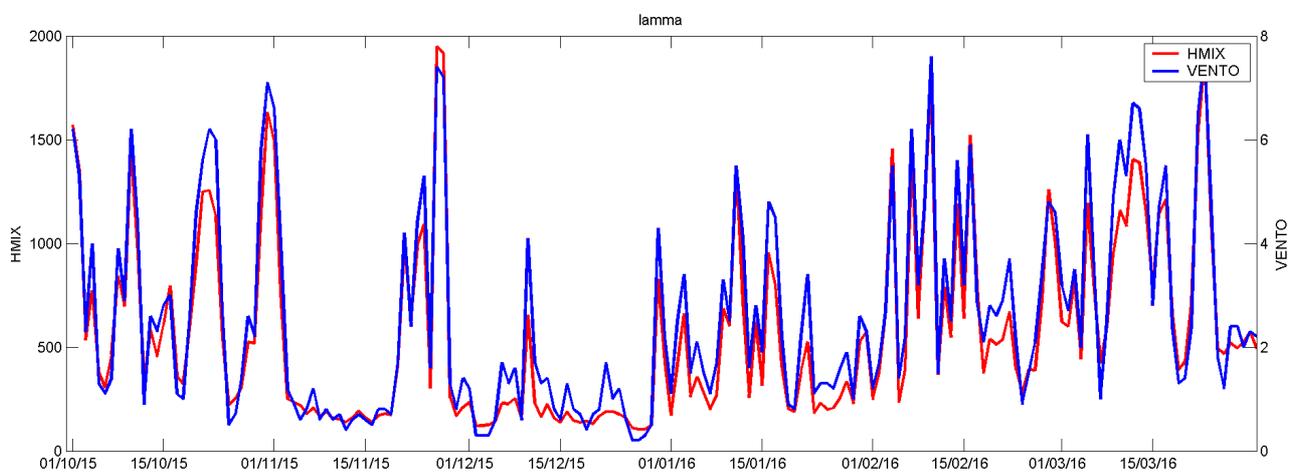


Figura 15: andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione FI-LaMMA (ottobre 2015-marzo 2016).

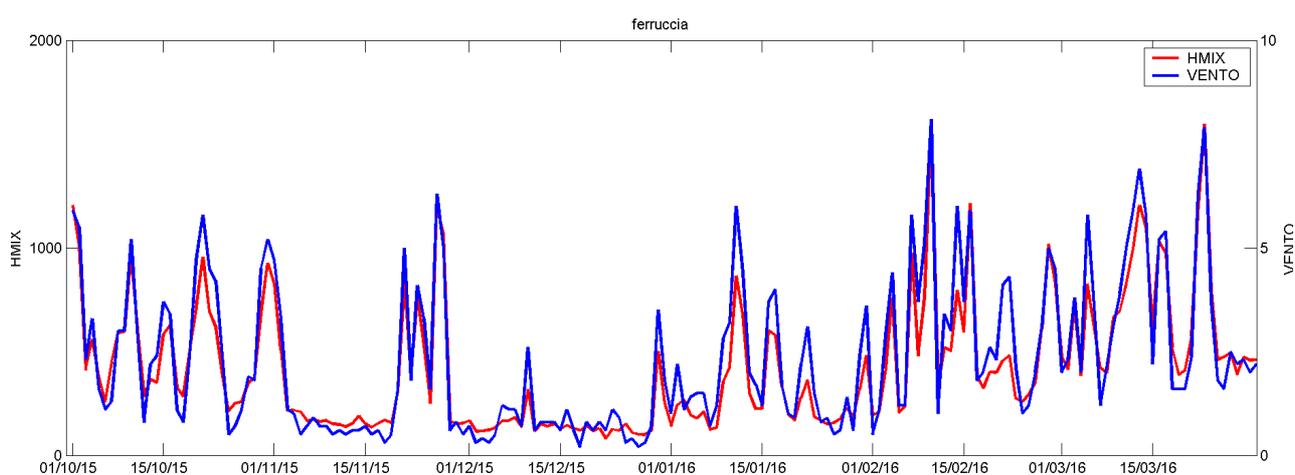


Figura 16: andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione PT-La Ferruccia (ottobre 2015-marzo 2016).

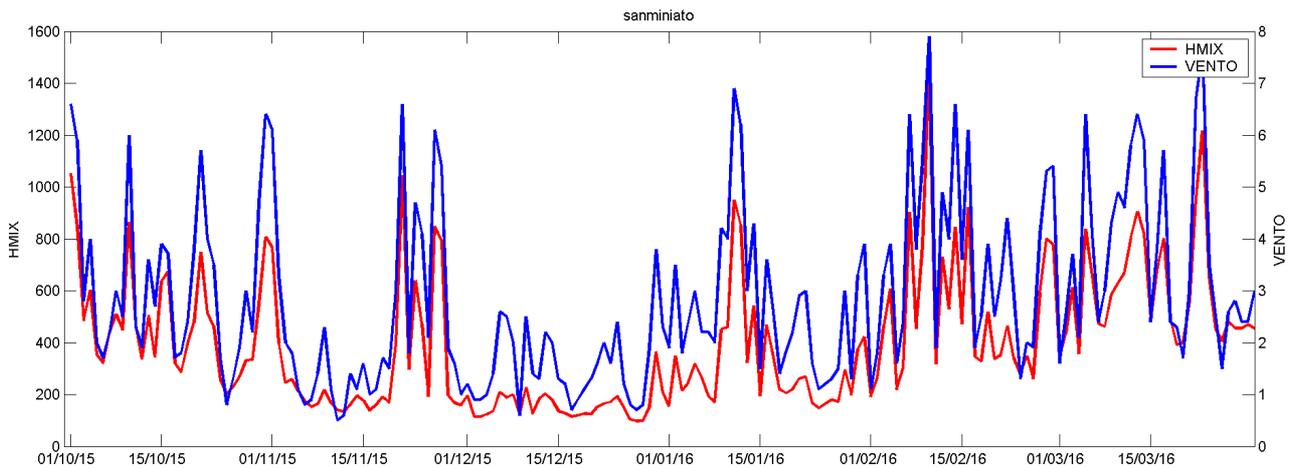


Figura 17: andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione PI-San Miniato (ottobre 2015-marzo 2016).

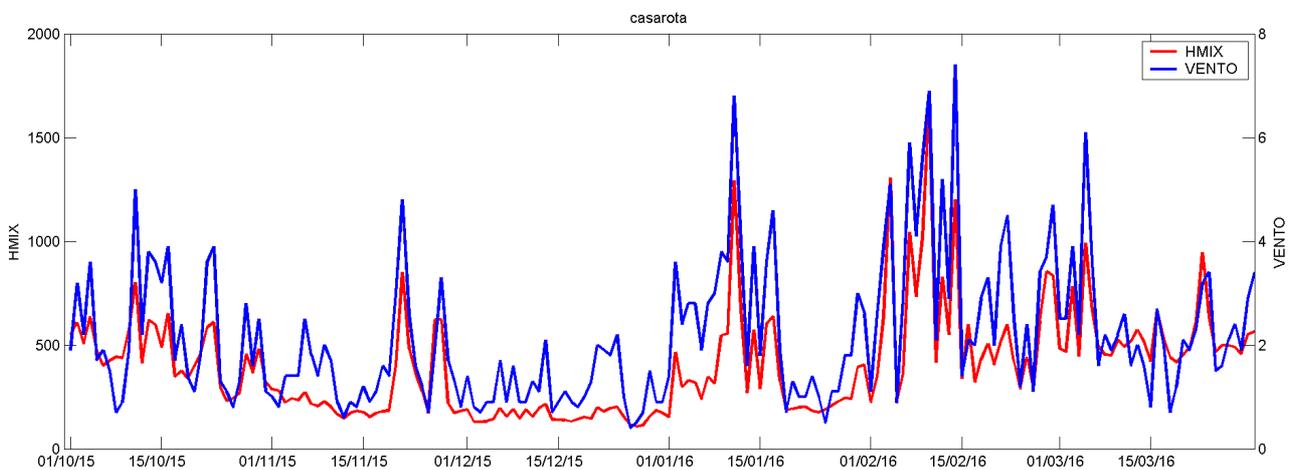


Figura 18: andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione AR-Casarota (ottobre 2015-marzo 2016).

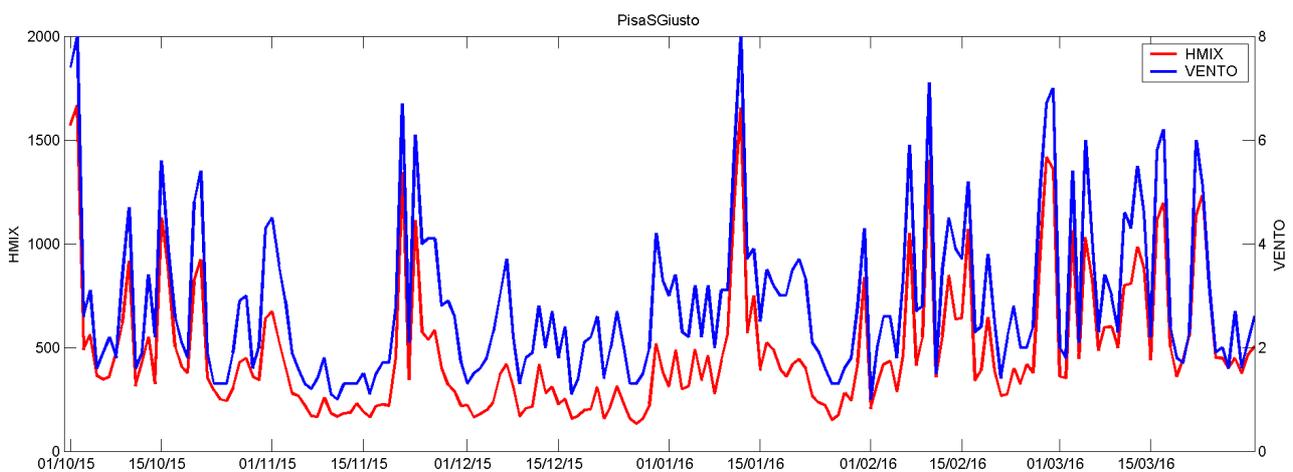


Figura 19. andamento della media giornaliera di Hmix (rosso, asse sinistro, m) e della velocità del vento (blu, asse destro, m/s), stazione PI-San Giusto (ottobre 2015-marzo 2016).

In sintesi, il confronto tra le variabili meteo previste e le osservazioni evidenzia, per quanto riguarda la velocità del vento, che le stime migliori sono fornite dal modello WRF-CALMET ad alta risoluzione, mentre per quanto riguarda la pioggia entrambi i modelli forniscono risultati discreti, per quanto siano migliori quelli forniti da ECMWF. Inoltre, il confronto tra Hmix e velocità del vento stimate da WRF-CALMET mostra come le due variabili siano strettamente correlate: quindi utilizzarle entrambe come indicatori può essere ridondante.

3.2 Confronto tra variabili meteo e concentrazioni di PM10

Il confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM10 e le variabili meteo previste nelle aree di superamento è stato effettuato per il periodo ottobre 2015–marzo 2016. Dal momento che nella fase operativa i valori degli indicatori meteorologici verranno forniti in modalità previsionale per ciascuna delle sette aree, il confronto tra valori delle variabili meteorologiche previste e valori misurati della concentrazione di PM10 è stato effettuato considerando le stime modellistiche estratte in corrispondenza delle stazioni di qualità dell'aria.

Al fine di semplificare l'analisi, per ciascuna area è stata individuata una sola stazione, quella caratterizzata da valori più alti e dal maggior numero di superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considerata rappresentativa: questa scelta è motivata dalla considerazione che i valori dei parametri meteo estratti in corrispondenza delle stazioni di una stessa area non differiscono in modo significativo. Per l'Agglomerato di Firenze è stata scelta la stazione di FI-Signa, per la Piana lucchese la stazione di LU-Capannori, per la Piana Prato-Pistoia la stazione di PT-Montale, mentre per le altre aree le relative stazioni indicate nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015.

Correlazione con PM10					
NOME_STAZ	Hmix	VV CALMET	VV ECMWF	PREC CALMET	PREC ECMWF
FI-SIGNA	-0.62	-0.59	-0.39	-0.26	-0.26
PT-MONTALE	-0.59	-0.59	-0.36	-0.29	-0.36
LU-CAPANNORI	-0.58	-0.45	-0.37	-0.26	-0.31
PI-SANTA-CROCE-COO	-0.59	-0.52	-0.34	-0.32	-0.28
LU-FORNOLI	-0.54	-0.40	-0.38	-0.24	-0.38
LU-VIAREGGIO	-0.43	-0.35	-0.29	-0.35	-0.31
FI-FIGLINE	-0.39	-0.33	-0.27	-0.47	-0.27

Tabella 6: coefficiente di correlazione tra variabili meteo (Hmix, velocità del vento e precipitazione) ottenuti da WRF-CALMET e da ECMWF (ottobre 2015–marzo 2016), per ciascuna stazione di monitoraggio.

Nella Tabella 6 sono riportati i valori del coefficiente di correlazione tra le variabili meteo e le concentrazioni di PM10 nelle stazioni corrispondenti alle sette aree di superamento. I risultati relativi alla stazione di FI-Figline sono stati riportati per completezza, sebbene le misure di concentrazione di PM10 siano disponibili dalla metà del mese di febbraio 2016²⁹.

29 La stazione FI-Figline è stata inserita nella Rete regionale di rilevamento con la D.G.R. 964/2015 (Allegato C).

Si può notare una marcata anticorrelazione tra Hmix e concentrazione di PM10, con valori dell'ordine di -0.60 nelle aree di Firenze, Prato-Pistoia, Capannori, Pisa, dell'ordine di -0.40 ÷ -0.50 negli altri siti. L'anticorrelazione tra velocità del vento stimata da CALMET e concentrazione di PM10 è meno marcata rispetto a quanto riscontrato per la variabile Hmix, ed è ancora inferiore se si considerano le stime di vento ottenute da ECMWF.

I valori del coefficiente di correlazione tra pioggia cumulata ottenuta dai due modelli e concentrazioni di PM10 sono dell'ordine di -0.25 ÷ -0.35 (-0.47 nella stazione FI-Figline); in alcune stazioni sono migliori le stime ottenute da ECMWF, in altri casi quelle da WRF-CALMET. Anche per questi sette siti la correlazione tra Hmix e velocità del vento di WRF-CALMET è molto alta. Nelle Figure 20-27 sono riportati, per ciascuna stazione, gli istogrammi della concentrazione di PM10, confrontati con i valori stimati di Hmix (sopra) e di precipitazione cumulata da WRF-CALMET (sotto), in cui si evidenzia la marcata anticorrelazione tra queste coppie di parametri.

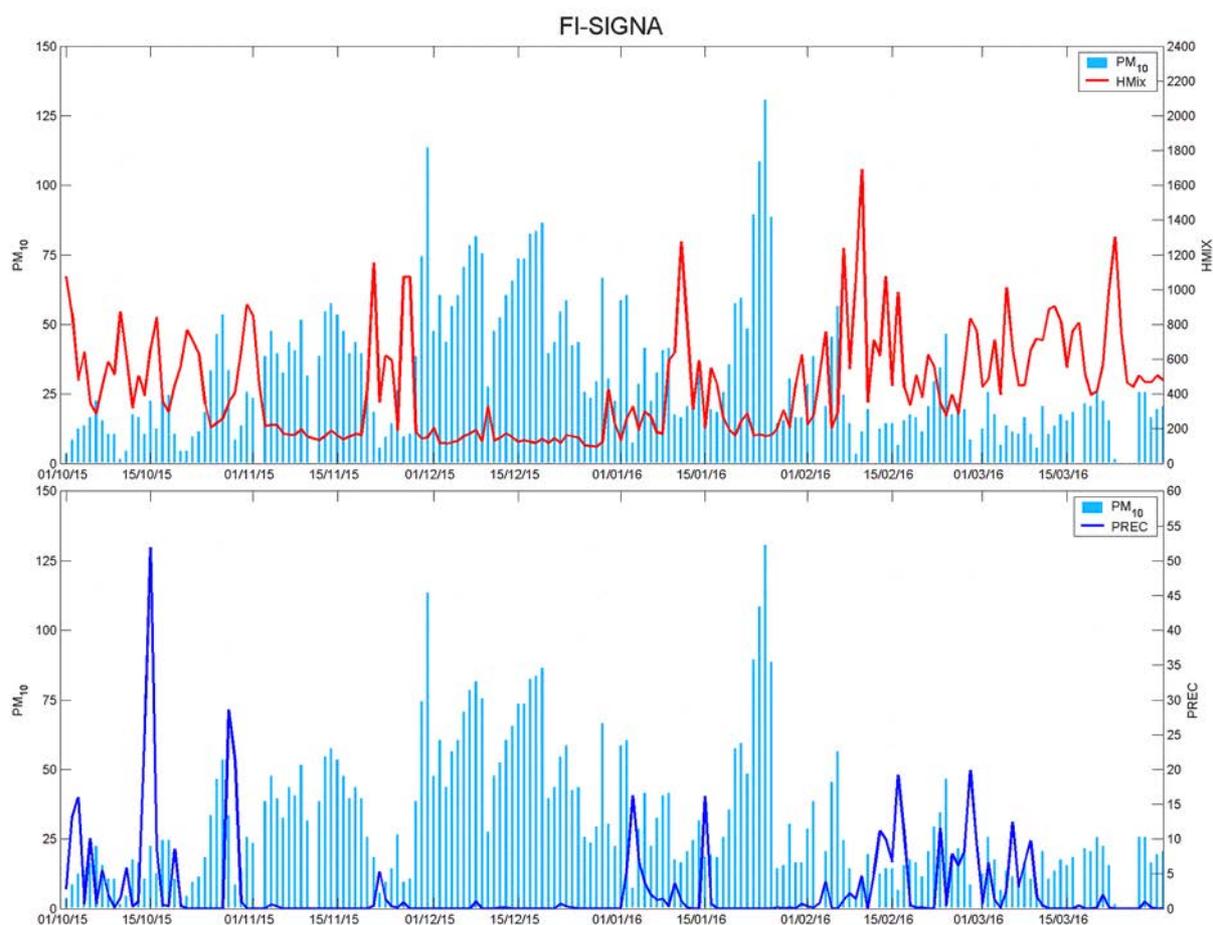


Figura 20: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione FI-Signa (ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

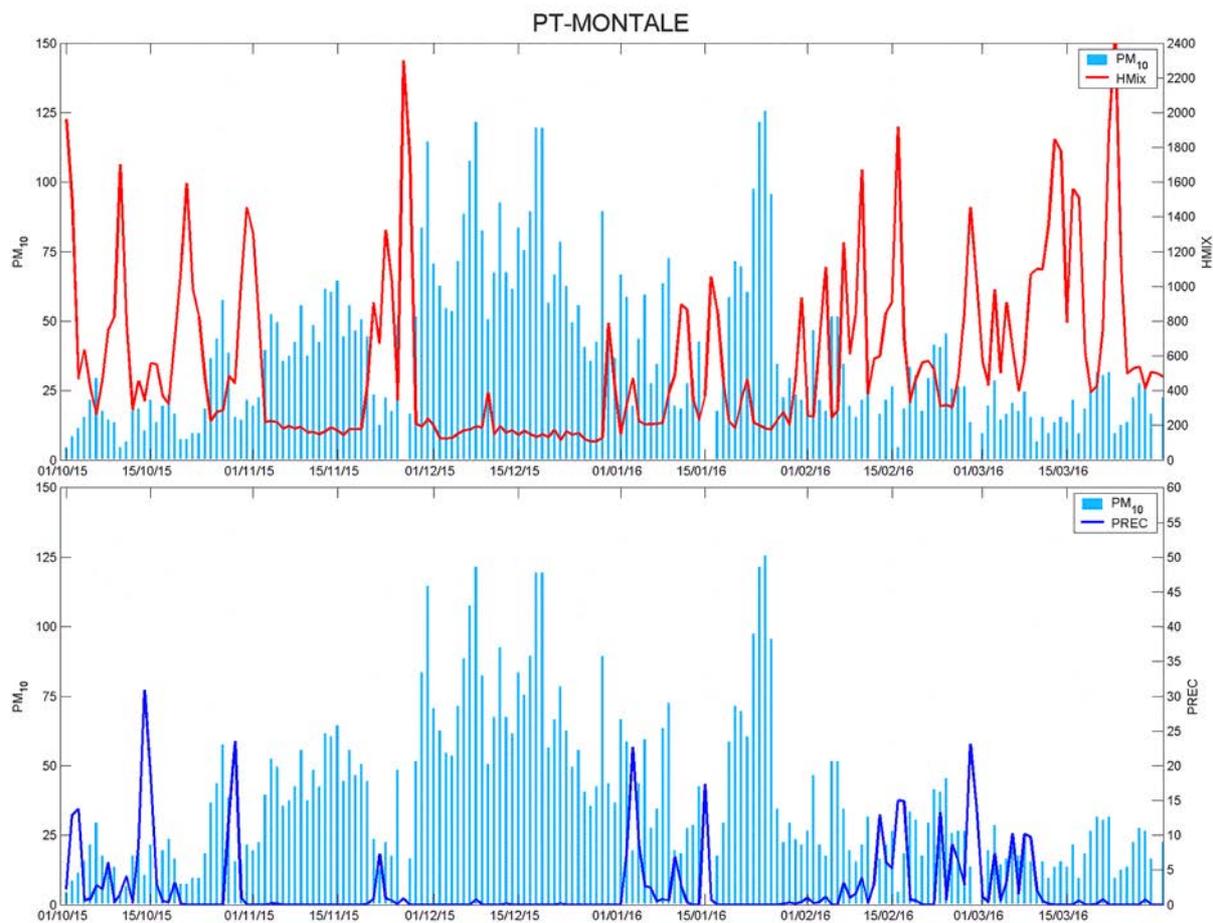


Figura 21: valori di concentrazione giornaliera di PM₁₀ e variabili meteo, stazione PT-Montale (periodo ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM₁₀, assi di sinistra (istogrammi blu).

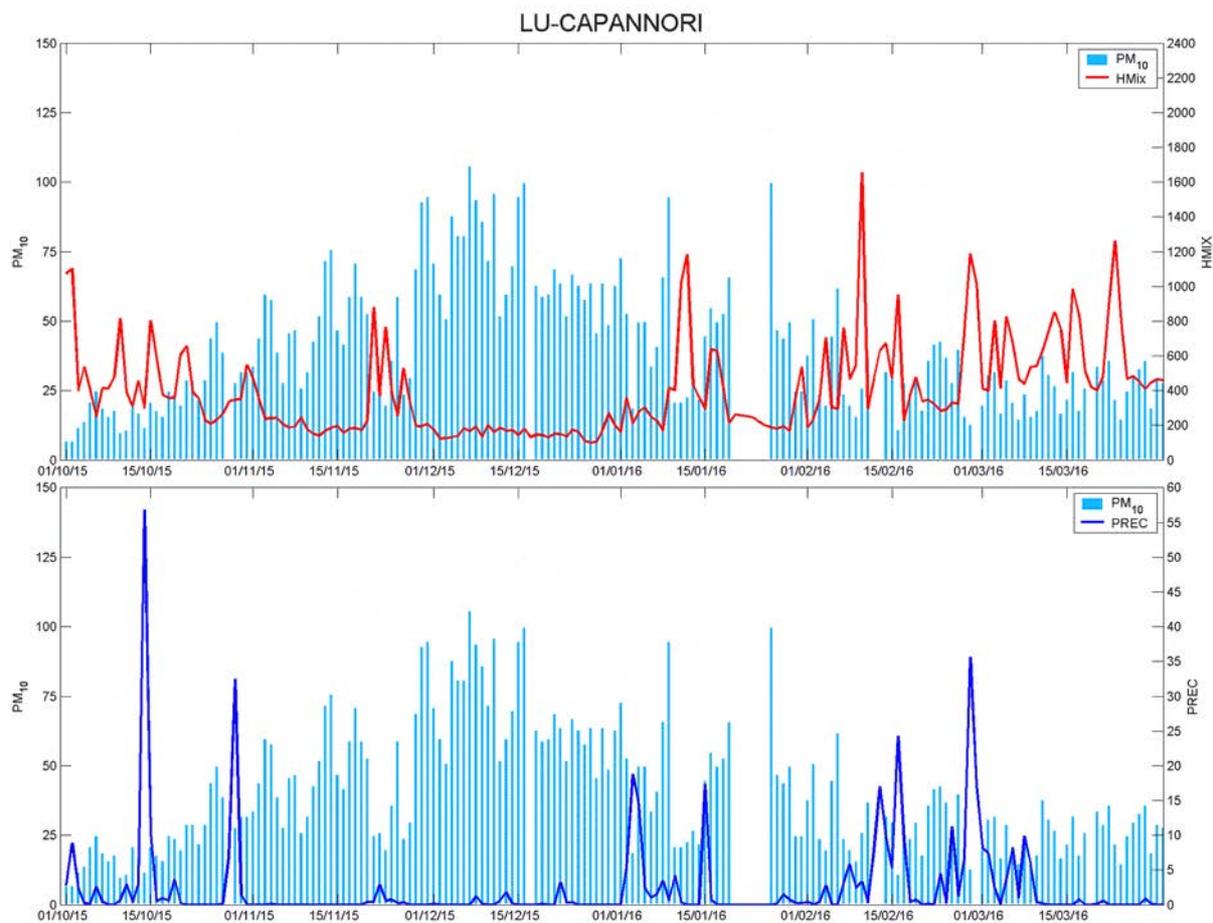


Figura 22: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione LU-Capannori (periodo ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

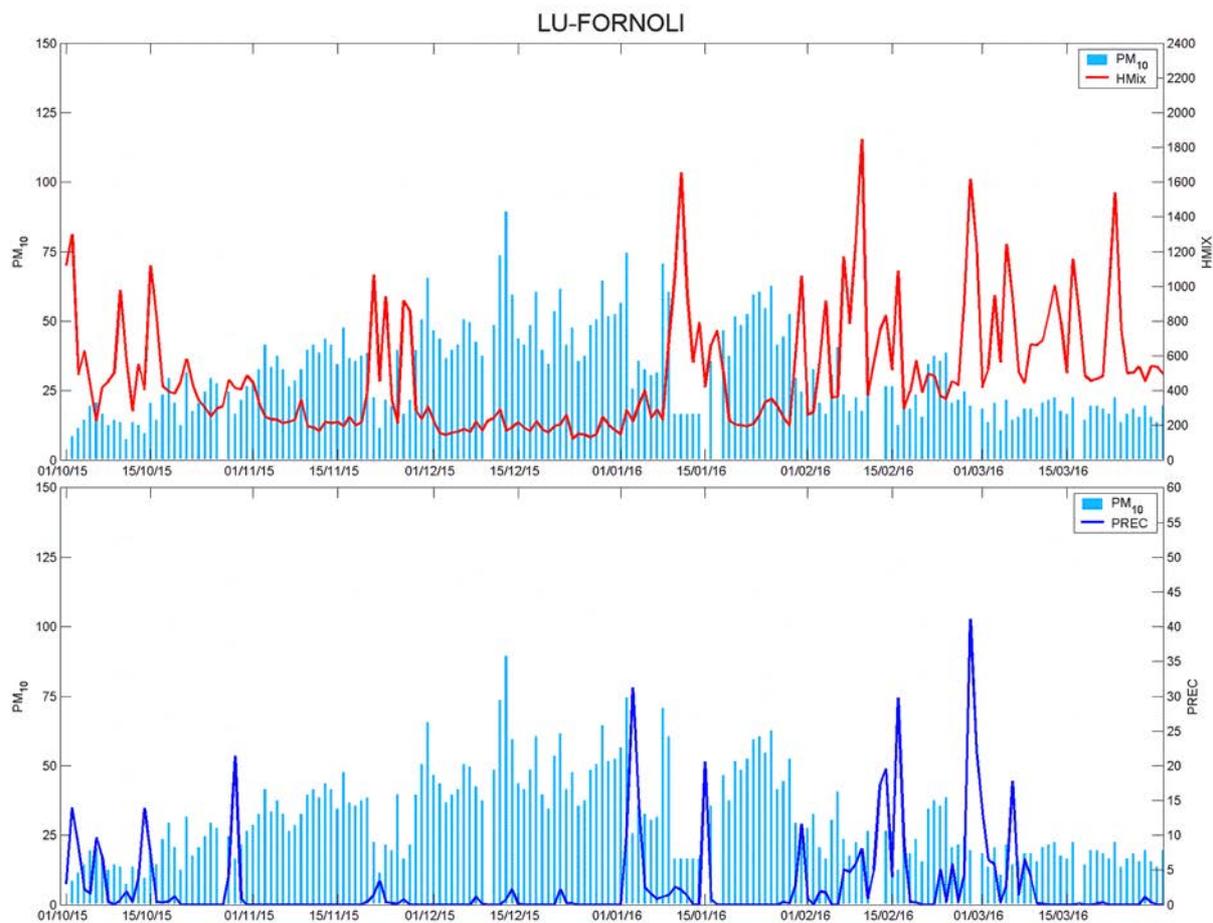


Figura 23: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione LU-Fornoli (ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

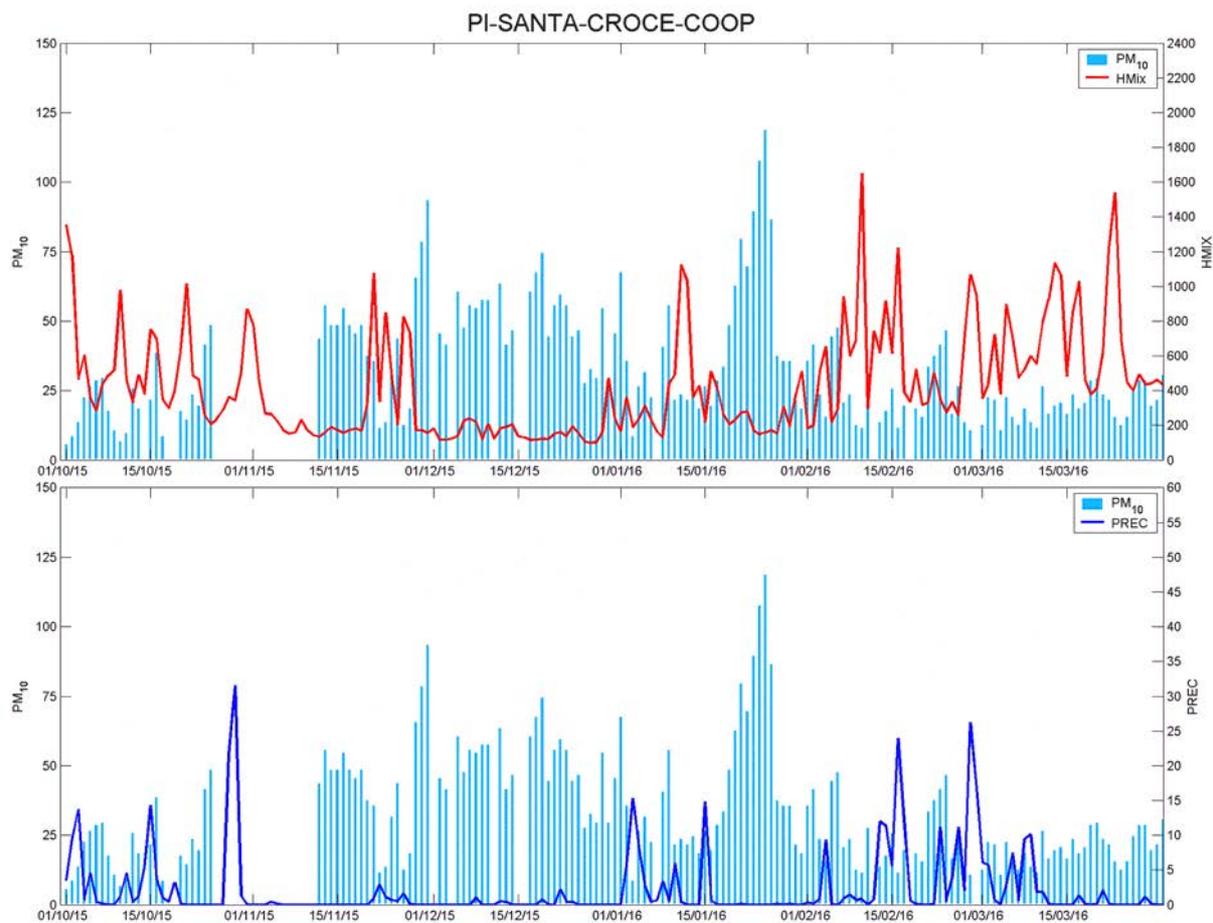


Figura 24: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione PI-Santa Croce (ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

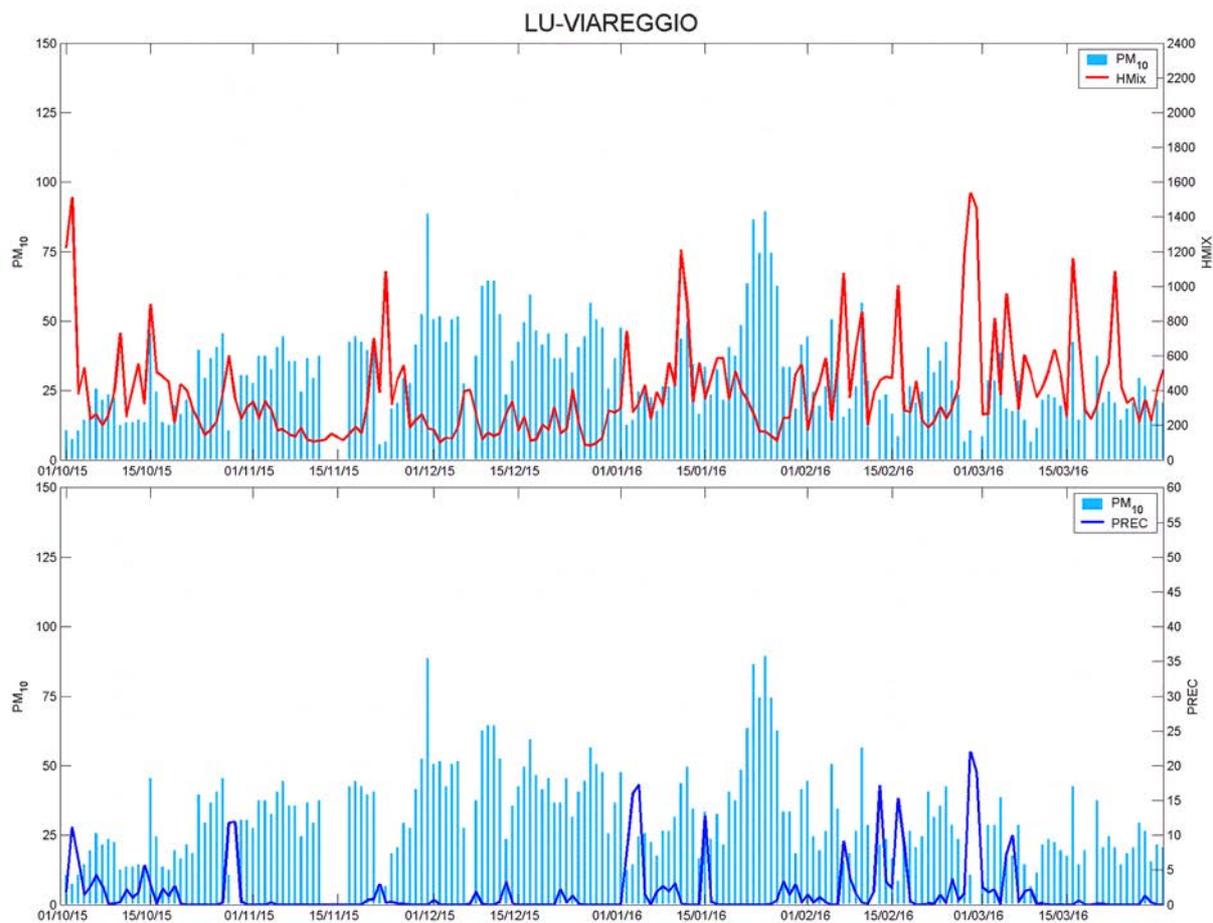


Figura 25: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione LU-Viareggio (ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

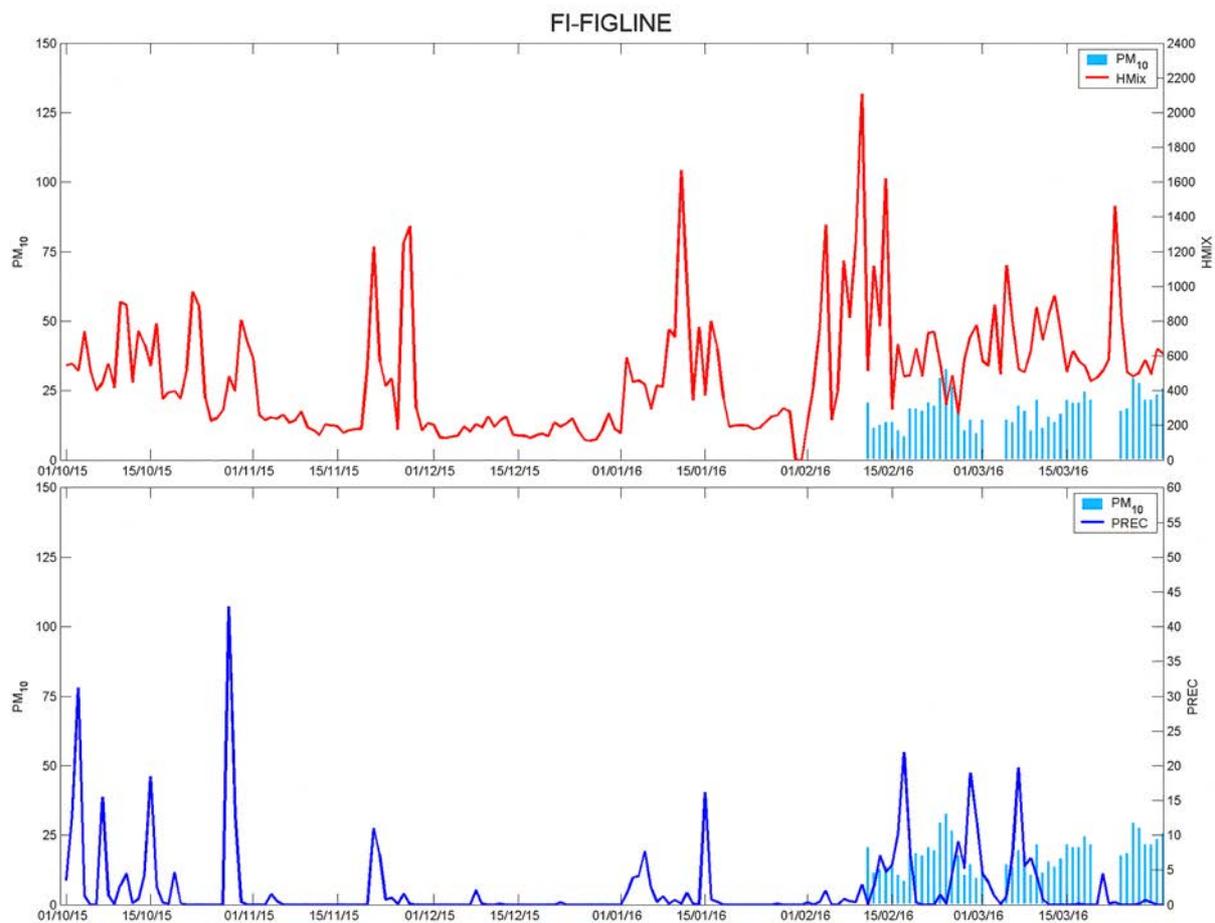


Figura 26: valori di concentrazione giornaliera di PM10 e variabili meteo, stazione FI-Figline (ottobre 2015-marzo 2016). Sopra: Hmix (linea rossa, asse di destra). Sotto: precipitazione cumulata CALMET (linea blu, asse di destra). In entrambi i grafici: PM10, assi di sinistra (istogrammi blu).

3.3 Individuazione di valori-soglia per gli indicatori

La scelta delle stime previsionali di Hmix e della precipitazione cumulata come indicatori meteo per valutare le condizioni di accumulo degli inquinanti nello strato limite planetario (PBL) è avvalorata sia dall'analisi svolta nei precedenti paragrafi, sia dal confronto con i dati meteo e con le misure di concentrazione di PM10.

Per le variabili Hmix e precipitazione è necessario determinare valori-soglia che discriminino tra condizioni atmosferiche critiche o meno per l'accumulo degli inquinanti. Oltre ad una valutazione qualitativa delle stime meteo e delle contemporanee misure di concentrazione di PM10 (Figure 22-27), sono stati elaborati alcuni scatter-plot, in cui la concentrazione di PM10 (asse y) è riportata in funzione di Hmix, o della precipitazione (asse x).

Hmix - Gli scatter-plot relativi a Hmix, per ciascuna stazione (escluso FI-Figline), sono riportati in Figura 29. Questi grafici mostrano come la distribuzione di punti (ognuno riferito ad un giorno del periodo ottobre 2015-marzo 2016) sia assimilabile ad un'iperbole. Dato che il periodo di studio è solo di 6 mesi, al fine di aumentare la numerosità di dati necessari per una valutazione statistica robusta è stato elaborato uno scatter-plot per il totale delle coppie PM10-Hmix relative alle stazioni delle aree pianeggianti e vallive, con l'esclusione quindi di LU-Viareggio (e FI-Figline per carenza di dati): Figura 28.

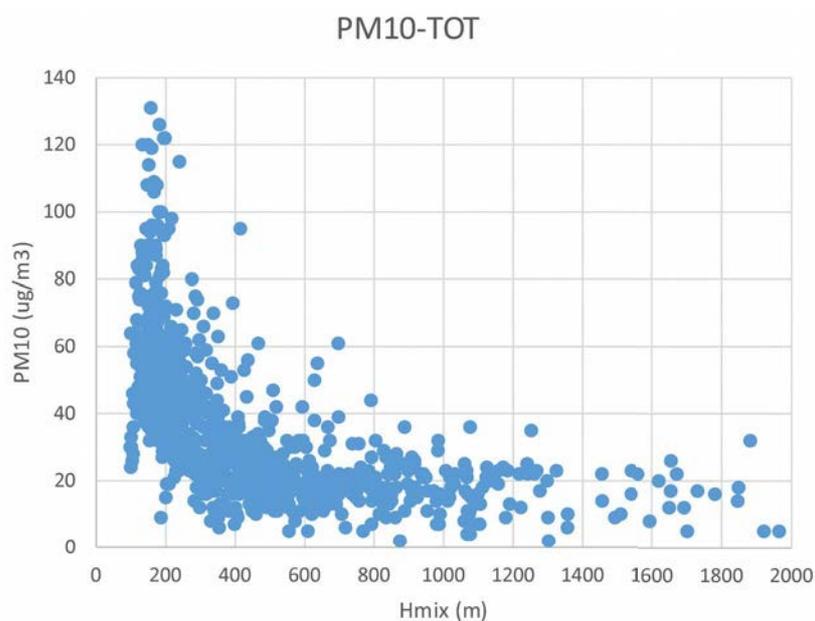


Figura 28: scatter-plot di concentrazione media giornaliera di PM10 (asse y) in funzione di Hmix (asse x), per tutti i dati relativi alle stazioni di FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli (ottobre 2015-marzo 2016).



Figura 29: scatter-plot di concentrazione media giornaliera di PM10 (asse y) in funzione di Hmix (asse x), per le stazioni di FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli, LU-Viareggio (ottobre 2015-marzo 2016).

Per questo insieme di dati, fissata una soglia per la concentrazione di PM10, si può determinare una distribuzione di valori di Hmix corrispondenti; in pratica, sono stati scelti alcuni intervalli di valori per il PM10 (40 ± 3 ; 45 ± 3 ; 50 ± 3 ; 45 ± 5) e sono state

elaborati i corrispondenti istogrammi di frequenza di accadimento per Hmix (Figura 30).

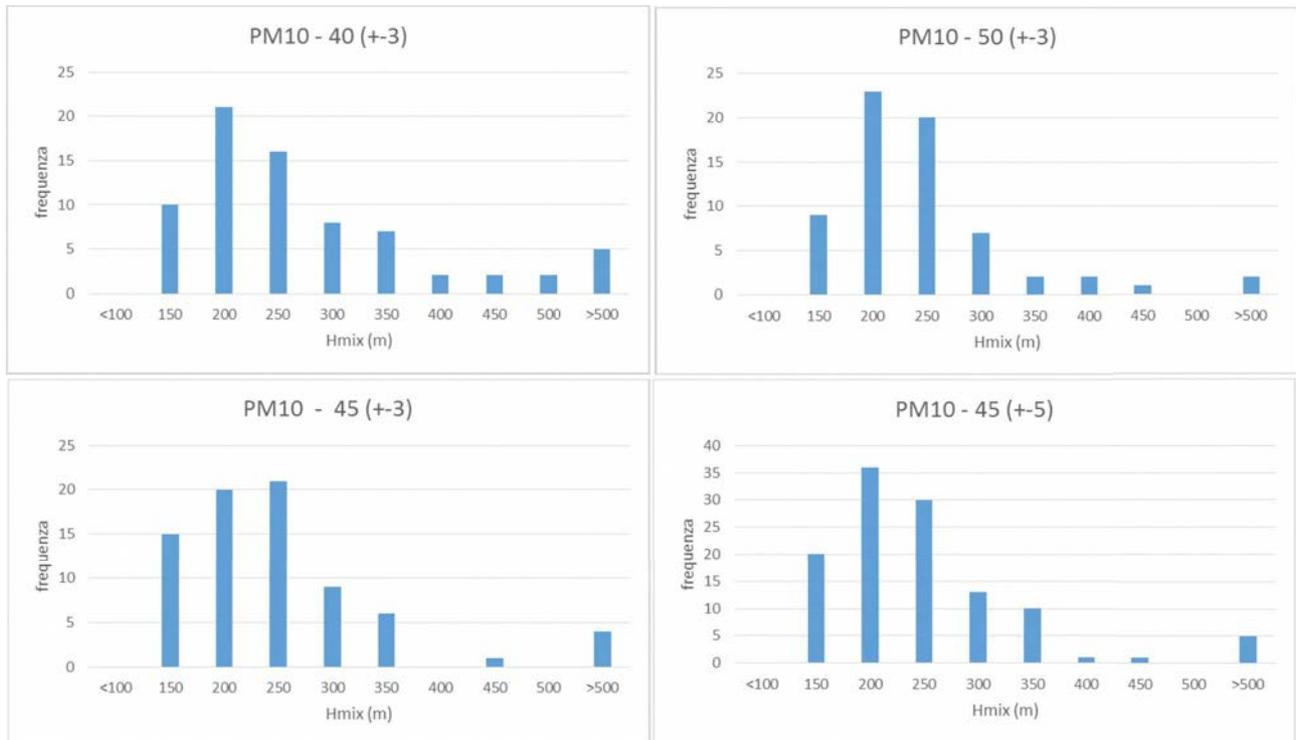


Figura 30: istogrammi della frequenza di accadimento delle classi di valori di Hmix per soglie variabili di concentrazione di PM10.

Le classi di valori di Hmix con accadimento maggiore sono quelle corrispondenti a $150 \text{ m} \leq \text{Hmix} < 200 \text{ m}$ e $200 \text{ m} \leq \text{Hmix} < 250 \text{ m}$, mentre non ci sono casi con $\text{Hmix} < 100 \text{ m}$ e sono poco numerosi gli accadimenti con $\text{Hmix} > 350 \text{ m}$.

Infine è stato utilizzato un metodo che sfrutta le tabelle di contingenza al fine di valutare quanto una determinata soglia imposta ad un indicatore meteo (ad esempio $\text{Hmix} < 250 \text{ m}$) sia in grado di discriminare tra condizioni atmosferiche critiche o non critiche per l'accumulo degli inquinanti (discriminate ad esempio dalla concentrazione di PM10 superiore o inferiore a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Considerando l'insieme di dati costituito dalle coppie di valori medi giornalieri di Hmix e di concentrazione di PM10 relative alle cinque stazioni sopra indicate, si individuano gli eventi in cui la condizione imposta è rispettata (ad esempio $\text{Hmix} < 250 \text{ m}$ e $\text{PM10} > 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oppure $\text{Hmix} > 250 \text{ m}$ e $\text{PM10} < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), non rispettata per falso allarme (ad esempio $\text{Hmix} < 250 \text{ m}$ e $\text{PM10} < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o per mancato allarme (ad esempio $\text{Hmix} > 250 \text{ m}$ e $\text{PM10} > 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dal momento che l'accumulo degli inquinanti in atmosfera è un processo che richiede la persistenza delle condizioni meteo sfavorevoli alla dispersione, è stato scelto come valore-soglia $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$: si tratta di un valore cautelativo inferiore sia al limite

giornaliero di 50 µg/m³ fissato dalla normativa sia al valore ottenuto applicando l'incertezza massima accettabile (25%) alla misura di PM10 nell'intorno del limite di legge³⁰.

In Tabella 7 sono riportate le tabelle di contingenza, elaborate per il valore-soglia di PM10 pari a 40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix (150, 180, 200, 230, 250, 280, 300, 330, 350 m). Si può notare che per valori bassi aumentano i "mancati allarmi", mentre per valori alti aumentano i "falsi allarmi": è necessario quindi trovare un compromesso che minimizzi entrambi gli eventi, massimizzando i risultati positivi. In questo caso la condizione migliore è rappresentata dai valori-soglia per Hmix pari a 250-280 m.

Accadimenti (conteggi)																			
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<230	Hmix=230	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<330	Hmix=330	Hmix<350	Hmix=350	
PM10>40	68	224	141	171	182	110	218	74	238	34	290	42	262	30	270	22	273	17	
PM10<=40	11	247	26	352	37	371	63	487	77	433	87	471	101	437	116	442	136	422	
Accadimenti (percentuali)																			
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<230	Hmix=230	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<330	Hmix=330	Hmix<350	Hmix=350	
PM10>40	8,0	26,4	16,6	17,8	21,4	12,9	27,6	8,7	28,0	6,4	29,4	4,9	30,8	3,5	31,8	2,6	32,4	2,0	
PM10<=40	1,3	64,6	3,1	62,6	3,8	61,8	7,4	68,2	8,8	76,8	10,2	77,4	11,9	78,8	13,6	72,0	16,0	49,6	
Accadimenti (percentuali)																			
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<230	Hmix=230	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<330	Hmix=330	Hmix<350	Hmix=350	
OK	61,9	72,4	67,8	79,2	70,8	82,7	71,8	83,9	72,1	84,8	72,1	84,2	71,9	84,6	71,2	83,8	69,7	82,0	
Falsi/mancati allarmi	22,7	27,6	17,7	20,8	14,7	17,3	18,7	16,1	17,9	17,2	17,2	17,2	18,1	17,4	18,8	16,2	17,8	18,0	

Tabella 7: tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10 40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix.

Infine, è stata stimata (con il metodo dei minimi quadrati) la funzione iperbolica che meglio approssima l'andamento delle concentrazioni giornaliere di PM10 in relazione ai valori di Hmix rappresentato in Figura 28. I risultati sono mostrati nella Tabella 8 e nella Figura 31.

```

Linear model:
  f(x) = a*1/x + c
Coefficients (with 95% confidence bounds):
  a =      9023 (8407, 9638)
  c =      6.156 (4.026, 8.286)

Goodness of fit:
SSE: 1.724e+005
R-square: 0.5179
Adjusted R-square: 0.5173
RMSE: 14.96
    
```

Tabella 8: parametri e relativi indici prestazionali ottenuti per la stima della funzione iperbolica che meglio approssima l'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 (asse y) in relazione ai valori di Hmix (asse x), rappresentata in Figura 31.

30 L'incertezza massima (25%) è stabilita dalla Tabella 1 dell'Allegato I al D.Lgs. 155/2010.

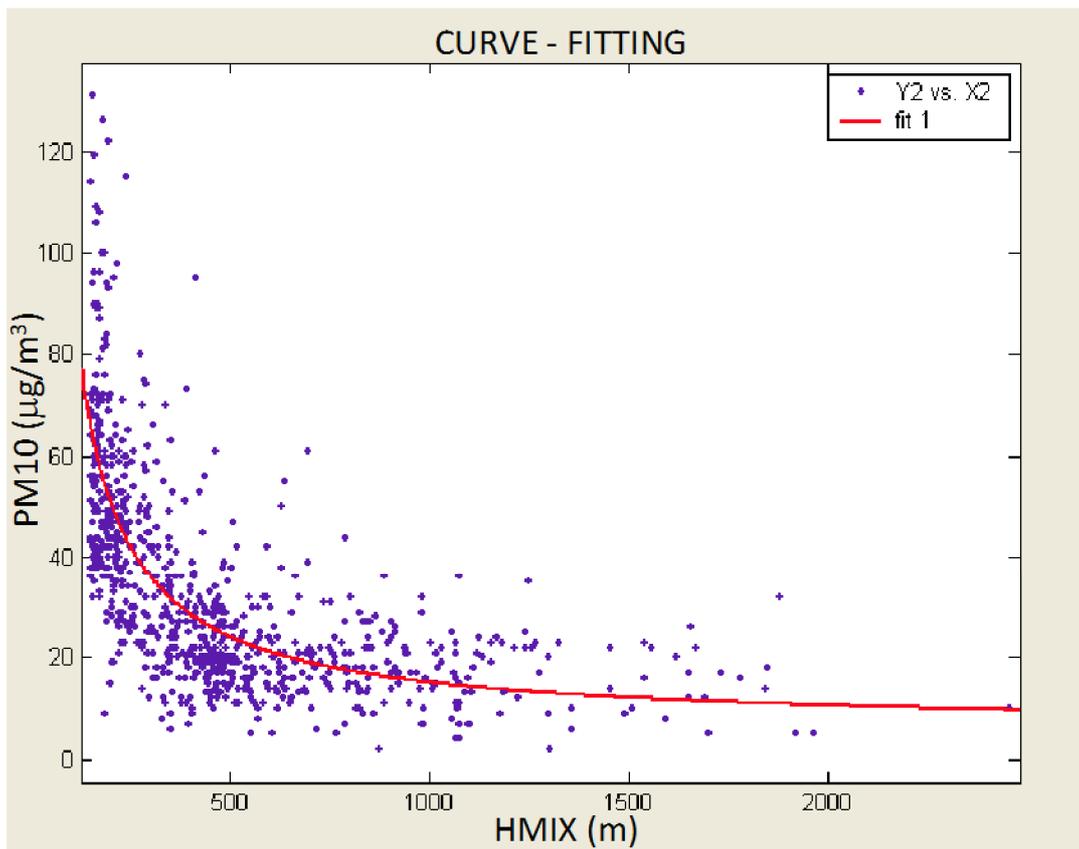


Figura 31: funzione iperbolica che meglio approssima l'andamento della concentrazione giornaliera di PM10 (asse y) in relazione ai valori di Hmix (asse x), per tutti i dati relativi alle stazioni di FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli (ottobre 2015-marzo 2016).

Intersecando il valore di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si incontra l'iperbole ottenuta come miglior fitting nel punto corrispondente al valore di 274.6 m di Hmix, risultato comparabile a quanto già osservato attraverso le analisi illustrate in precedenza.

Precipitazione - La dipendenza della concentrazione giornaliera di PM10 dal parametro pioggia cumulata è di per se un fenomeno a soglia, in quanto è noto che solo eventi di precipitazione persistente hanno un effetto di dilavamento dell'atmosfera [cap.3,5]; d'altra parte l'assenza di pioggia non è necessariamente legata a condizioni critiche per il PM10. In sintesi, in presenza di pioggia persistente non si hanno condizioni di accumulo di PM10, mentre in assenza di pioggia, o in presenza di pioggia debole, non si hanno necessariamente condizioni critiche. A differenza della funzione iperbolica che lega la concentrazione di PM10 al parametro Hmix, la dipendenza delle concentrazioni di PM10 dalla precipitazione presenta una discontinuità, o soglia, sopra la quale questo parametro influenza la concentrazione degli inquinanti, mentre sotto risulta non significativo.

Di seguito sono riportati gli scatter-plot della concentrazione di PM10 in funzione della

precipitazione prevista da ECMWF e da WRF-CALMET, considerando l'insieme dei dati delle cinque stazioni prese in esame. Si può notare dai due grafici che valori di concentrazione di PM10 maggiori di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono numericamente molto scarsi per valori di precipitazione superiori a 10 mm. Date le caratteristiche di questa variabile meteo, non sono state elaborate le tabelle di contingenza come per Hmix.

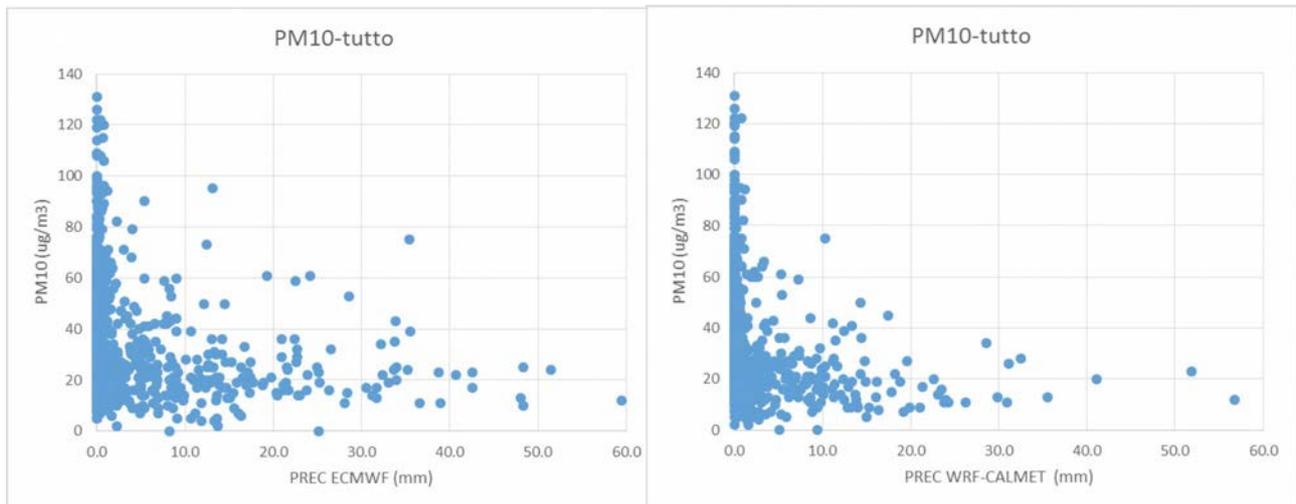


Figura 32: scatter-plot della concentrazione giornaliera di PM10 in funzione di Prec-ECMWF (a destra) e di Prec-WRF-CALMET (a sinistra) per tutti i dati relativi alle stazioni di FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli (ottobre 2015-marzo 2016).

Tuttavia, considerare anche questa variabile meteo aggiunge informazioni rispetto a quanto ottenuto con il solo parametro Hmix. Per questo si è ritenuto opportuno introdurre un nuovo indicatore, funzione dei due parametri meteo Hmix e precipitazione cumulata.

Il nuovo indicatore, $I=I(\text{Hmix}, \text{Prec})$, tiene conto dei valori-soglia dei due parametri: si hanno condizioni critiche per la dispersione e accumulo del PM10 se sono soddisfatte entrambe le due disuguaglianze:

$$\text{Hmix} < \text{valore-soglia}$$

$$\text{Prec} < \text{valore-soglia}$$

Invece le condizioni atmosferiche non sono critiche se almeno una delle due disuguaglianze non è soddisfatta.

Per valutare le prestazioni di questo indicatore con le tabelle di contingenza, una volta stabiliti i valori-soglia per PM10 e Hmix (rispettivamente $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per PM10, 250 m e 280 m per Hmix), sono stati analizzati tre valori-soglia per la precipitazione (10 mm, 15 mm e 20 mm), sia per la stima ottenuta da ECMWF che da WRF-CALMET; i risultati sono riportati nella Tabella 9 e nella Tabella 10.

Accadimenti (conteggi)												
Soglia	H250,10)		H250,10)		H250,15)		H250,15)		H250,20)		H250,20)	
	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=
PM10>40	237	55	237	55	238	54	237	55	238	54	237	55
PM10<=40	70	488	73	485	71	487	74	484	74	484	75	483
Accadimenti (percentuali)												
Soglia	H250,10)		H250,10)		H250,15)		H250,15)		H250,20)		H250,20)	
	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=
PM10>40	27.9	6.5	27.9	6.5	28.0	6.4	27.9	6.5	28.0	6.4	27.9	6.5
PM10<=40	8.2	57.4	8.6	57.1	8.4	57.3	8.7	56.9	8.7	56.9	8.8	56.8
Accadimenti (accorpati)												
Soglia	H250,10)		H250,10)		H250,15)		H250,15)		H250,20)		H250,20)	
	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=	H,H,CAU)<=	H,H,CAU)>=	H,H,ECM)<=	H,H,ECM)>=
OK	725	85.3	722	84.9	725	85.3	721	84.8	722	84.9	720	84.7
falsi/mancati allarmi	125	14.7	128	15.1	125	14.7	129	15.2	128	15.1	130	15.3

Tabella 9: tabelle di contingenza, con valori-soglia per PM10=40 µg/m³ e Hmix=250 m, per tre valori-soglia di precipitazione stimata da ECMWF e da WRF-CALMET (ottobre 2015-marzo 2016).

Accadimenti (conteggi)												
Soglia	(280,10)		(280,10)		(280,15)		(280,15)		(280,20)		(280,20)	
	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=
PM10>40	249	43	247	45	250	42	248	44	250	42	249	43
PM10<=40	82	476	83	475	83	475	85	473	86	472	86	472
Accadimenti (percentuali)												
Soglia	(280,10)		(280,10)		(280,15)		(280,15)		(280,20)		(280,20)	
	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=
PM10>40	29.3	5.1	29.1	5.3	29.4	4.9	29.2	5.2	29.4	4.9	29.3	5.1
PM10<=40	9.6	56.0	9.8	55.9	9.8	55.9	10.0	55.6	10.1	55.5	10.1	55.5
Accadimenti (accorpati)												
Soglia	(280,10)		(280,10)		(280,15)		(280,15)		(280,20)		(280,20)	
	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=	(H,CAU)<=	(H,CAU)>=	(H,ECM)<=	(H,ECM)>=
OK	725	85.3	722	84.9	725	85.3	721	84.8	722	84.9	721	84.8
falsi/mancati allarmi	125	14.7	128	15.1	125	14.7	129	15.2	128	15.1	129	15.2

Tabella 10: tabelle di contingenza, con valori-soglia per PM10=40 µg/m³ e Hmix=280 m, per tre valori-soglia di precipitazione stimata da ECMWF e da WRF-CALMET (ottobre 2015-marzo 2016).

Dato che il periodo considerato è limitato a 6 mesi (ottobre 2015-marzo 2016), in cui gli eventi di pioggia che hanno contribuito in modo significativo alla diminuzione della concentrazione di PM10 sono poco numerosi, i risultati ottenuti sono molto simili al variare della soglia e del modello. Tuttavia, le previsioni ottenute da WRF-CALMET sembrano condurre a prestazioni leggermente migliori, considerando le soglie pari a 10 e 15 mm. In ogni caso il miglioramento rispetto a quanto ottenuto con il solo

parametro Hmix è esiguo (sia considerando 250 m sia 280 m): in particolare, con valore-soglia di precipitazione di 15 mm si riducono i "falsi allarmi" (71 rispetto a 75 per 250 m e 83 rispetto a 87 per 280 m), pur avendo lo stesso numero di "mancati allarmi" (54 per 250 m e 42 per 280 m).

In sintesi, per l'insieme dei dati relativo alle 5 stazioni delle pianure interne, i risultati migliori si ottengono considerando le previsioni WRF-CALMET per Hmix e precipitazione, rispettivamente con valori-soglia pari a 280 m e 15 mm: a fronte di tali soglie si hanno 725 risultati corretti (85.3% del campione), 83 "falsi allarmi" (9.8% del campione) e 42 "mancati allarmi" (4.9% del campione).

Analogamente, è possibile individuare delle soglie per Hmix e per la precipitazione che determinano condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Se si considerano condizioni favorevoli quelle in cui il PM10 è minore di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, osservando gli scatter-plot PM10-Hmix e PM10-Prec, ovvero dall'analisi dei dati corrispondenti, si possono determinare le soglie superiori imponendo che per tali valori non vi sia alcun caso con concentrazione di PM10 superiore alla soglia stabilita. In questo caso si possono individuare come soglie superiori i valori di 800 m per Hmix, 30 mm per la precipitazione prevista da WRF-CALMET, 50 mm per la precipitazione prevista da ECMWF. L'indicatore per condizioni favorevoli alla dispersione può essere definito nel seguente modo: si hanno condizioni favorevoli alla dispersione del PM10 se è soddisfatta almeno una delle due disuguaglianze:

Hmix > valore-soglia superiore

Prec > valore-soglia superiore

Infine è possibile elaborare un semplice algoritmo che, unendo i due indicatori precedentemente definiti, combinando cioè le due variabili altezza di rimescolamento (Hmix) e pioggia cumulata (Prec) e le rispettive soglie, permette di ottenere un indice meteorologico che discrimina tra condizioni meteo critiche (colore rosso), indifferenti (colore giallo), favorevoli alla dispersione degli inquinanti (colore verde).

In sostanza l'indice meteo risulta così definito:

- condizioni critiche (Rosso): $\text{Hmix} < 280 \text{ m}$ e $\text{Prec} < 15 \text{ mm}$;
- condizioni favorevoli (Verde): $\text{Hmix} > 800 \text{ m}$ o $\text{Prec} > 30 \text{ mm}$;
- condizioni indifferenti (Giallo): tutti gli altri casi.

I valori stimati di Hmix e Prec sono quelli ottenuti dal sistema di modelli WRF-CALMET.

3.3.1 Individuazione di valori-soglia per singola stazione

Con lo stesso metodo sono state individuate le soglie per Hmix per ogni stazione, con le tabelle di contingenza e con il metodo grafico (ottobre 2015-marzo 2016). I risultati sono riportati nelle Tabelle 11-16, nella Figura 33 e nella Tabella 17, che riporta i valori-soglia ottenuti sia tramite tabelle di contingenza, sia con il metodo grafico. Considerando il valore-soglia 15 mm per la precipitazione cumulata giornaliera stimata da WRF-CALMET, sono stati elaborati gli indici $I=I(H_{mix}, Prec)$ al variare della soglia di Hmix: sono riportate le tabelle di contingenza per ciascuna stazione (Tabelle 18-23).

FI-SIGNA																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
PM12<40	20	32	36	16	40	12	43	9	45	7	48	4	50	2	51	1	51	1
PM12<=40	5	117	10	112	14	108	22	100	22	100	25	97	28	94	33	89	37	85
Accadimenti (percentuali)																		
PM12<40	11.5	18.4	20.7	9.2	23.0	6.9	24.7	5.2	25.9	4.0	27.6	2.3	29.7	1.1	29.3	0.6	29.3	0.6
PM12<=40	2.9	67.2	5.7	64.4	8.0	62.1	12.6	57.5	12.6	57.5	14.4	55.7	16.1	54.0	19.0	51.1	21.3	48.9
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
OK	13.7	78.7	148	85.1	148	85.1	143	82.2	145	83.3	145	83.3	144	82.8	140	80.5	136	78.2
Falsi/manca allarmi	3.7	21.3	2.6	14.9	2.6	14.9	3.1	17.8	2.9	16.7	3.9	16.7	3.0	17.2	3.4	19.5	3.8	21.8

Tabella 11: FI-Signa - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

PT-MONTALE																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
PM12<40	17	35	33	37	44	26	32	18	36	14	37	13	39	11	62	8	64	6
PM12<=40	1	106	2	107	4	108	8	88	10	87	13	84	14	83	17	80	19	88
Accadimenti (percentuali)																		
PM12<40	9.6	29.9	13.6	20.9	24.9	14.7	29.4	10.2	31.6	7.9	32.2	7.3	33.3	6.2	33.0	4.5	36.2	3.4
PM12<=40	0.6	39.9	1.1	39.3	2.3	39.2	3.1	33.4	3.6	34.8	7.3	32.1	7.9	32.3	9.6	30.8	10.7	49.7
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
OK	123	69.3	138	78.0	147	83.1	150	84.7	158	86.4	151	85.3	152	85.9	152	85.9	152	85.9
Falsi/manca allarmi	24	30.7	3.9	22.0	3.0	16.8	2.7	17.3	2.4	13.6	2.6	14.7	2.5	14.1	2.7	14.1	2.5	14.1

Tabella 12: PT-Montale - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

LU-CAPPANNORI																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
PM12<40	14	58	3.1	41	46	26	52	20	57	15	60	12	63	9	66	6	67	5
PM12<=40	0	99	1	98	2	97	6	93	9	90	11	88	14	85	18	81	21	78
Accadimenti (percentuali)																		
PM12<40	8.2	33.9	18.1	24.0	26.9	15.2	30.4	11.7	33.3	8.8	35.1	7.0	36.9	5.3	38.6	3.5	39.2	2.9
PM12<=40	0.0	57.9	0.6	57.3	1.2	56.7	3.5	54.4	5.3	51.6	6.4	51.5	8.2	49.7	10.5	47.4	12.3	45.6
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<220	Hmix=220	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<280	Hmix=280	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<320	Hmix=320	Hmix<350	Hmix=350
OK	113	66.1	129	75.4	143	83.6	145	84.8	147	86.0	148	86.5	148	86.5	147	86.0	145	84.8
Falsi/manca allarmi	58	33.9	4.2	24.6	28	16.4	26	15.2	24	14.0	23	13.5	23	13.5	24	14.0	26	15.2

Tabella 13: LU-Capannori - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

PI-SANTA-CROCE-COOP																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<350	Hmix=350	Hmix<400	Hmix=400	Hmix<450	Hmix=450	Hmix<500	Hmix=500
PH12=40	12	40	28	24	33	19	42	10	45	7	48	4	50	2	50	2	51	1
PH10=40	3	39	4	38	7	36	8	34	10	31	12	30	14	28	17	25	22	20
Accadimenti (percentuali)																		
PH12=40	7.8	26.0	18.2	15.6	21.4	12.3	27.3	6.5	29.2	4.5	31.2	2.6	32.5	1.3	32.5	1.3	33.1	0.6
PH10=40	1.9	64.3	2.6	63.6	4.5	61.7	5.2	61.0	6.5	59.7	7.8	58.4	9.1	57.1	11.0	55.2	14.3	51.9
Accadimenti (successi)																		
OK	111	72.1	126	81.8	128	83.1	136	88.3	137	89.0	138	89.6	138	89.6	135	87.7	131	85.1
PH12/man cad PH10/man cad	42	27.9	28	18.2	26	16.9	38	11.7	37	11.0	36	10.4	36	10.4	39	12.3	23	14.9

Tabella 14: PI-Santa Croce - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

LU-FORNOLI																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<350	Hmix=350	Hmix<400	Hmix=400	Hmix<450	Hmix=450	Hmix<500	Hmix=500
PH12=40	3	43	11	35	19	27	29	17	35	11	37	9	39	7	41	5	42	4
PH10=40	7	126	8	120	9	119	18	130	23	105	26	102	31	97	34	94	37	91
Accadimenti (percentuali)																		
PH12=40	1.7	24.7	6.3	20.1	10.9	15.5	16.7	9.8	20.1	6.3	21.3	5.2	22.4	4.0	23.6	2.9	24.1	2.3
PH10=40	1.1	72.4	4.6	69.0	5.2	68.4	10.3	63.2	13.2	60.3	14.9	58.6	17.8	55.7	19.5	54.0	21.3	51.3
Accadimenti (successi)																		
OK	129	74.1	131	75.3	138	79.3	139	79.9	140	80.5	139	79.9	136	78.2	135	77.6	133	76.4
PH12/man cad PH10/man cad	45	25.9	42	24.7	36	20.7	35	20.1	34	19.5	35	20.1	38	21.8	39	22.4	41	23.6

Tabella 15: LU-Fornoli - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

LU-VIAREGGIO																		
Accadimenti (conting.)																		
Soglia	Hmix<150	Hmix=150	Hmix<180	Hmix=180	Hmix<200	Hmix=200	Hmix<250	Hmix=250	Hmix<300	Hmix=300	Hmix<350	Hmix=350	Hmix<400	Hmix=400	Hmix<450	Hmix=450	Hmix<500	Hmix=500
PH12=40	13	38	26	25	30	21	33	18	36	15	39	12	40	11	40	11	41	10
PH10=40	6	117	8	115	10	113	18	105	25	98	35	88	41	82	51	77	58	65
Accadimenti (percentuali)																		
PH12=40	7.5	21.8	14.9	14.4	17.2	12.1	19.0	10.3	20.7	8.6	22.4	6.9	23.0	6.3	23.0	6.3	23.6	5.7
PH10=40	3.6	67.2	4.6	66.1	5.7	64.9	10.3	60.3	14.4	56.2	20.1	50.6	23.6	47.1	29.3	41.4	33.3	27.4
Accadimenti (successi)																		
OK	130	74.7	141	81.0	143	82.2	138	79.3	134	77.0	127	73.0	122	70.1	112	64.4	106	60.9
PH12/man cad PH10/man cad	44	25.3	33	19.0	31	17.8	36	20.7	40	23.0	47	27.0	52	29.9	62	35.6	68	39.1

Tabella 16: LU-Viareggio - Tabelle di contingenza, al variare del valore-soglia di Hmix.

Soglia Hmix			
NOME_STAZ	Hmix (tab cont.)	Hmix (fit.)	R (fit.)
FI-SIGNA	180-200	208	0.51
PT-MONTALE	250	252	0.63
LU-CAPANNORI	280-300	278	0.61
PI-SANTA-CROCE-COO	280-300	315	0.71
LU-FORNOLI	250	203	0.65
LU-VIAREGGIO	200	178	0.57

Tabella 17: valori-soglia di Hmix ottenuti dalle tabelle di contingenza e dal metodo grafico, per ciascuna stazione.

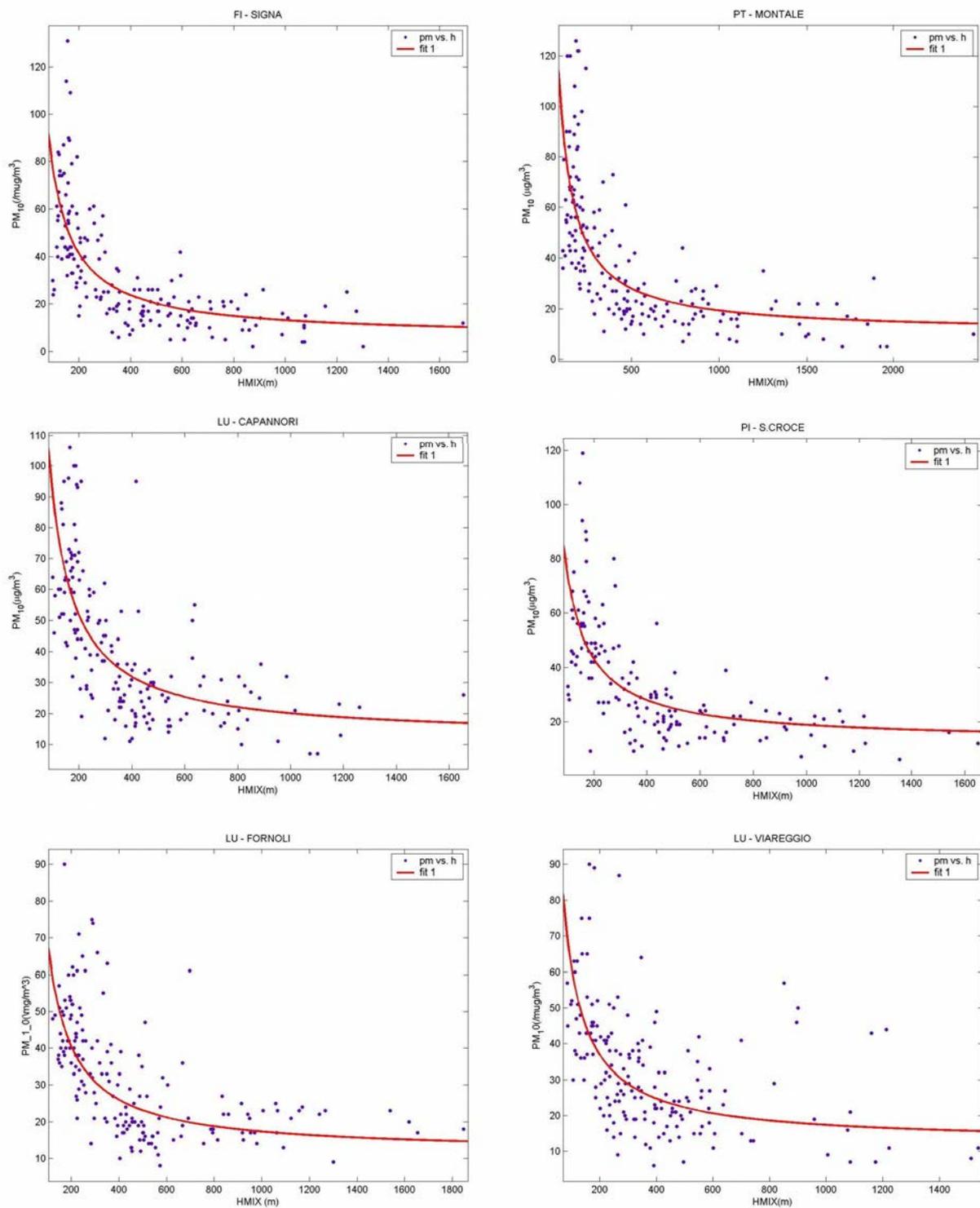


Figura 33: grafici relativi alle funzioni iperboliche che meglio approssimano l'andamento della concentrazione giornaliera di PM₁₀ (asse y) in relazione ai valori di H_{mix} (asse x), per le stazioni FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli, LU-Viareggio (ottobre 2015-marzo 2016).

FISHINA																				
Accadimenti (conteggi)																				
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(250,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(250,15)			
	I(CAL) <=	I(CAL) >=																		
PM10=40	20	32	27	15	40	12	43	9	45	7	48	4	50	2	51	1	51	1		
PM10<=40	5	117	11	111	14	106	21	101	21	101	14	98	17	95	31	91	35	87		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(250,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(200,15)		I(250,15)			
	I(CAL) <=	I(CAL) >=																		
PM10=40	11.5	19.4	21.3	9.6	23.0	6.9	24.7	5.2	25.9	4.0	27.6	2.3	29.7	1.1	29.3	0.6	29.3	0.6		
PM10<=40	2.9	67.2	6.3	63.8	8.0	62.1	12.1	58.0	12.1	58.0	13.8	56.3	15.5	54.6	17.8	52.3	20.1	50.0		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	I(CAL) <=		I(CAL) >=		I(CAL) <=		I(CAL) >=													
	cont.	%	cont.	%																
OK	137	78.7	148	85.1	148	85.1	144	82.8	146	83.9	146	83.9	145	83.3	142	81.6	138	79.3		
ok/mandato obiett.	27	21.3	26	14.9	26	14.9	30	17.2	28	16.1	28	16.1	29	16.7	32	18.4	26	20.7		

Tabella 18: FI-Signa - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valore-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

PT-MONTALE																				
Accadimenti (conteggi)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	Hmix<=	Hmix>=																		
PM10=40	17	78	33	37	44	26	32	18	36	14	37	13	39	11	62	8	64	6		
PM10<=40	1	106	2	109	4	105	9	92	10	97	12	84	14	93	17	90	19	88		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	Hmix<=	Hmix>=																		
PM10=40	9.6	29.8	18.6	20.9	24.9	14.7	29.4	10.2	31.6	7.9	32.2	7.3	33.2	6.2	37.0	4.5	36.2	3.4		
PM10<=40	0.6	79.8	1.1	79.2	2.2	78.2	3.1	73.4	2.6	78.2	3.2	75.1	2.9	77.7	3.6	79.2	4.0	77.7		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	cont.	%																		
OK	123	69.3	132	78.0	147	82.1	130	84.7	132	86.4	131	87.3	132	87.9	132	87.9	132	87.9		
ok/mandato obiett.	24	30.7	29	22.0	30	16.8	27	13.2	24	12.6	26	14.7	27	14.1	27	14.1	23	14.1		

Tabella 19: PT-Montale - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valori-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

LU-CAPPANORI																				
Accadimenti (conteggi)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	Hmix<=	Hmix>=																		
PM10=40	16	56	32	40	46	26	52	20	57	15	60	12	63	9	66	7	66	6		
PM10<=40	0	99	1	96	7	97	5	94	8	91	10	89	12	87	15	84	18	81		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	Hmix<=	Hmix>=																		
PM10=40	9.4	32.7	18.7	23.4	26.9	15.2	30.4	11.7	33.3	8.8	35.1	7.0	36.8	5.3	38.0	4.1	38.6	3.5		
PM10<=40	0.0	87.9	0.6	87.3	1.2	86.7	1.9	85.0	4.7	83.2	5.8	81.0	7.0	80.9	8.8	79.1	10.5	77.4		
Accadimenti (percentuali)																				
Soglia	Hmix<150		Hmix>150		Hmix<140		Hmix>140		Hmix<200		Hmix>200		Hmix<220		Hmix>220		Hmix<250		Hmix>250	
	cont.	%																		
OK	115	67.3	130	76.0	143	83.6	146	85.4	148	86.5	149	87.1	150	87.7	149	87.1	147	86.0		
ok/mandato obiett.	56	32.7	41	24.0	28	16.4	25	14.6	23	12.5	22	12.9	21	12.3	21	12.9	24	14.0		

Tabella 20: LU-Cappanori - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valori-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

PI-SANTA-CROCE E CDO P																		
Accadimenti (conteggi)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	12	40	28	24	33	19	42	10	43	7	42	4	30	2	30	2	31	1
PM10<40	3	89	4	88	6	86	7	87	8	88	11	84	13	89	16	86	21	84
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	7.2	26.0	18.2	15.6	21.4	12.3	27.2	6.3	29.2	4.3	31.2	2.6	32.5	1.3	32.3	1.3	33.1	0.6
PM10<40	1.9	63.3	2.6	63.6	3.9	62.3	4.3	61.7	3.2	60.4	7.1	78.1	8.4	77.3	10.4	77.8	13.6	72.6
Accadimenti (accorpati)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
OK	111	72.1	126	81.8	129	83.2	137	89.0	133	89.6	139	90.3	139	90.3	136	88.3	132	87.7
falli/manca di allarmi	43	27.9	28	18.2	23	16.2	17	11.0	16	10.4	17	9.7	13	9.7	18	11.7	22	14.3

Tabella 21: PI-Santa Croce - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valori-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

LU-FORNOLI																		
Accadimenti (conteggi)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	3	43	11	35	19	27	29	17	35	11	37	9	39	7	41	5	42	4
PM10<40	2	126	8	120	10	118	17	111	22	106	25	103	30	98	33	95	36	92
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	1.7	24.7	6.3	20.1	10.9	15.5	16.7	9.8	20.1	6.3	21.3	5.2	22.4	4.0	23.6	2.9	24.1	2.3
PM10<40	1.1	77.4	4.6	69.0	5.7	67.8	9.8	63.8	12.6	60.9	14.4	59.7	17.7	56.3	19.0	54.6	20.7	51.9
Accadimenti (accorpati)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
OK	129	74.1	131	75.3	137	78.7	140	80.5	141	81.0	140	80.5	137	78.7	136	78.2	134	77.0
falli/manca di allarmi	45	25.9	42	24.7	37	21.3	24	13.5	33	19.0	24	13.5	37	21.3	38	21.8	40	23.0

Tabella 22: LU-Fornoli - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valori-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

LU-VIAREGGIO																		
Accadimenti (conteggi)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	15	38	26	23	30	21	33	18	37	14	39	12	40	11	40	11	41	10
PM10<40	6	117	8	113	10	115	12	103	26	87	23	88	30	83	32	74	36	67
Accadimenti (percentuali)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
PM10=40	7.3	21.8	14.9	14.4	17.2	12.1	19.0	10.3	21.3	8.0	22.4	6.9	23.0	6.3	23.0	6.3	23.6	9.7
PM10<40	3.4	67.2	4.6	66.1	3.7	64.9	10.2	60.3	14.8	53.7	13.7	51.1	13.0	47.7	13.2	42.3	12.2	38.3
Accadimenti (accorpati)																		
Soglia	I(150,15)		I(140,15)		I(130,15)		I(120,15)		I(110,15)		I(100,15)		I(90,15)		I(80,15)		I(70,15)	
	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL	Sp, CAL										
OK	130	74.7	141	81.0	148	82.2	138	79.3	134	77.0	132	73.6	123	70.7	114	63.3	108	62.1
falli/manca di allarmi	44	25.3	33	18.0	31	17.8	36	20.7	40	23.0	46	26.4	31	20.3	60	34.7	66	37.9

Tabella 23: LU-Viareggio - Tabelle di contingenza, per il valore-soglia di PM10=40 µg/m³, al variare del valore-soglia di Hmix, per il valori-soglia di 15 mm di precipitazione, stimata da WRF-CALMET.

Come si può notare, per alcune stazioni il valore-soglia è uguale o prossimo a quello individuato per l'insieme dei dati ($H_{mix}=280$ m), mentre in altri casi si hanno valori diversi. In particolare, per la stazione di LU-Viareggio, esclusa dal dataset in quanto appartenente ad un'area costiera, si ottiene un valore-soglia nettamente più basso (200 m); anche per FI-Signa si hanno risultati migliori per un valore-soglia pari a 200 m. Per PT-Montale e LU-Fornoli si ha una soglia leggermente più bassa, 250 m; LU-Capannori e PI-Santa Croce mostrano buoni risultati per le soglie 280 m e 300 m. L'introduzione della soglia sulla precipitazione cumulata non modifica questo risultato, ma in alcuni casi produce l'effetto di ridurre i "falsi allarmi".

Di seguito (Figure 34-38) sono riportati, per ciascuna stazione, gli istogrammi relativi ai valori di concentrazione di PM₁₀, di colore rosso nei giorni con previsioni meteo critiche, giallo con previsioni indifferenti, verde con previsioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Per tutte le stazioni è stata considerato per H_{mix} il valore-soglia 280 m, ed eventualmente, se diverso, il valore-soglia ottenuto nell'analisi dei dati della singola stazione. Le differenze sono poco marcate nel passaggio tra 280 m e 250 m o 300 m, più sostanziali per la soglia 200 m, soprattutto nella stazione di LU-Viareggio.

In sintesi, questo studio delle variabili H_{mix} e Prec ha permesso di individuare, per ciascun parametro, due soglie, di verificarne la capacità di classificazione/predizione delle condizioni critiche o favorevoli alla dispersione degli inquinanti e di elaborare un nuovo indicatore che classifichi le condizioni atmosferiche in tre categorie: condizioni critiche, indifferenti, favorevoli per la dispersione degli inquinanti.

In fase di prima applicazione saranno utilizzate le soglie individuate per ciascuna stazione, mentre la soglia ottenuta dall'insieme dei dati relativi alle stazioni delle pianure interne sarà impiegata per FI-Figline (a causa della mancanza di dati presso tale stazione). I risultati ottenuti per le stazioni vengono considerati validi per la rispettiva area superamento in cui ciascuna è inclusa.

In ogni caso, data l'esiguità del campione di dati (solo sei mesi) è necessario verificare l'indice meteo proposto per un periodo congruo ed eventualmente modificare le soglie; inoltre va ricordato che questa analisi è stata effettuata solo sulle previsioni a 24 h (giorno successivo), mentre il sistema previsionale utilizzerà le previsioni di tre giorni (il giorno stesso della previsione e i due successivi).

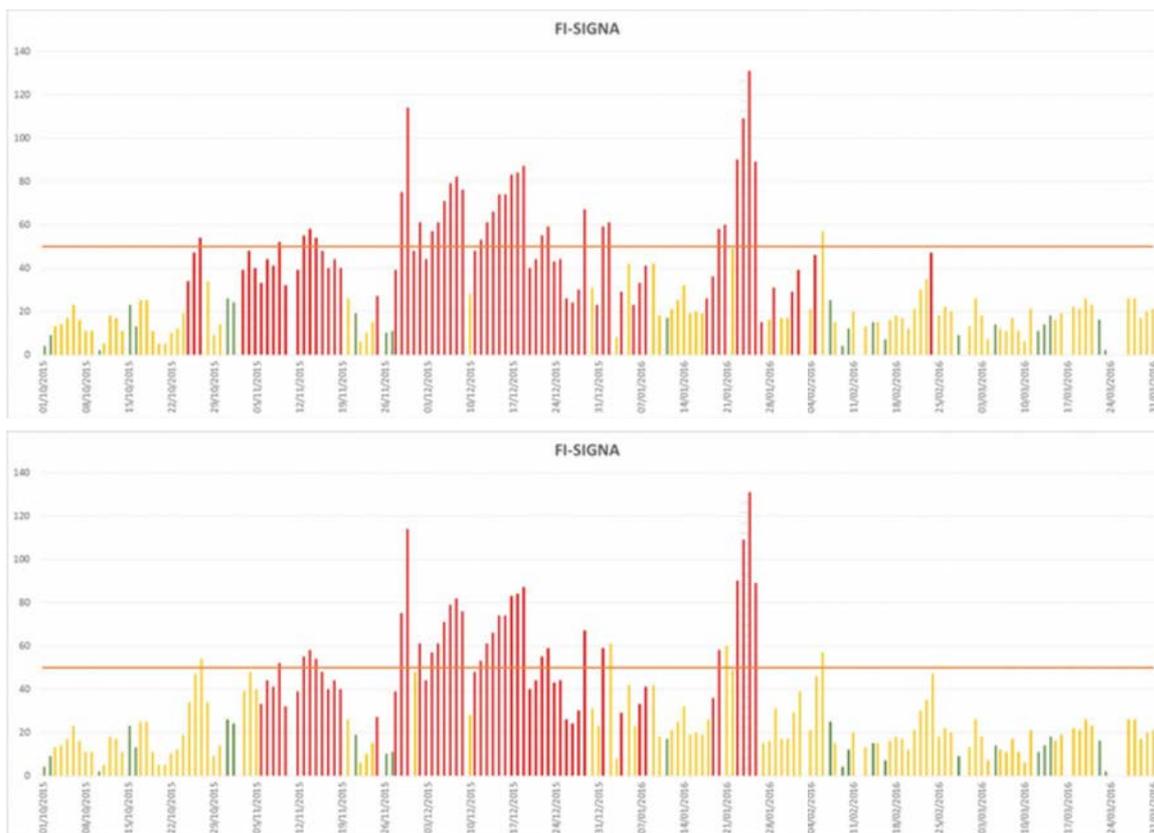


Figura 34: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione FI-Signa (ottobre 2015-marzo 2016).

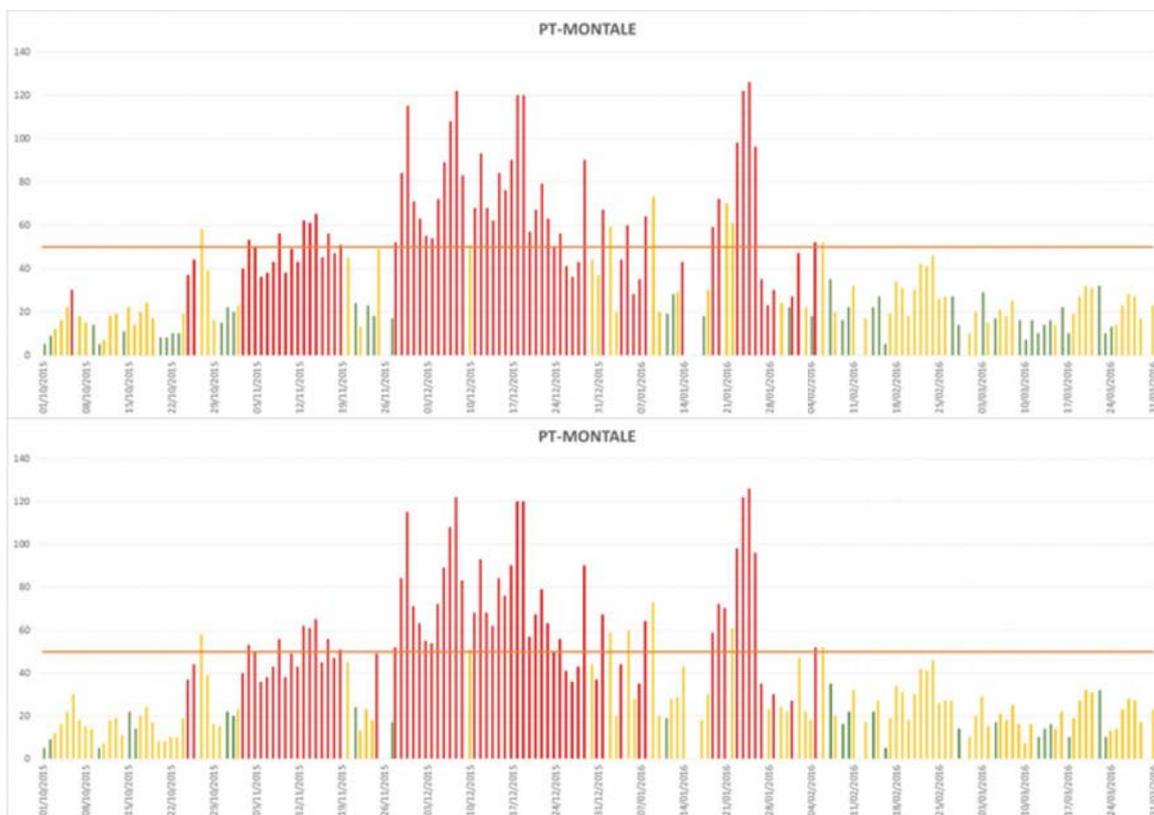


Figura 35: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione PT-Montale (ottobre 2015-marzo 2016).



Figura 36: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione LU-Capannori (ottobre 2015-marzo 2016).



Figura 37: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione PI-Santa Croce (ottobre 2015-marzo 2016).



Figura 38: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione LU-Fornoli (ottobre 2015-marzo 2016).

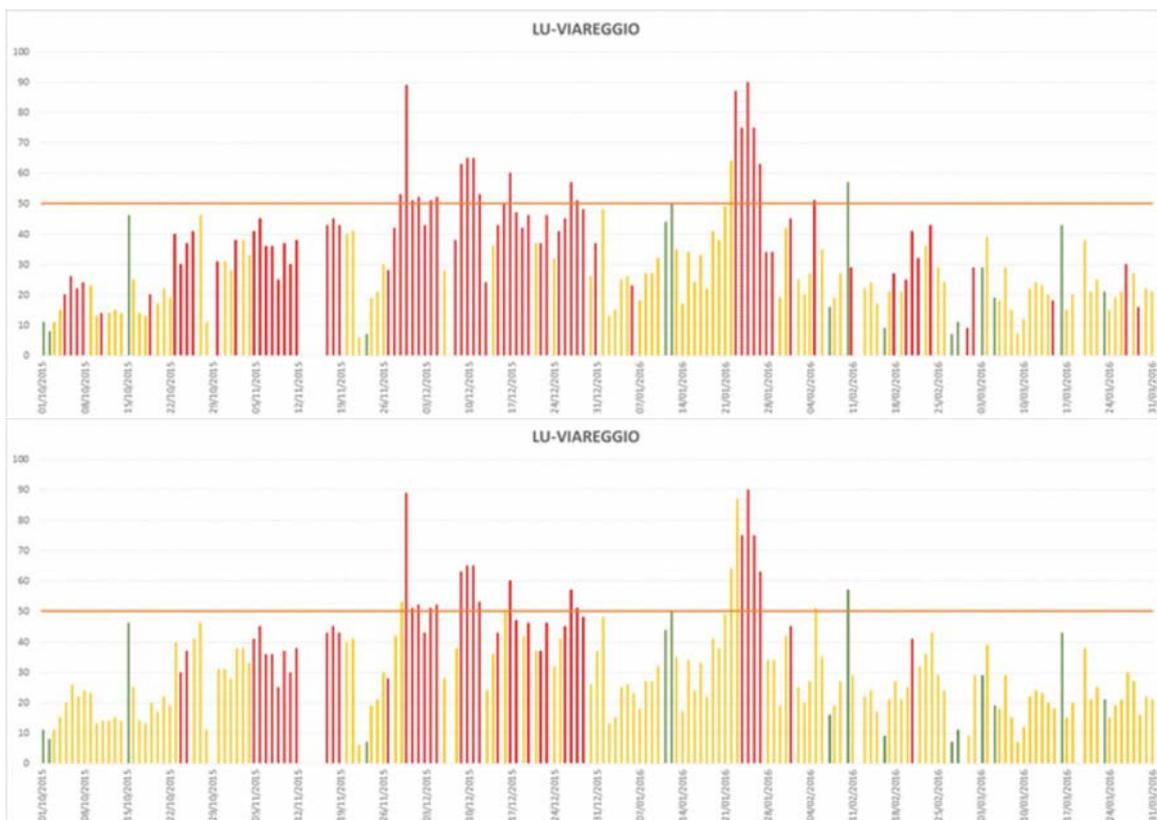


Figura 38: concentrazione giornaliera di PM10 e indici meteo, per Hmix pari a 280 m (sopra) e 200 m (sotto), stazione LU-Viareggio (ottobre 2015-marzo 2016).

4. Applicazione dell'indice di criticità della qualità dell'aria (ICQA) al semestre 2015-2016

Come spiegato nel capitolo 1 l'Indice di criticità della qualità dell'aria (ICQA) dal 1° novembre al 31 marzo assume valore 2 qualora sia pari a 7 la somma del numero dei superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM10 nei 7 giorni precedenti e delle condizioni meteo critiche previste (ovvero favorevoli all'accumulo di inquinanti) nei 3 giorni successivi; altrimenti assume valore 1.

Le regole stabilite per i conteggi (previsioni meteo critiche e superamenti) sono state applicate rispettivamente dal Consorzio LaMMA e da ARPAT al semestre invernale 2015-2016 per verificare il comportamento dell'indice ICQA su un set di dati storici. Questo tipo di analisi dovrebbe permettere di valutare le caratteristiche dell'ICQA in maniera più oggettiva rispetto ad una analisi ex-post in cui all'andamento del PM10 può contribuire l'effetto dei provvedimenti di emergenza adottati in funzione dell'indice stesso. Tuttavia va specificato che anche nel 2015, pur con criteri diversi, in alcune aree sono stati adottati provvedimenti di contenimento delle emissioni ai sensi della D.G.R. 22/2011 che potrebbero aver influenzato gli andamenti delle concentrazioni di PM10 rispetto alla sola influenza delle condizioni meteo.

I grafici che seguono sono di due tipi e sono applicati ai dati di ciascuna area di superamento definita nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015, con l'eccezione della stazione di FI-Figline che non ha un numero sufficiente di dati validi nel periodo di interesse.

La prima serie di grafici mette in evidenza il comportamento giornaliero dell'indice ICQA nel periodo esaminato, con dettaglio sulle componenti che ne determinano il valore, ovvero il conteggio del numero di giorni con previsioni meteo critiche ed il conteggio del numero dei superamenti registrati nei 7 giorni precedenti.

I singoli conteggi, meteo e superamenti PM10, sono riportati su istogrammi sovrapposti ed il risultato è messo in relazione con i giorni di effettivo superamento contrassegnati in grigio al di sotto dell'asse delle ascisse. Un confronto tra le diverse aree critiche risulta interessante.

Il secondo tipo di grafico, riportato per ciascuna zona, mostra sulla stessa scala giornaliera l'andamento delle concentrazioni di PM10 ed i periodi di attivazione degli interventi, intesi come giorni in cui l'indice ICQA assume il valore 2 (retinatura azzurra).

I grafici sono riportati e commentati rispetto alla soglia 280 m per Hmix che risulta dall'analisi complessiva dei dati di tutte le stazioni condotta nel capitolo 4.

Successivamente, con lo scopo di verificare su un'applicazione reale la sensibilità dell'indice ICQA al variare della soglia fissata per Hmix, sono riportati alcuni esempi degli stessi grafici ottenuti applicando soglie diverse.

4.1 Applicazione delle condizioni meteo critiche al conteggio dei superamenti

Questa prima serie di grafici riporta il conteggio dei superamenti di PM10 e dei giorni con condizioni meteo critiche, finalizzato al calcolo dell'indice di criticità di qualità dell'aria. Il conteggio può variare da 0 a 10, essendo il valore massimo dato da 7 superamenti nei giorni precedenti e 3 giorni con previsioni meteo critiche. L'area di intervento, cioè quella per cui l'indice ICQA è uguale a 2, è quella compresa tra i valori 7 e 10. Per i valori da 0 a 6 l'indice ICQA vale 1 nel semestre ottobre-marzo.

In via generale si possono osservare in tutte le aree di superamento 3 periodi in cui il valore del conteggio si incrementa:

- un primo episodio che riguarda il periodo che va circa dal 5 al 20 novembre.

Questo periodo è caratterizzato da criticità meteorologica in tutte le aree, con differenze nel numero di superamenti del PM10. Dal punto di vista delle concentrazioni questo evento è caratterizzato da un innalzamento dei valori che, tuttavia, solo in alcune aree superano il valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con valori di picco che si mantengono comunque più bassi rispetto ai periodi successivi. Di conseguenza questo episodio conduce al valore ICQA=2 nella Piana lucchese, nell'Agglomerato di Firenze e nella Piana di Prato-Pistoia. Per il Comprensorio del cuoio, nonostante qualche evento di superamento, il conteggio non raggiunge il valore di 7 mentre per la Versilia e la Media valle del Serchio la criticità meteorologica non è associata a superamenti.

- un secondo episodio si estende per tutto il mese di dicembre.

Questo è l'evento centrale dell'inverno e si protrae per tutto il mese di dicembre ed in qualche caso fino ai primi giorni di gennaio. In tutte le aree di superamento l'ICQA raggiunge, almeno una volta, il valore 2. Per l'Agglomerato di Firenze, la Piana di Prato-Pistoia e la Piana lucchese il periodo con ICQA=2 si protrae per tutto l'arco temporale relativo ai superamenti. Si può apprezzare

chiaramente come il contributo del conteggio delle previsioni meteo critiche consenta di anticipare l'attivazione degli interventi già al 4° giorno di superamento. Inoltre per l'Agglomerato di Firenze il meccanismo dell'ICQA consente di non interrompere il periodo di intervento pur in seguito a brevi interruzioni dei superamenti del valore limite $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per quanto riguarda il Comprensorio del cuoio l'episodio di dicembre si articola in due momenti di intervento con rispettivamente 7 superamenti ravvicinati nella prima metà del mese e 8 superamenti ravvicinati nella seconda; i due eventi sono separati da 5 giorni senza superamenti che, nonostante le condizioni meteo avverse, determinano la sospensione della condizione di intervento. Per quanto riguarda la Media valle del Serchio e la Versilia vi sono episodi puntuali con $\text{ICQA}=2$ ed in particolare 2 episodi per la Media valle del Serchio e 4 per la Versilia. In questi casi la persistenza dei superamenti e delle condizioni meteo avverse raramente si combina in maniera sfavorevole, tale da raggiungere il valore critico.

- *un ultimo episodio nel periodo finale di gennaio.*

Anche questo evento è nettamente riconoscibile in tutte le aree di superamento, ed infatti tutte raggiungono il valore 2 dell'ICQA (valore 7 o superiore per il conteggio). Diversamente dall'episodio di novembre, in questo caso il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti contribuisce al conteggio maggiormente rispetto alle condizioni meteo critiche previste. A livello di andamenti, l'episodio è caratterizzato infatti da un blocco di superamenti continui che va dai 4 dell'Agglomerato di Firenze agli 8 della Piana Prato-Pistoia, con valori di picco decisamente elevati. Dai grafici appare tuttavia molto evidente come il contributo del meteo consenta di far coincidere i periodi di intervento con i valori di picco delle concentrazioni di PM_{10} .

Si possono osservare tre diversi tipi di casistiche nelle aree di superamento esaminate che mettono in evidenza i vantaggi ed i limiti dell'applicazione di questi conteggi:

- a) Comprensorio del cuoio e Agglomerato di Firenze: utilizzando il conteggio dei 7 superamenti consecutivi del Protocollo d'intesa del 30 dicembre 2015 queste aree avrebbero adottato pochi interventi, peraltro tardivamente rispetto al verificarsi degli eventi di superamento.
- b) Piana lucchese e Piana Prato-Pistoia: con qualsiasi tipo di criterio in tali aree si sarebbero comunque dovuti adottare interventi di emergenza perché vi si sono verificati periodi consecutivi di superamento molto prolungati. Tuttavia

l'applicazione di questo tipo di conteggi, e soprattutto il contributo della previsione meteo, permette di anticipare l'adozione degli interventi rispetto al criterio dei 7 superamenti consecutivi ed anche di chiudere il periodo di criticità più tardi, mantenendo in questo modo attivi gli interventi anche in occasione di alcuni superamenti discontinui.

- c) Media valle del Serchio e Versilia: in tali aree si verificano invece alcuni casi di intervento tardivo, dove l'accumulo dei giorni di superamento, unito al meteo, raggiunge il valore di 7 quando l'episodio è quasi concluso. In questi casi utilizzando il conteggio con 7 superamenti consecutivi gli interventi non sarebbero stati adottati. Questa circostanza rappresenta un limite della procedura qui definita. A tale proposito occorre però ricordare due fattori: il primo è la possibile influenza dei provvedimenti adottati già nel semestre 2015-2016; il secondo è la considerazione che qualsiasi criterio adottato può comportare sia "falsi allarmi" (attivazioni non necessarie) che "mancati allarmi" o tardive attivazioni in caso di evento critico. Qualsiasi procedura si definisca impone la scelta sul miglior compromesso che si ritiene di poter ottenere allo stato attuale delle conoscenze e dello sviluppo dei metodi di valutazione.

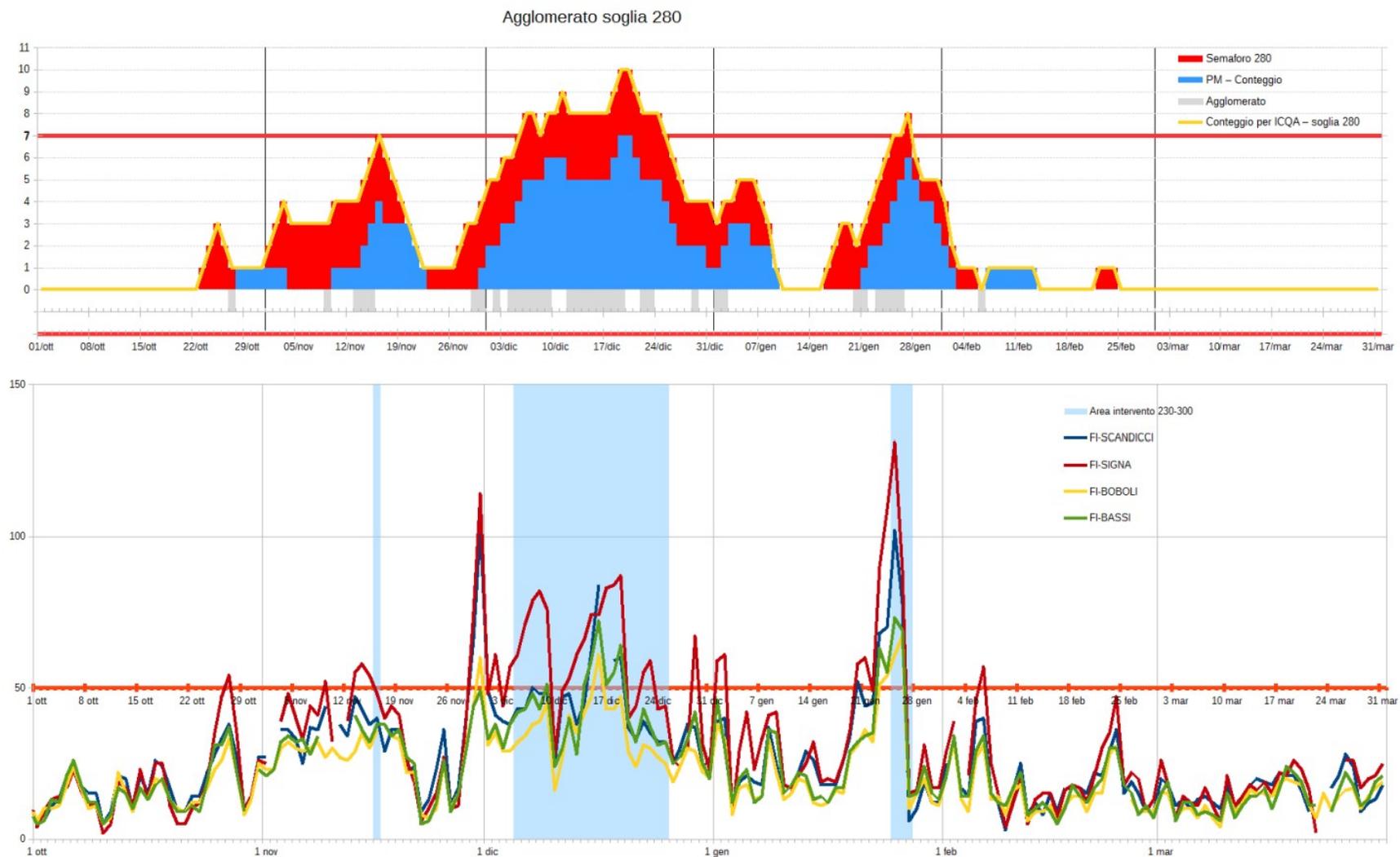


Figura 1: Agglomerato di Firenze (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per Hmix=280 m, il superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

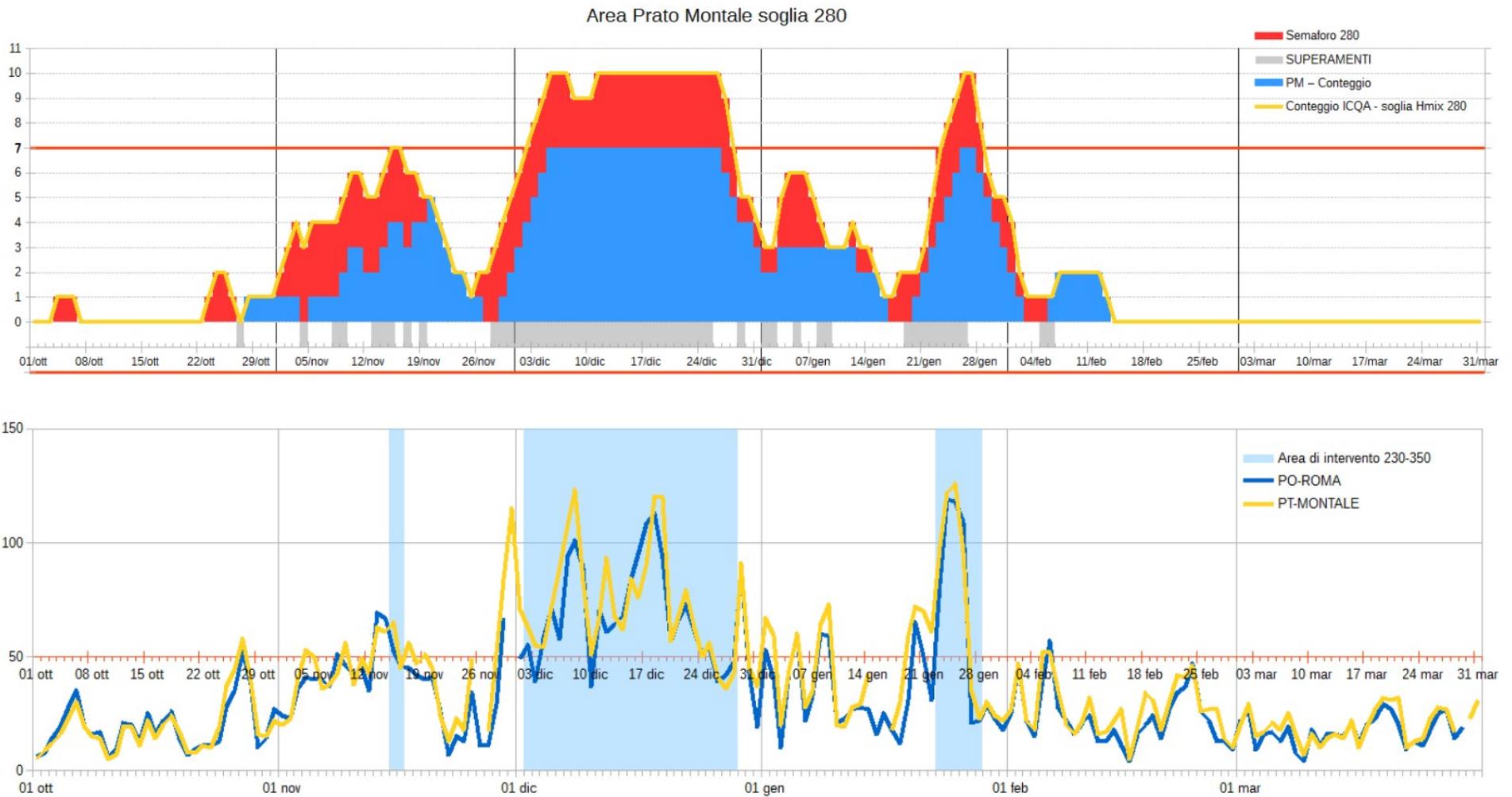


Figura 2: Piana Prato-Pistoia (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per Hmix=280 m, il superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

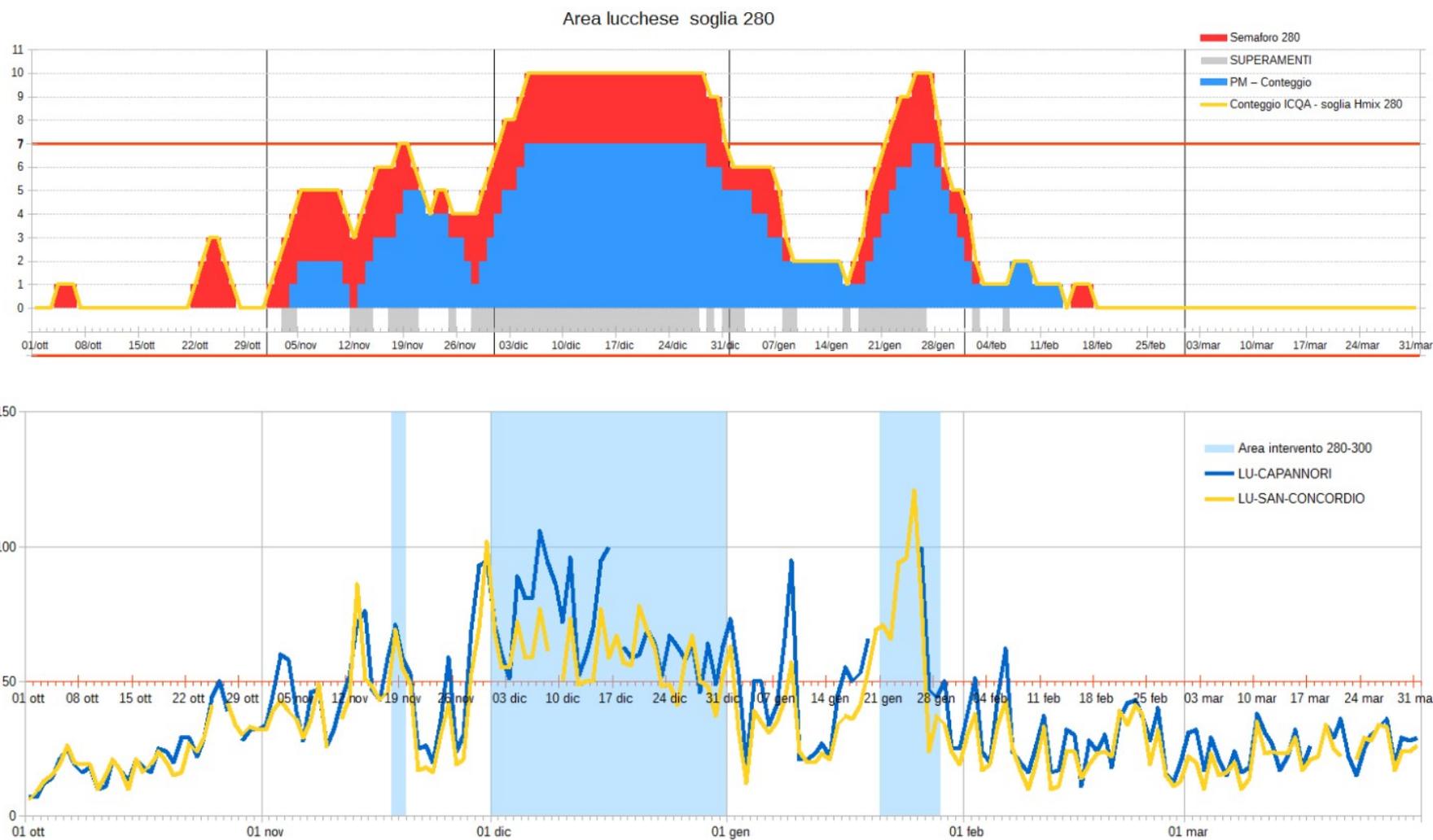


Figura 3: Piana lucchese (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per Hmix=280 m, il superamento del valore limite di 50 µg/m³ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

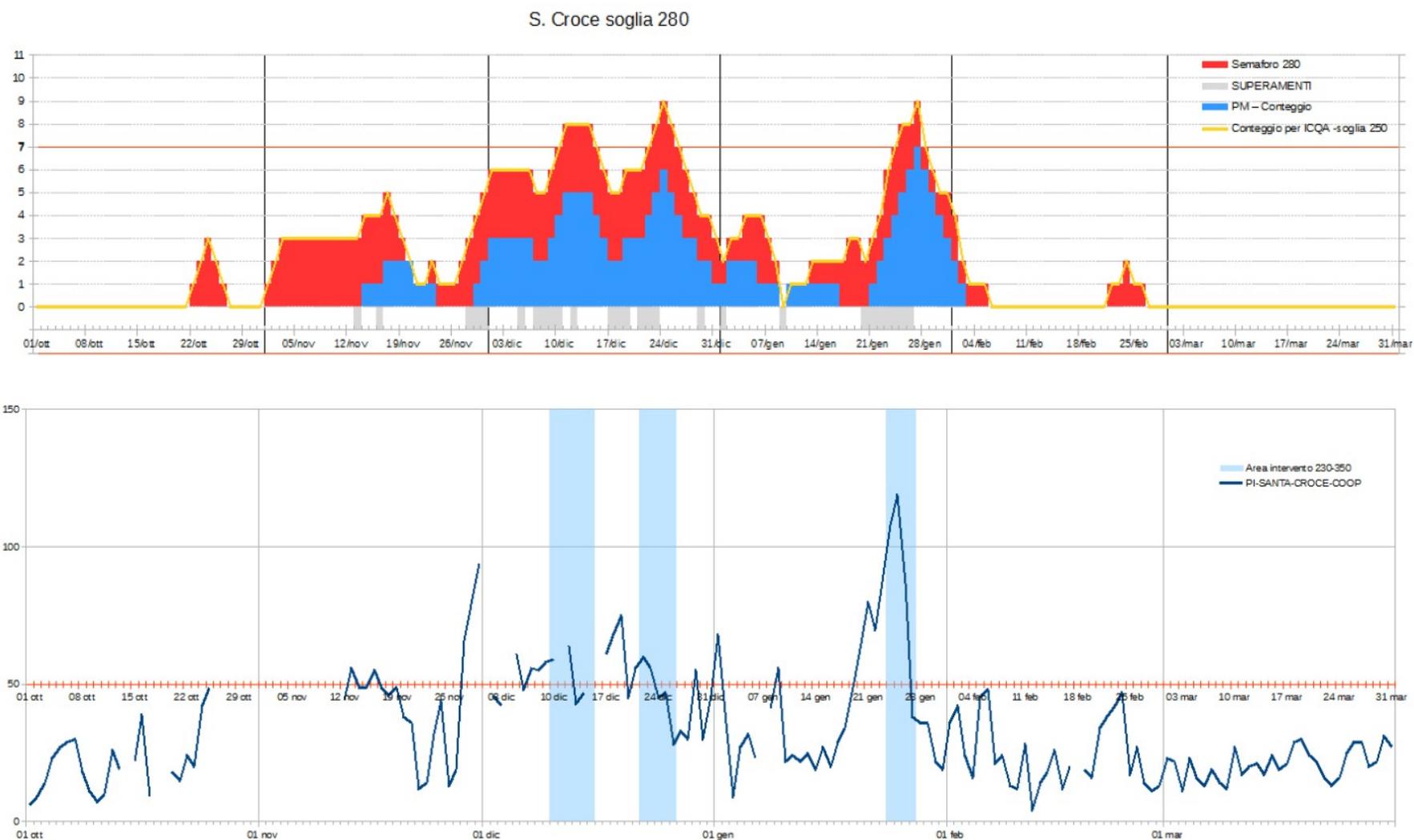


Figura 4: Comprensorio del cuoio (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per $H_{mix}=280$ m, il superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

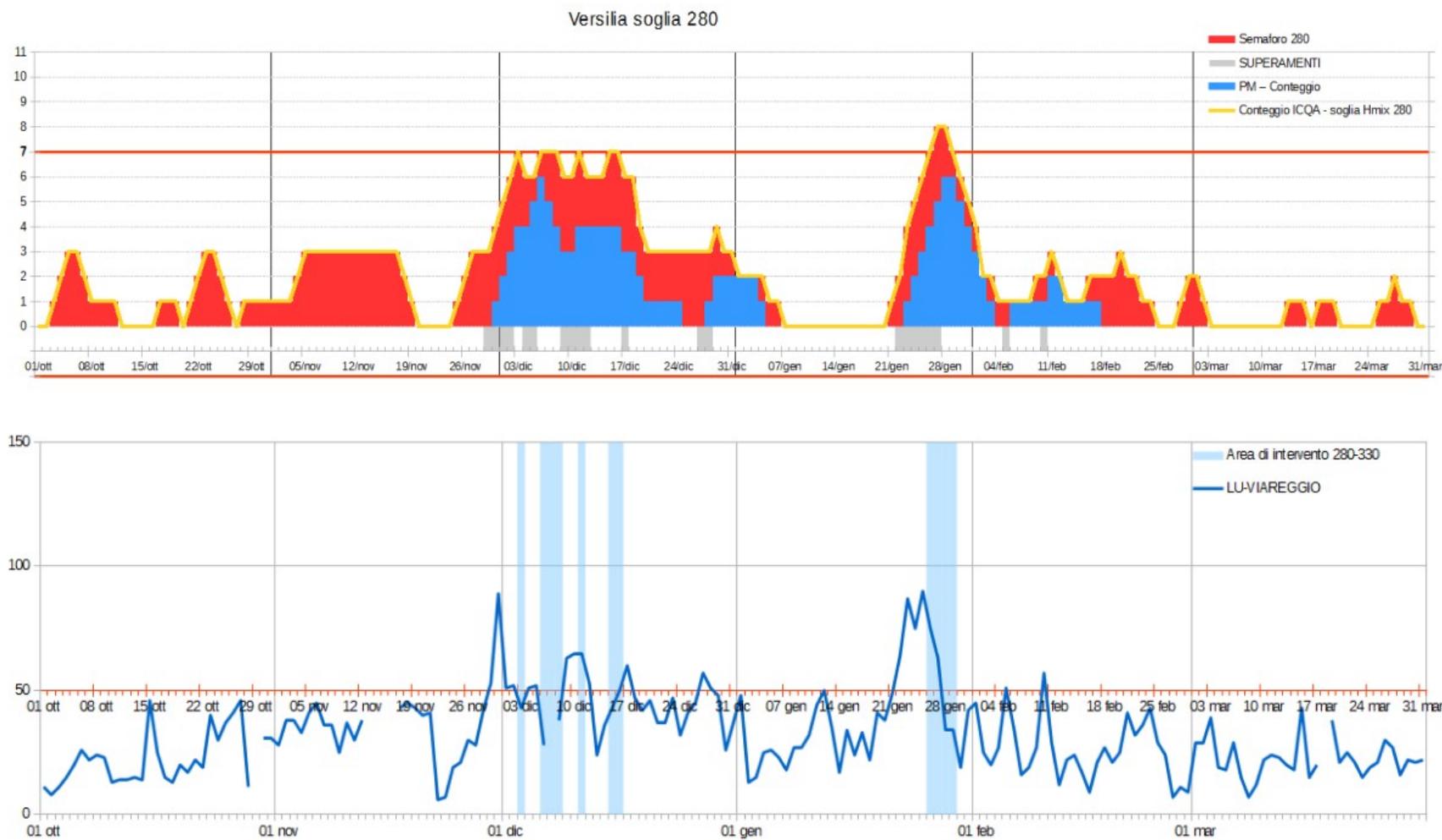


Figura 5: Versilia (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per Hmix=280 m, il superamento del valore limite di 50 µg/m³ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

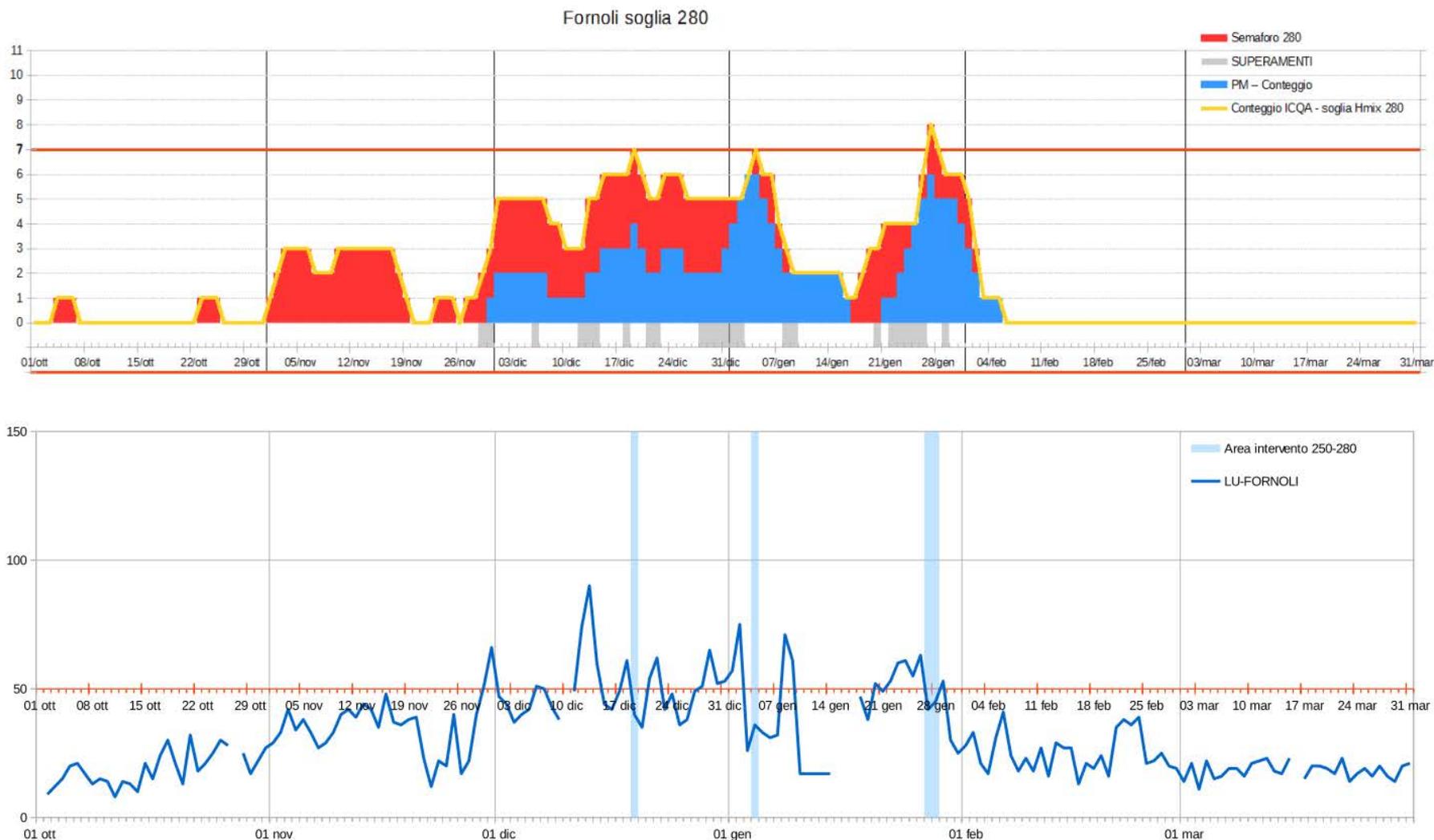


Figura 6: Media valle del Serchio (ottobre 2015-marzo 2016) – in alto: per ogni giorno è mostrato il numero di superamenti nei 7 giorni precedenti (istogramma blu), il numero di giorni con condizioni meteo critiche (istogramma rosso "semaforo 280") per Hmix=280 m, il superamento del valore limite di 50 µg/m³ (segmenti grigi) – in basso: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni dell'area e periodi di adozione degli interventi (retinatura azzurra).

4.2 Verifica della sensibilità dell'ICQA in funzione dei valori-soglia per Hmix

In questo paragrafo sono esaminati gli effetti delle diverse soglie prese in considerazione per Hmix nel capitolo 3. La Tabella 1 riporta, per ogni area di superamento, il numero di giorni con ICQA=2 in funzione della soglia, suddivisi nei 3 episodi più rilevanti che hanno caratterizzato il periodo ottobre 2015-marzo 2016; i giorni con ICQA=2 sono di seguito definiti "giorni di intervento".

Aree di superamento	Eventi					
	Novembre		Dicembre		Gennaio	
	Soglia	Giorni di intervento	Soglia	Giorni di intervento	Soglia	Giorni di intervento
Agglomerato di Firenze	150	-	150	15 (13+2)	150	-
	180	1	180	20 (3+17)	180	-
	200	1	200	21	200	-
	230	1	230	21	230	3
	250	1	250	21	250	3
	280	1	280	21	280	3
	300	1	300	21	300	3
	330	1	330	21	330	4
	350	1	350	21	350	4
Piana lucchese	150	-	150	27	150	3
	180	-	180	30	180	4
	200	-	200	30	200	6
	230	-	230	31	230	6
	250	2	250	31	250	7
	280	2	280	31	280	8
	300	2	300	31	300	8
	330	2	330	34 (31+3)	330	8
	350	2	350	34 (31+3)	350	8
Comprensorio del cuoio	150	-	150	5 (2+3)	150	1
	180	-	180	6 (2+4)	180	4
	200	-	200	10 (5+5)	200	5
	230	-	230	11 (6+5)	230	5
	250	-	250	11 (6+5)	250	5
	280	-	280	11 (6+5)	280	5
	300	-	300	11 (6+5)	300	5
	330	-	330	11 (6+5)	330	5
	350	-	350	11 (6+5)	350	5

Piana Prato-Pistoia	150	-	150	27	150	2
	180	2	180	27	180	3
	200	2	200	27	200	4
	230	2	230	27	230	6
	250	2	250	27	250	6
	280	2	280	27	280	6
	300	2	300	27	300	6
	330	2	330	27	330	6
	350	2	350	27	350	6
Media valle del Serchio	150	-	150	-	150	-
	180	-	180	-	180	-
	200	-	200	1	200	1
	230	-	230	1	230	1
	250	-	250	2 (1+1)	250	2
	280	-	280	2 (1+1)	280	2
	300	-	300	4 (1+3)	300	2
	330	-	330	6 (1+5)	330	3
	350	-	350	6 (1+5)	350	3
Versilia	150	-	150	-	150	-
	180	-	180	-	180	-
	200	-	200	1	200	-
	230	-	230	1	230	-
	250	-	250	3 (1+2)	250	4
	280	-	280	7 (1+3+1+2)	280	4
	300	-	300	7 (1+3+1+2)	300	4
	330	-	330	7 (1+3+1+2)	330	4
	350	-	350	10 (1+3+6)	350	4

Tabella 1: numero di giorni con ICQA=2 in funzione della soglia per Hmix (m), per ogni area di superamento.

Già ad una prima analisi dei dati riportati in Tabella 1, è possibile distinguere due tipi di comportamento dell'indice ICQA rispetto al variare della soglia per Hmix. Per l'Agglomerato di Firenze, la Piana lucchese, il Comprensorio del cuoio e la Piana Prato-Pistoia l'indice, e quindi il numero di giorni di intervento, ha una variabilità significativa solo fino alla soglia di 200 m; tra 230 m e 300 m diventa stabile (la massima variazione si osserva nella Piana lucchese, +4 giorni di intervento, invariato in tutti gli altri casi). Tra 300 m e 350 m si hanno ancora variazioni dell'indice di poche unità per l'Agglomerato di Firenze (+1 su 26 giorni di intervento) e per la Piana lucchese (+3 su 44 giorni di intervento).

Per la Media valle del Serchio e la Versilia si ha invece una maggiore sensibilità alla variazione della soglia per Hmix e per entrambe le zone si passa dall'assenza di giorni con ICQA=2 (con una soglia di 150 m) al numero di 9 giorni per la Versilia e di 14 giorni per la Media valle del Serchio.

Più nel dettaglio, viene di seguito riportata per ogni area una sintesi con l'analisi delle variazioni al variare della soglia per Hmix. Per tutti i grafici seguenti la legenda è quella riportata a fianco: "semaforo" corrisponde a condizioni meteo critiche, "SUPERAMENTI" corrisponde al superamento della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, "PM-Conteggio" corrisponde al numero di giorni di superamento negli ultimi 7 giorni, "Conteggio ICQA" corrisponde alla somma del numero di superamenti negli ultimi 7 giorni e del numero di condizioni meteo critiche nei tre giorni successivi.



Figura 7: Agglomerato di Firenze

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	0
			dic	15 (13+2)
			gen	0
			totale	15
180			nov	1
			dic	20 (17+3)
			gen	0
			totale	21
200			nov	1
			dic	21
			gen	0
			totale	22
230			nov	1
			dic	2
			gen	3
			totale	25

250			nov	1
			dic	21
			gen	3
			totale	25
280			nov	1
			dic	21
			gen	3
			totale	25
300			nov	1
			dic	21
			gen	3
			totale	25
330			nov	1
			dic	21
			gen	4
			totale	26
350			nov	1
			dic	21
			gen	4
			totale	26

Per quanto riguarda l'Agglomerato di Firenze, da quanto sopra riportato, è possibile osservare che anche applicando il valore-soglia più basso per Hmix (150 m) l'evento di dicembre dà luogo alla necessità di provvedimenti. L'ICQA raggiunge il valore 2 per un periodo complessivo di 15 giorni, di cui 13 consecutivi, presentando una breve interruzione poco prima della fine. Esaminando per confronto il solo conteggio del numero di superamenti si sottolinea quanto segue, che torna ad evidenziare l'importanza della previsione meteo. A partire dal 29 novembre si hanno 4 "blocchi" di superamento rispettivamente di 1, 2, 6 e 8 giorni: il solo conteggio del PM10 porta l'ICQA al valore 2 alla data del 19 dicembre, mentre con il contributo della previsione meteo, già al valore-soglia 150 m, ICQA=2 determina gli ultimi giorni del "blocco" da 6 superamenti e l'adozione degli interventi di emergenza viene anticipata di ben 10 giorni. Passando dal valore-soglia 150 m a 350 m i giorni ad ICQA=2 per questo episodio passano da 15 a 21 e per il valore-soglia 200 m il periodo di adozione degli interventi risulta continuo. Per il valore-soglia 150 m non si verificano, come detto, periodi di intervento relativi agli eventi di superamento di novembre e di gennaio.

Al valore-soglia 180 m si ha invece il raggiungimento di ICQA=2 anche per il periodo di superamenti di metà novembre; questo episodio è caratterizzato, per l'Agglomerato di Firenze, da un superamento seguito a breve distanza da 3 superamenti consecutivi. Come si può osservare dai grafici, ICQA=2 viene raggiunto in questo caso per un solo giorno e quando l'episodio è già terminato; anche passando a valori-soglia superiori per Hmix non si ottengono miglioramenti, in quanto per l'evento di novembre l'andamento dell'ICQA a partire dal valore-soglia 180 m non subisce ulteriori variazioni.

L'ultimo significativo cambiamento nei periodi ad ICQA=2 si ha passando dal valore-soglia per Hmix pari a 200 m al valore-soglia 230 m. A questo valore, infatti, si ha ICQA=2 in corrispondenza degli eventi di superamento di gennaio per una durata di 3 giorni, e proprio in concomitanza del picco di massima concentrazione. Aumentando il valore-soglia per Hmix i giorni ad ICQA=2 per questo episodio salgono al massimo a 4.

In conclusione, come rappresentato anche dal grafico seguente, che riporta il numero di giorni ad ICQA=2 in funzione del valore-soglia per Hmix, la sensibilità dell'indice rispetto ad Hmix diventa trascurabile a partire dal valore di 230 m.

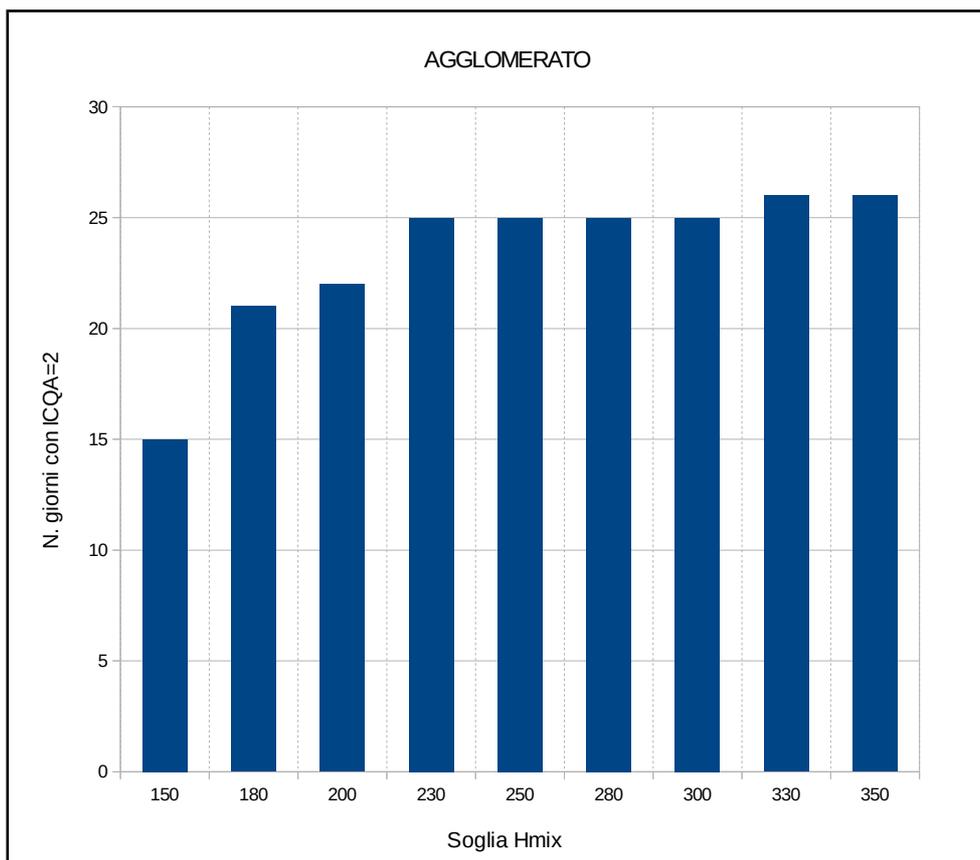


Figura 8: Agglomerato di Firenze - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

Tornando ad osservare i grafici in sequenza si può notare che aumentando progressivamente il valore-soglia si verifica la comparsa di alcuni "falsi allarmi" dovuti alle previsioni meteo, ovvero valori tra 1 e 3 del conteggio dei giorni meteo critici che non sono seguiti da effettivi episodi di superamento. Tuttavia questi "falsi allarmi", verificandosi in periodi di non superamento, non conducono al valore 2 dell'indice e pertanto hanno un impatto sull'effettiva attivazione dei provvedimenti meno importante rispetto ai "mancati allarmi". Questa constatazione lascia spazio per una scelta di valori-soglia più cautelativi senza che ciò necessariamente comporti il determinarsi di "falsi allarmi".

La scelta dei valori-soglia è stata in generale effettuata valutando il miglior compromesso tra i "mancati allarmi" ed i "falsi allarmi" sulla base dei dati storici attualmente disponibili. Trattandosi di un modello semi-empirico su base statistica, occorre mantenere aggiornate nel tempo tali valutazioni ed eventualmente aggiustare di conseguenza le soglie man mano che aumentano i dati a disposizione.

Figura 9: Piana lucchese

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	-
			dic	27
			gen	3
			totale	30
180			nov	-
			dic	30
			gen	4
			totale	34
200			nov	-
			dic	30
			gen	6
			totale	36
230			nov	-
			dic	31
			gen	6
			totale	37

250			nov	2
			dic	31
			gen	7
			totale	40
280			nov	2
			dic	31
			gen	8
			totale	41
300			nov	2
			dic	31
			gen	8
			totale	41
330			nov	2
			dic	34 (31+3)
			gen	8
			totale	44
350			nov	2
			dic	34 (31+3)
			gen	8
			totale	44

Per la Piana lucchese già al valore-soglia 150 m per Hmix l'evento di dicembre conduce a ICQA=2 pressoché per tutto il mese; anche in questo caso il contributo della previsione meteo consente di anticipare di quattro giorni l'adozione degli interventi. Già al valore-soglia 230 m il periodo con ICQA=2 si estende esattamente dal 1° al 31 dicembre; dal valore-soglia da 330 m a 350 m il periodo con ICQA=2 si estende nella prima settimana di gennaio in maniera discontinua e tardiva rispetto ai superamenti che l'hanno determinato.

Anche l'episodio di gennaio, raggiungendo i 7 superamenti consecutivi, dà luogo ad ICQA=2 già a partire dal valore-soglia 150 m senza il contributo della previsione meteo. Tuttavia, con un valore-soglia superiore a 250 m l'evento è individuato con buon anticipo. L'evento di novembre consiste, per la Piana lucchese, in 7 superamenti distribuiti in due gruppi di giorni consecutivi rispettivamente di 3 e di 4 giorni, separati da due giorni con concentrazioni di poco sotto il limite. La condizione di ICQA=2 non si verifica senza il contributo della previsione meteo e per valori-soglia superiori a 250 m, mentre tra 250 m e 350 m il valore dell'indice non subisce ulteriori variazioni in questo periodo.

Come già messo in rilievo in precedenza, aumentando il valore-soglia si può notare la comparsa di alcuni "falsi allarmi" nel conteggio dei giorni meteo critici, ovvero valori tra 1 e 3 del conteggio meteo che non sono seguiti da effettivi episodi di superamento.

In conclusione, osservando la Figura 10 si può notare che dal valore-soglia 250 m al valore-soglia 350 m si ha uno scarto di appena 4 giorni ad ICQA=2. I giorni ad ICQA=2 sono comunque in numero notevole nel periodo e variano da 30 per il minimo valore-soglia a 44 per quello massimo.

Nell'intorno del valore-soglia selezionato (280 m), e più precisamente tra 250 m e 300 m, i giorni ad ICQA=2 variano da 40 a 41.

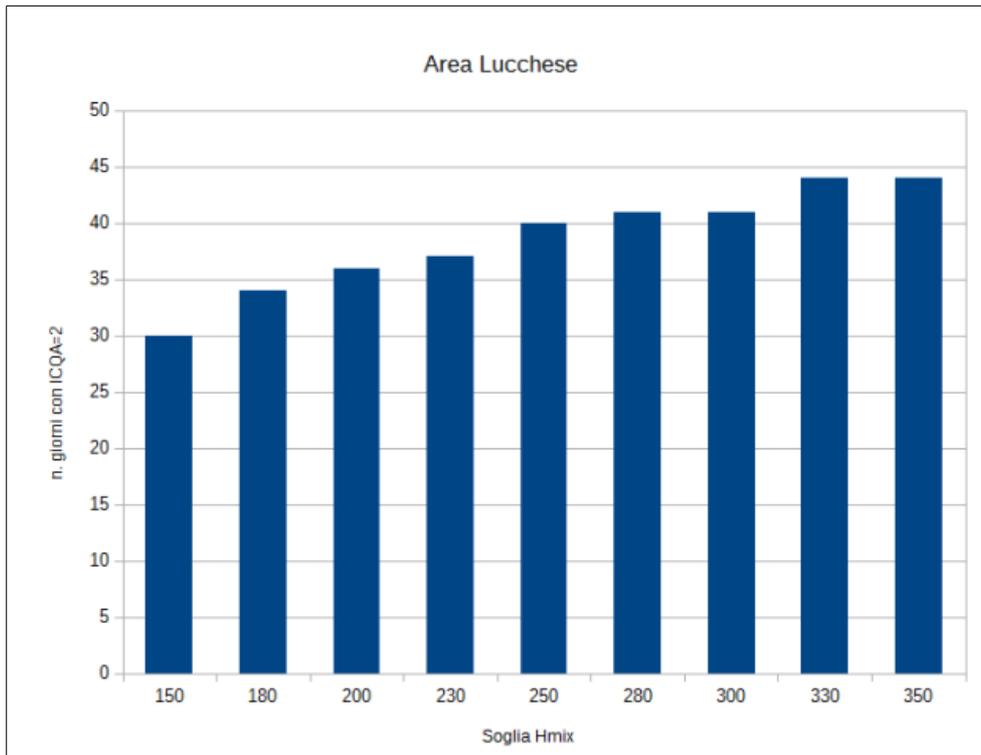
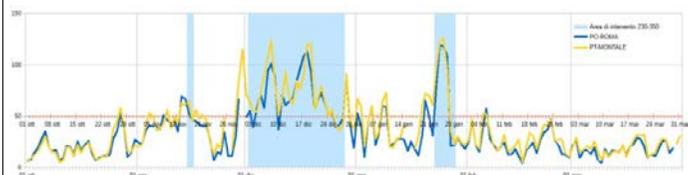
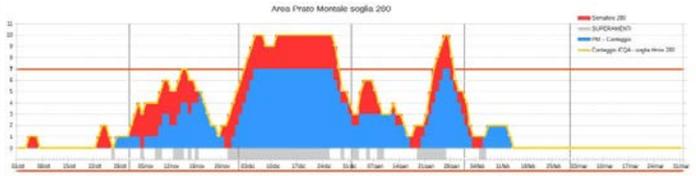
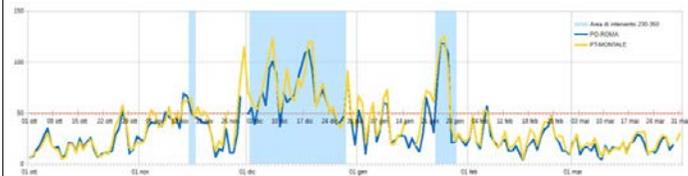
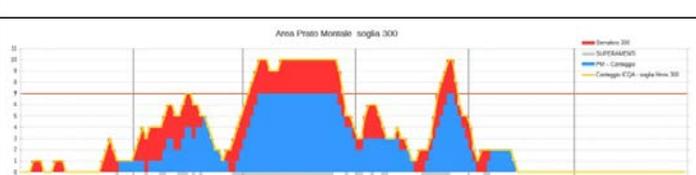
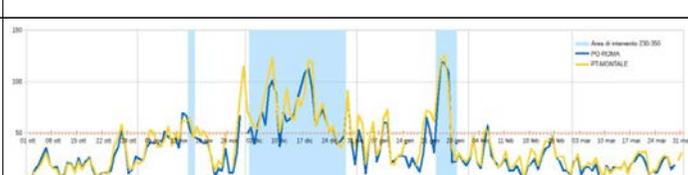
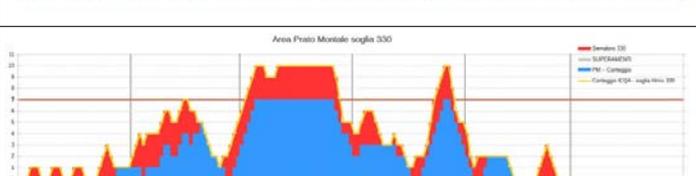
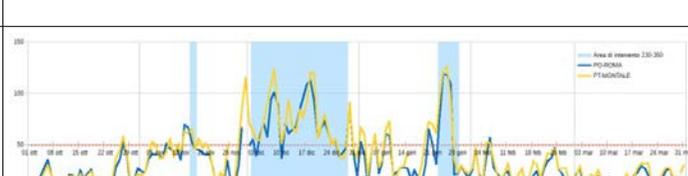
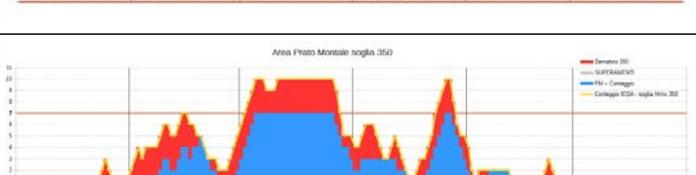


Figura 10: Piana lucchese - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

Figura 11: Piana Prato-Pistoia

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	-
			dic	27
			gen	2
			totale	29
180			nov	2
			dic	27
			gen	3
			totale	32
200			nov	2
			dic	27
			gen	4
			totale	33
230			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35

250			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35
280			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35
300			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35
330			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35
350			nov	2
			dic	27
			gen	6
			totale	35

A livello di superamenti l'episodio centrale dell'inverno per la Piana Prato-Pistoia è caratterizzato da un blocco di superamenti continui che va dal 28 di novembre al 25 dicembre ed a cui fa seguito il raggiungimento del valore ICQA=2 nel periodo 2-28 dicembre, già al valore-soglia 150 m per Hmix. Per quanto riguarda l'episodio di dicembre non si hanno variazioni nel periodo di ICQA=2 su tutto l'intervallo dei valori-soglia esaminati.

Tale episodio, come si può osservare dai grafici degli andamenti del PM10, presenta una coda con picchi di concentrazione più bassi alternati a brevi periodi di non superamento. Questa coda non conduce ad ICQA=2, nonostante il contributo delle previsioni meteo, ed anche in questo caso modificando il valore-soglia non si hanno variazioni nella risposta della procedura di attivazione degli interventi.

L'episodio iniziale dell'inverno, che si colloca nella seconda metà di novembre ed è caratterizzato da valori altalenanti delle concentrazioni intorno al limite, dà luogo in corrispondenza del valore-soglia 180 m a 2 giorni ad ICQA=2 immediatamente successivi al valore del picco più elevato. Anche in questo caso la sensibilità al variare del valore-soglia risulta nulla, con indice ICQA invariato passando dal valore-soglia per Hmix 180 m a 350 m.

Per quanto riguarda infine l'episodio di metà gennaio, la scelta del valore-soglia sembra avere una maggiore rilevanza. Infatti, nonostante il valore ICQA=2 sia raggiunto già a 150 m, per valori-soglia più elevati il periodo di attivazione degli interventi si estende ai giorni precedenti arrivando addirittura ad anticipare il picco di concentrazione pari a $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se efficace, si può ipotizzare che un intervento adottato con tale tempistica possa, se non evitare il superamento, almeno contenere il valore del picco.

La Piana Prato-Pistoia si dimostra una delle meno sensibili alla variazione del valore-soglia. Il numero di giorni ad ICQA=2 varia da 29 per il minimo valore-soglia a 35 per quello più elevato ed è costante già a 230 m. Nella sequenza di grafici sopra riportati si nota che a fronte di identici periodi ad ICQA=2 (grafici di destra), l'andamento dei conteggi (grafici a sinistra) evidenzia variazioni nel conteggio dei giorni meteo critici: tali variazioni sono relative ai "falsi allarmi" già citati per le altre aree, che risultano ininfluenti rispetto al risultato finale del protocollo di intervento.

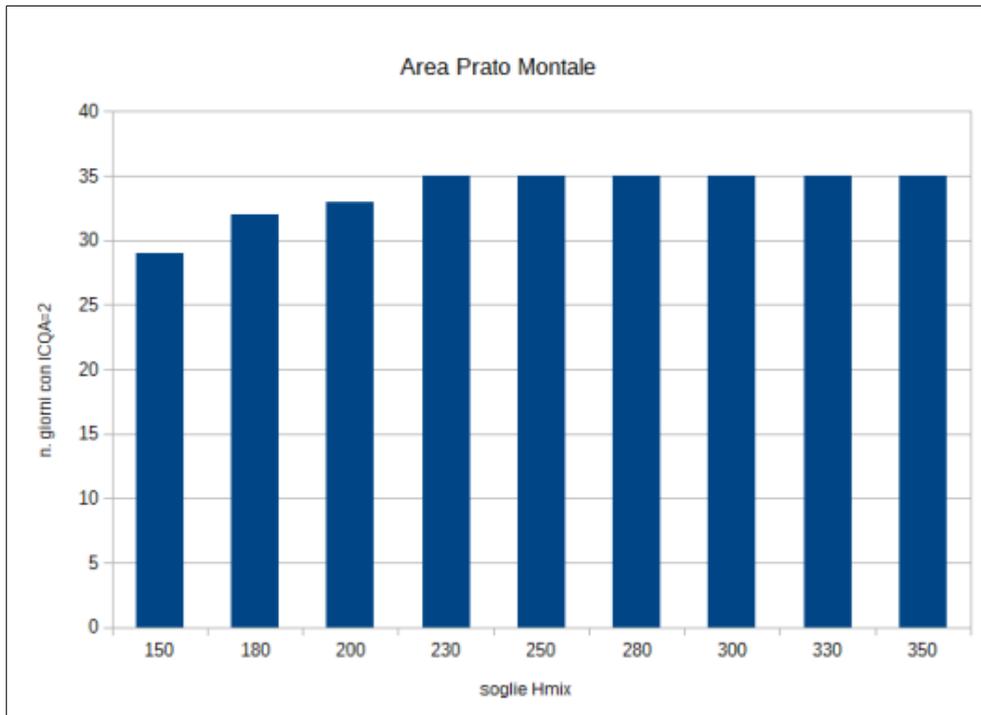


Figura 12: Piana Prato-Pistoia - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

Figura 13: Comprensorio del cuoio

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	-
			dic	5 (2+3)
			gen	1
			totale	6
180			nov	-
			dic	6 (2+4)
			gen	4
			totale	10
200			nov	-
			dic	10 (5+5)
			gen	5
			totale	15
230			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16

250			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16
280			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16
300			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16
330			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16
350			nov	-
			dic	11 (6+5)
			gen	5
			totale	16

Il Comprensorio del cuoio è caratterizzato da due episodi ad ICQA=2. Per il mese di novembre, nonostante la prolungata criticità della previsione meteo, non ci sono dati sufficienti sugli eventuali superamenti a causa di alcune discontinuità nella serie storica delle misure di qualità dell'aria. Questo problema, che può verificarsi in qualsiasi area di superamento, è più probabile in quelle dotate di una sola stazione di riferimento. La mancanza di dati si riflette probabilmente anche nell'episodio di dicembre, caratterizzato da due periodi ad ICQA=2 che, al variare del valore-soglia per Hmix, passano rispettivamente da un minimo di 2 a un massimo di 6 giorni il primo e da un minimo di 3 ad un massimo di 5 giorni il secondo. Anche in corrispondenza della massima estensione del periodo di intervento, che si verifica al valore-soglia 230 m, i due periodi restano separati e distanti una settimana.

L'episodio di gennaio, essendo caratterizzato da 7 giorni di superamento consecutivi, conduce ad ICQA=2 già per il valore-soglia 150 m, senza contributo delle previsioni meteo. Questo risultato si verifica unicamente nel giorno successivo all'ultimo superamento. Con il contributo della previsione meteo, già a partire dal valore-soglia di 180 m i giorni ad ICQA=2 diventano 4. Di questi, 3 sono giorni di superamento in cui è compresa la massima concentrazione di PM10 registrata nel periodo ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

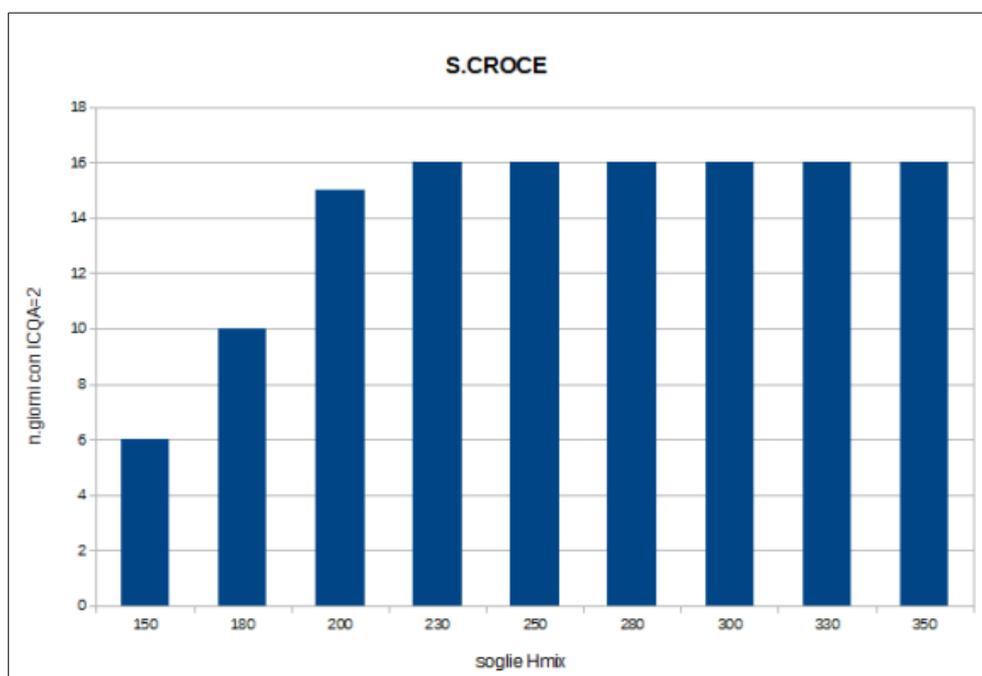


Figura 14: Comprensorio del cuoio - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

Per il Comprensorio del cuoio la sensibilità alla variazione del valore-soglia per Hmix è massima tra 150 m e 200 m dove il numero di giorni ad ICQA=2 cambia da 6 a 15, mentre è nulla a partire da 230 m.

Figura 15: Media valle del Serchio

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	-
			dic	-
			gen	-
			totale	0
180			nov	-
			dic	-
			gen	-
			totale	0
200			nov	-
			dic	1
			gen	1
			totale	2
230			nov	-
			dic	1
			gen	1
			totale	2

250			nov	-
			dic	2 (1+1)
			gen	2
			totale	4
280			nov	-
			dic	2 (1+1)
			gen	2
			totale	4
300			nov	-
			dic	4 (1+3)
			gen	2
			totale	6
330			nov	-
			dic	6 (1+5)
			gen	3
			totale	9
350			nov	-
			dic	6 (1+5)
			gen	3
			totale	9

La Media valle del Serchio, rappresentata dalla stazione di LU-Fornoli, è una delle due aree per cui il protocollo di intervento fornisce i risultati meno soddisfacenti. I periodi ad ICQA=2 risultano infatti sporadici e non ben distribuiti rispetto ai valori massimi delle concentrazioni di PM10. Questo probabilmente accade per diversi motivi, alcuni legati alla serie storica a cui è applicata l'analisi, altri di carattere più generale.

Riguardo alla serie storica si può notare come i superamenti della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siano caratterizzati da discontinuità ed i periodi più prolungati con superamenti consecutivi siano rispettivamente di 6 e 5 giorni. Inoltre anche in quest'area, come per il Comprensorio del cuoio, essendo attiva un'unica stazione di riferimento la cui serie storica presenta interruzioni, anche il calcolo dell'ICQA ne risulta condizionato. Più in generale, la prestazione inferiore del protocollo di intervento sembra legata alla poca corrispondenza tra previsione meteo ed "episodi acuti", per cui l'ICQA raggiunge il valore 2 in ritardo rispetto al verificarsi dei superamenti. Non è da escludere che l'area rappresentata dalla stazione, in quanto area valliva con orografia assai complessa, sia influenzata da un microclima particolare non facilmente rappresentabile dagli indicatori meteo selezionati che, come visto, funzionano molto bene nelle altre aree interne sin qui esaminate. La numerosità dei dati al momento disponibili non consente tuttavia di trarre conclusioni definitive ed una analisi più approfondita, nonché eventuali affinamenti successivi, saranno possibili solo sperimentando l'utilizzo dell'ICQA in più annualità.

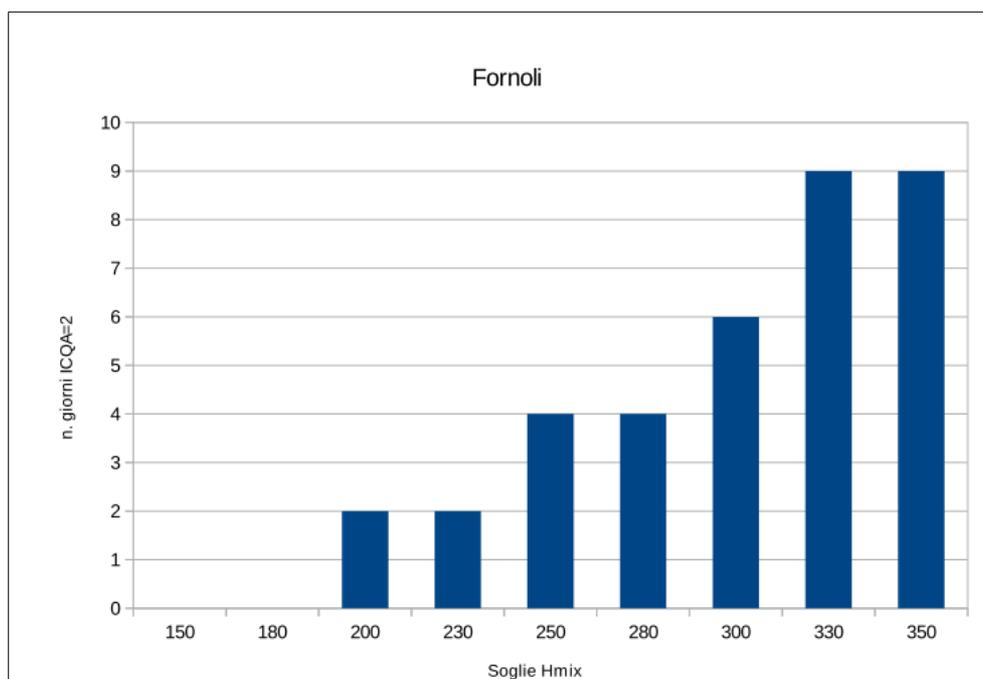
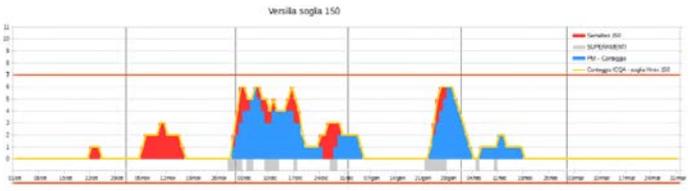
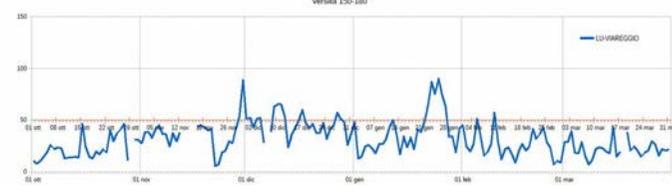
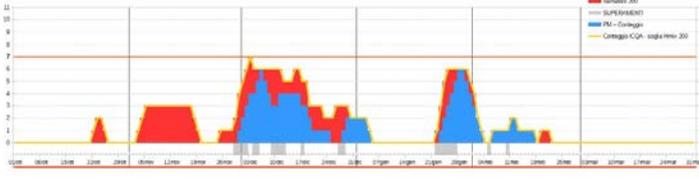
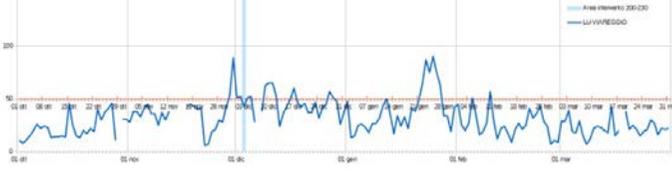
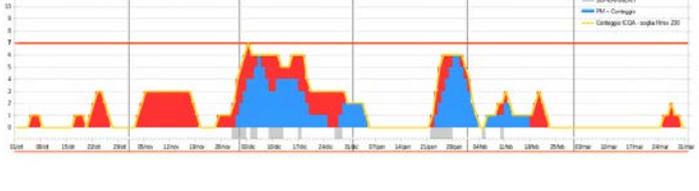
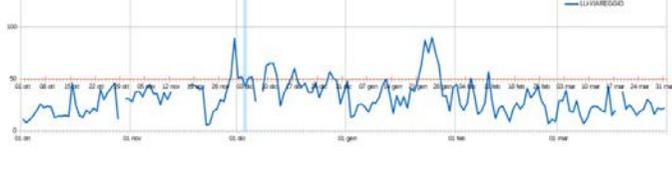


Figura 16: Media valle del Serchio - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

La Figura 16 mostra che l'ICQA in questo caso ha una maggiore dipendenza dal valore-soglia e, diversamente dalle aree precedentemente esaminate, non si individua facilmente un valore di H_{mix} oltre il quale il quadro dei giorni ad $ICQA=2$ rimanga praticamente costante.

Figura 17: Versilia

ICQA

Soglia	ICQA		Area provvedimenti (giorni)	
150			nov	-
			dic	-
			gen	-
			totale	0
180			nov	-
			dic	-
			gen	-
			totale	0
200			nov	-
			dic	1
			gen	-
			totale	1
230			nov	-
			dic	1
			gen	-
			totale	1

250			nov	-
			dic	3 (1+2)
			gen	4
			totale	7
280			nov	-
			dic	7 (1+3+1+2)
			gen	4
			totale	11
300			nov	-
			dic	7 (1+3+1+2)
			gen	4
			totale	11
330			nov	-
			dic	7 (1+3+1+2)
			gen	4
			totale	11
350			nov	-
			dic	10 (1+3+6)
			gen	4
			totale	14

Anche per la Versilia il calcolo dell'ICQA non conduce all'adozione di interventi fino al valore-soglia 200 m per Hmix. Inoltre, fino al valore-soglia 230 m risulta un solo giorno ad ICQA=2 che si verifica in occasione di un giorno con concentrazioni di PM10 inferiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ successivo al picco massimo di uno dei due episodi più importanti della stagione invernale. Come nel caso della Media valle di Serchio, l'indice non risponde in maniera ottimale agli effettivi superamenti registrati nel semestre invernale 2015-2016, probabilmente perché trattandosi di un'area costiera l'influenza dei parametri meteo selezionati può essere diversa rispetto alle zone interne in cui le prestazioni dell'ICQA sono buone. Pertanto valgono nuovamente le considerazioni già esposte per la Media valle del Serchio in merito alla necessità di una valutazione più approfondita circa le prestazioni dell'indice nel corso della sua applicazione in queste aree.

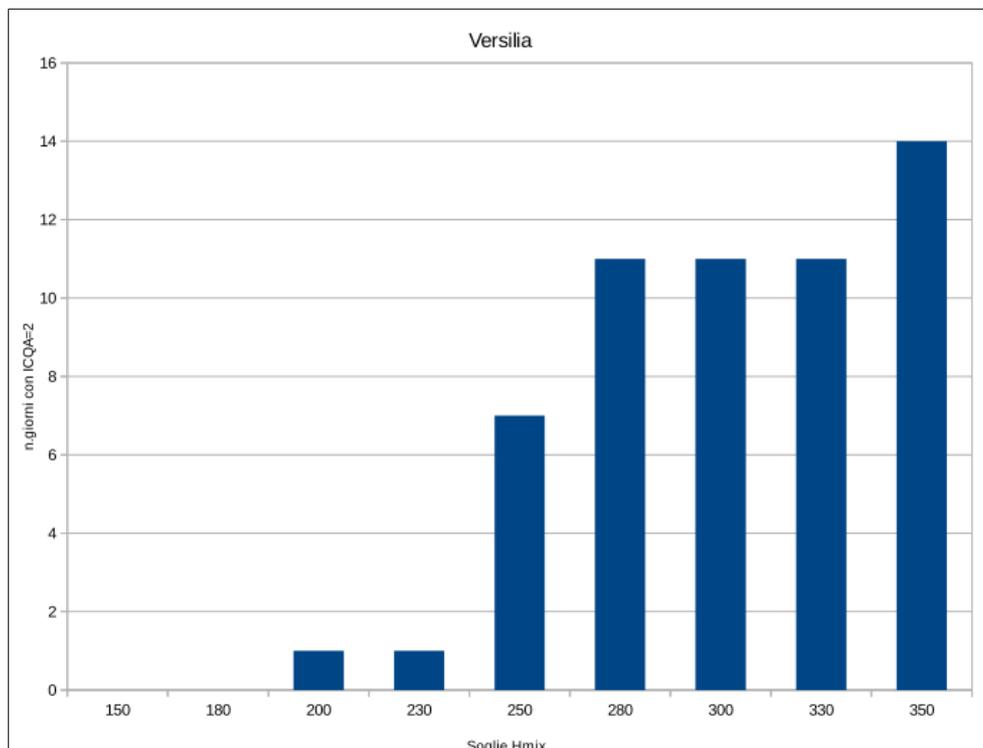


Figura 18: Versilia - numero di giorni con ICQA=2 al variare del valore-soglia per Hmix.

4.3 Sintesi conclusiva

Le valutazioni sopra riportate per ogni area di superamento in funzione dei valori-soglia di Hmix conferma la necessità di identificare valori livelli differenziati per ogni area di superamento. Tenendo conto delle considerazioni riportate nel capitolo 3 e delle valutazioni espresse in questo capitolo, la sperimentazione sull'indice ICQA a partire da 1° novembre 2016 verrà condotta utilizzando come valore-soglia per Hmix:

- 230 m per Agglomerato Firenze (stime meteo presso FI-Signa);
- 250 m per Piana Prato-Pistoia (stime meteo presso PT-Montale);
- 280 m per Piana lucchese (stime meteo presso LU-Capannori);
- 280 m per Comprensorio del cuoio (stime meteo presso PI-Santa Croce);
- 250 m per Media valle del Serchio (stime meteo presso LU-Fornoli);
- 200 m per Versilia (stime meteo presso LU-Viareggio);
- 250 m per Valdarno superiore (stime meteo presso FI-Figline).

5. Procedura di elaborazione e pubblicazione dei dati ai fini dell'applicazione della D.G.R. 814/2016

5.1 Procedura operativa di elaborazione dell'indice meteo

Presso il Consorzio LaMMA è stata sviluppata ed è in corso di validazione la catena di modelli meteorologici ad alta risoluzione WRF-CALMET, innestata nell'attuale catena operativa, per la previsione di alcune variabili meteo (in particolare l'altezza dello strato di rimescolamento, Hmix) che hanno un'influenza significativa sulla dispersione degli inquinanti in atmosfera. Il modello CALMET, inizializzato dal modello ECMWF-WRF a 3 km di risoluzione, è configurato su un dominio che copre la Toscana, con una risoluzione orizzontale pari a 1 km e 18 livelli verticali, da 10 m a 6000 m di quota. La catena ad alta risoluzione, come il modello WRF che la inizializza, fornisce previsioni a 48 ore, cioè la previsione per il giorno corrente e per quello successivo.

Dal momento che l'indice ICQA messo a punto in questo rapporto richiede la previsione delle variabili meteo ad alta risoluzione per 72 ore (giorno corrente e due giorni successivi), per coprire le ultime 24 ore è stata messa a punto una seconda catena modellistica WRF-CALMET. Questa catena è configurata sullo stesso dominio spaziale ed ha una risoluzione finale analoga alla prima (1 km), ma è inizializzata dal modello GFS-WRF a 12 km di risoluzione, operativo per previsioni fino a 5 giorni.

In questo modo vengono prodotte ogni giorno previsioni a tre giorni delle variabili Hmix e precipitazione, necessarie per elaborare quotidianamente l'indice meteorologico per la previsione delle condizioni critiche per l'inquinamento atmosferico da PM10. Allo scopo, è stata elaborata una procedura automatica che ha le caratteristiche descritte di seguito.

La procedura opera quotidianamente in modalità automatica via *crontab* alle ore 5:00 UTC a seguito delle catene operative previsionali WRF-CALMET. Gli input sono Hmix e precipitazione generati dalla catena ECMWF-WRF 3km-CALMET delle previsioni relative al giorno corrente ed al giorno successivo; dalla catena GFS-WRF 12 km-CALMET delle previsioni relative al secondo giorno successivo.

Dalle previsioni vengono estratti la media giornaliera di Hmix e il cumulato giornaliero di precipitazione, nei punti corrispondenti alle stazioni di rilevamento del PM10 collocate all'interno delle 7 aree di superamento dell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015: FI-Signa, PT-Montale, LU-Capannori, PI-S.Croce, LU-Fornoli, LU-Viareggio, FI-Figline.

Per ognuna delle stazioni, rappresentative di tutta l'area di appartenenza, vengono costruiti i relativi indici seguendo i seguenti criteri:

- se $H_{mix} < \text{valore-soglia}_{\text{stazione}}$ e $Prec < 15$ mm: condizioni critiche per l'accumulo degli inquinanti (codice=1 , colore rosso);
- se $H_{mix} > 800$ m o $Prec > 30$ mm: condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti (codice=3, colore verde);
- negli altri casi: condizioni indifferenti per l'accumulo o la dispersione degli inquinanti (codice=2, colore giallo).

Il valore-soglia per H_{mix} varia per ogni stazione, come riportato nel capitolo 4: FI-Signa (230 m), PT-Montale (250 m), LU-Capannori (280 m), PI-S.Croce (280 m), LU-Fornoli (250 m), LU-Viareggio (200 m), FI-Figline (280 m).

L'uscita dell'applicazione è costituita da una tabella che riporta per ogni singola stazione i codici "semaforici" sopra elencati, relativi alla data corrente e ai due giorni successivi; tale file viene inviato quotidianamente ad ARPAT. Nella Tabella 1 ne è riportato un esempio.

Il risultato ottenuto per ogni stazione è associato all'intera area di superamento in cui è presente la stazione.

STAZIONE	+0d	+1d	+2d
FI-SIGNA	2	2	3
PT-MONTALE	2	2	3
LU-CAPANNORI	2	2	3
PI-SANTACROCE-COOP	2	2	3
LU-FORNOLI	2	3	3
LU-VIAREGGIO	2	2	2
FI-FIGLINE	2	3	3

Tabella 1: Esempio che riporta per ogni stazione i "codici colore", relativi alla data corrente e ai due giorni successivi.

5.2 Modalità di pubblicazione e comunicazione del valore dell'indice ICQA

Il valore giornaliero di concentrazione di PM10 viene pubblicato quotidianamente da ARPAT sul proprio sito web nella sezione dedicata alla qualità dell'aria.

In una sezione dedicata sono inoltre pubblicati dal 1° novembre al 31 marzo sia i valori delle concentrazioni di PM10 delle stazioni di riferimento in ciascuna area di superamento, sia le previsioni meteo fornite dal Consorzio LaMMA relative alla capacità dell'atmosfera di favorire l'accumulo degli inquinanti; di conseguenza viene calcolato e presentato il valore dell'ICQA.

L'informazione sintetizzata sul sito web riporta le seguenti indicazioni minime:

A: valori della media giornaliera di PM10 registrati da ARPAT negli ultimi 7 giorni presso le stazioni di riferimento di ciascuna area di superamento. Nello specifico:

- area di superamento;
- stazioni di riferimento dell'area³¹;
- valore della media giornaliera di PM10 rilevato dalle stazioni dell'area negli ultimi sette giorni, con l'evidenziazione dell'eventuale superamento del valore limite di 50 µg/m³;
- numero dei superamenti del valore limite di 50 µg/m³ in ciascuna area negli ultimi sette giorni (nel caso nell'area in cui siano presenti più stazioni vale il superamento di una qualsiasi di esse).

B: previsioni prodotte dal Consorzio LaMMA rispetto alla capacità dell'atmosfera di favorire l'accumulo degli inquinanti nei bassi strati, nel giorno di pubblicazione del bollettino della qualità dell'aria e per i due giorni successivi, tramite appositi codici colore. Nello specifico le colorazioni assunte dai codici-colore assumono i seguenti significati:

- colore rosso: condizioni previste favorevoli all'accumulo di inquinanti, ovvero condizioni critiche;
- colore verde: condizioni previste favorevoli alla dispersione degli inquinanti;
- colore giallo: condizioni previste indifferenti all'accumulo di inquinanti.

31 Come indicate nell'Allegato 3 alla D.G.R. 1182/2015.

C: somma del numero dei superamenti negli ultimi 7 giorni nell'area e somma del numero di giorni caratterizzati da condizioni critiche nella previsione.

D: valore dell'Indice di Criticità per la Qualità dell'Aria: ICQA³²:

- valore 1 se la somma al punto C è inferiore a 7;
- valore 2 se la somma al punto C è pari o superiore a 7.

ARPAT inoltre effettua le comunicazioni agli Enti competenti previste dalla D.G.R. 814/2016, sia degli eventuali superamenti del valore limite di 50 µg/m³ di PM10 nell'area di superamento, sia del raggiungimento della condizione ICQA=2.

³² Così come indicato nella D.G.R. 814/2016.

6. Conclusioni

Le valutazioni che sono state condotte nei precedenti capitoli, facendo riferimento agli "episodi acuti" caratterizzati dal superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da parte del particolato PM10, hanno portato a stabilire i criteri con cui viene definito allo stato attuale delle conoscenze l'indice ICQA, previsto dalla L.R. 9/2010 (come modificata dalla L.R. 27/2016).

Nel capitolo 1, in cui è riportata un'analisi dei sistemi di gestione degli "episodi acuti" di inquinamento atmosferico, sono esposti i possibili approcci ed è illustrato il percorso effettuato dalla Regione Toscana come premessa allo sviluppo dell'indice ICQA. L'impostazione adottata è coerente con alcune metodologie note in letteratura ed applicate con successo in altri Paesi, sintetizzate nel testo.

Dall'analisi degli "episodi acuti" verificatisi in Toscana tra il 2012 ed il 2016, suddivisi secondo le zone e le stazioni individuate dalla D.G.R. 1182/2015, sia su base annuale sia nei periodi invernali (periodo compreso tra ottobre e marzo), è stato osservato che in Toscana l'applicazione rigida delle indicazioni contenute nel Protocollo d'intesa del 30 dicembre 2015 tra Ministero dell'Ambiente, Conferenza delle Regioni e ANCI per migliorare la qualità dell'aria (nel quale viene stabilito che le misure emergenziali siano attivate dopo reiterati superamenti delle soglie giornaliere massime consentite delle concentrazioni di PM10, identificabili in 7 giorni) in talune zone non avrebbe portato ad alcuna attivazione delle misure di contenimento delle emissioni. Pertanto l'assunzione di interventi di emergenza dopo 7 giorni di superamento consecutivo non è sembrata appropriata per le situazioni di rischio che si possono verificare nella realtà regionale della Toscana.

E' stata verificata quindi l'applicazione di una finestra temporale mobile sui 7 giorni precedenti, ipotizzando di attivare gli interventi se i giorni di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'interno della finestra sono maggiori di 5 o di 4. Per l'Agglomerato di Firenze è stata effettuata la valutazione inserendo anche tutte le stazioni (fondo e traffico), evidenziando che il risultato non cambia in maniera significativa. Il criterio dei 4 superamenti su 7 per l'attivazione degli interventi di emergenza consente di identificare adeguatamente questi periodi di criticità. Tuttavia per evitare il verificarsi di attivazioni tardive risulta necessaria l'introduzione della previsione meteorologica.

L'analisi delle grandezze meteorologiche più significative per la descrizione della capacità di dispersione dei bassi strati dell'atmosfera, scelte tra quelle disponibili in

forma prognostica ottenute con idonei modelli meteorologici, ha portato alla scelta dei parametri: altezza dello strato di rimescolamento (Hmix) e precipitazione cumulata giornaliera (Prec). Questi due parametri vengono utilizzati, unitamente al numero di superamenti nei sette giorni precedenti, per costruire l'indice combinato ICQA.

Lo studio delle variabili Hmix e precipitazione nel periodo ottobre 2015-marzo 2016 ha permesso di individuare (per ciascun parametro) due soglie, di verificarne la capacità di predizione delle condizioni critiche o favorevoli alla dispersione degli inquinanti, e di elaborare un nuovo indicatore che classifichi le condizioni atmosferiche in tre categorie: condizioni critiche, indifferenti, favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Le soglie sono state valutate sia su scala regionale sia a livello di ciascuna area di superamento; in prima istanza saranno utilizzati i valori-soglia individuati per ciascuna stazione rappresentativa dell'area di superamento. Per il Valdarno superiore verrà utilizzata la soglia ottenuta dall'insieme dei dati relativi alle stazioni delle pianure interne. I risultati ottenuti per ciascuna stazione vengono considerati validi per tutta la rispettiva area di superamento di appartenenza.

In ogni caso, data l'esiguità del campione di dati (ottobre 2015-marzo 2016) su cui è stata effettuata l'analisi statistica, è necessario verificare l'indice meteo proposto per un periodo congruo ed eventualmente modificare i valori-soglia.

L'analisi del periodo invernale 2015-2016, sia per i parametri meteo sia per i superamenti del valore limite giornaliero, è stata finalizzata ad ottimizzare la definizione dell'ICQA, con l'obiettivo di ottenere un'attivazione delle misure contingibili da parte dei Sindaci quanto più tempestiva ed efficace possibile. L'indice è stato valutato in funzione di diversi valori-soglia di Hmix (150÷350 m). Per ogni area di superamento sono state verificate le indicazioni derivanti dalle valutazioni statistiche dell'Hmix per ogni area ed è stata quindi definita la soglia minima di Hmix per ogni area. Come tutti i metodi di natura statistica, anche questa procedura richiede una periodica rivalutazione al fine di aggiornare le soglie delle grandezze meteo all'evolversi del quadro emissivo locale. E' chiaro, da quanto sopra sintetizzato, che la definizione dell'indice ICQA e l'individuazione delle condizioni meteo critiche devono essere assunte in via sperimentale, anche se l'analisi riportata nel rapporto evidenzia con chiarezza l'efficacia ed i limiti del metodo adottato.

Infine è stata stabilita la procedura operativa di definizione dell'indice meteo da parte del Consorzio LaMMA e di elaborazione e di comunicazione dell'ICQA da parte di ARPAT agli Enti interessati.

Bibliografia

Capitolo 1

- 1 Decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, "Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa".
- 2 Legge regionale 11 marzo 2010, n. 9 , "Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente".
- 3 Si veda:
 - Ordinanza del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro per le Aree Urbane 20 novembre 1991, "Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento atmosferico e del rumore nel comune di Firenze";
 - Ordinanza del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro per le Aree Urbane 28 dicembre 1991, "Disposizioni attuative, in tema di prevenzione dell'inquinamento atmosferico e acustico, delle ordinanze 20 novembre 1991 dei Ministri dell'Ambiente e per i Problemi delle Aree Urbane";
 - Ordinanza del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro per le Aree Urbane 30 aprile 1992, "Proroga del termine di scadenza delle ordinanze 20 novembre 1991 recanti misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento atmosferico e acustico nei comuni di Bari, Bologna, Catania, Firenze, Genova, Milano, Napoli, Palermo, Roma, Torino e Venezia";
 - Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con i Ministri per le Aree Urbane, della Difesa, dei Lavori Pubblici, dei Trasporti, dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, e della Sanità 12 novembre 1992, "Criteri generali per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico nelle grandi zone urbane e disposizioni per il miglioramento della qualità dell'aria";
 - Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 15 aprile 1994, "Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, ai sensi degli articoli 3 e 4 del Decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n° 203, e dell'articolo 9 del Decreto ministeriale 20 maggio 1991";
 - Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 25 novembre 1994, "Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al Decreto ministeriale 15 aprile 1994";
 - Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 16 maggio 1996, "Attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono";

- Decreto Legislativo 4 agosto 1999, n. 351, "Attuazione della Direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria";
- Decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Salute 2 aprile 2002, n. 60, "Recepimento della direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999 del Consiglio concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio".
- 4 World Health Organization - Regional Office for Europe, "Acute effects on health of smog episodes - Report on a WHO meeting 's - Hertogenbosch, Netherlands, 30 October-2 November 1990", WHO Regional Publications, European Series, n. 43, ISBN 92 890 1306 0, 1992.
- 5 D.M. Elsom, "Smog alert: managing urban air quality", Earthscan Publications, 1996.
- 6 ARPAT-CRTQA, "Relazione annuale sullo stato della qualità dell'aria nella Regione Toscana - anno 2015", 2016.
- 7 A. Barbaro, M. Bazzani, F. Giovannini, P. Nannini, "Episodi acuti di inquinamento atmosferico invernale a Firenze - Analisi dei dati e metodi di previsione", ARPAT-CEDIF, Ricerche e Formazione, 7, 1998, Capitolo 3.
- 8 Si veda:
 - G.C. Holzworth, "Climatological aspects of the composition and pollution of the atmosphere", World Meteorological Organization, WMO n. 393, 1974;
 - A.C. Stern, "Air pollution", Volume I, Academic Press, 1976, Capitolo 8;
 - R.W. Steward, "The Atmospheric Boundary Layer", World Meteorological Organization, WMO n. 523, 1979;
 - J.H. Seinfeld, "Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution", John Wiley & Sons, 1986, Capitolo 11.
- 9 Si veda:
 - W. Kusch, H.Y. Fong, G. Jendritzky, I. Jacobsen, "Guidelines on biometeorology and air quality forecasts", World Meteorological Organization, WMO/TD n. 1184, 2004, paragrafo 3.2;
 - C. Honoré, A. Ung, L. Corbet, L. Malherbe, "CiteairII - Common Information to European Air - Good Practice Guide on Urban Air Quality Forecast", European Union - European Regional Development Fund, Regional Initiative Project, 2008;
 - Y. Zhang, M. Bocquet, V. Mallet, C. Seigneur, A. Baklanov, "Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status", Atmospheric Environment, 60, 2012, pp. 656-676;

- Y. Zhang, M. Bocquet, V. Mallet, C. Seigneur, A. Baklanov, "Real-time air quality forecasting, part II: State of the science, current research needs, and future prospects", *Atmospheric Environment*, 60, 2012, pp. 632-655.

·10 Si veda:

- G. Finzi e G. Brusasca, "La qualità dell'aria – Modelli previsionali e gestionali", Masson, 1991, Capitoli 6, 7 e 9;
- A.J. Greig, G. Cawley et alii, "Air pollution episodes: modelling tools for improved smog management (APPETISE)", in , C.A. Brebbia, H. Power & J.W.S Longhurst (editors), "Air Pollution VIII", WIT Press, 2000, pp. 89-98;
- Th. Slini, K. Karatzas, A. Papadopoulos, "Regression analysis and urban air quality forecasting: an application for the city of Athens", *Global Nest: the International Journal*, 4/2-3, 2002, pp. pp 153-162;
- G. Corani, "Air quality prediction in Milan: feed-forward neural networks, pruned neural networks and lazy learning", *Ecological Modelling*, 185, 2005, pp. 513-529;
- I.N. Athanasiadis, K.D. Karatzas, P.A. Mitkas, "Classification techniques for air quality forecasting", Fifth ECAI Workshop on Binding Environmental Sciences and Artificial Intelligence, 17th European Conference on Artificial Intelligence, 2006;
- A.K. Gautam, A.B. Chelani, V.K. Jain, S. Devotta, "A new scheme to predict chaotic time series of air pollutant concentrations using artificial neural network and nearest neighbor searching", *Atmospheric Environment*, 42, 2008, pp. 4409-4417;
- E.G. Dragomir, "Air Quality Index Prediction using K-Nearest Neighbor Technique", *Buletinul Universității Petrol – Gaze din Ploiești*, LXII, n. 1/2010, pp. 103-108;
- E. Muñoz, M.L. Martín, I.J. Turias, M.J. Jimenez-Come, F.J. Trujillo, "Prediction of PM10 and SO2 exceedances to control air pollution in the Bay of Algeciras, Spain", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28, 2014, pp. 1409-1420;
- A.B. Chelani, "Nearest Neighbour Based Forecast Model for PM10 Forecasting: Individual and Combination Forecasting", *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 2015, pp. 1130–1136.

·11 Si veda:

- A. Barbaro, M. Bazzani, F. Giovannini, P. Nannini, "Episodi acuti di inquinamento atmosferico invernale a Firenze – Analisi dei dati e metodi di previsione", ARPAT-CEDIF, Ricerche e Formazione, 7, 1998, Capitoli 4 e 5;
- A. Barbaro, M. Bazzani, F. Giovannini, P. Nannini, "Severe air pollution episodes in Florence: data analysis and forecasting operational method", in B. Caussade, H. Power, C.A. Brebbia (editors), "Air Pollution IV – Monitoring, Simulation and Control", Computational Mechanics Publications, 1996, pp. 536-546;
- A. Barbaro, M. Bazzani, F. Giovannini, P. Nannini, "Severe air pollution episodes in Florence: forecasts results examination and emergency measures efficacy estimate", in

- C.A. Brebbia, C.F. Ratto, H. Power (editors), "Air Pollution VI", Computational Mechanics Publications, 1998, pp. 149-158.
- 12 G. Lissens, W. Debruyne, C. Mensink, G. Dumont, "SMOGSTOP: a model for forecasting maximum daily ozone concentration in Belgium", *Environmetrics*, 11/5, 2000, pp. 511-521.
 - 13 J. Hooyberghs, C. Mensink, G. Dumont, F. Fierens, O. Brasseur, "A neural network forecast for daily average PM10 concentrations in Belgium", *Atmospheric Environment*, 39/18, 2005, pp. 3279-3289.
 - 14 US-EPA, "Guidelines for Developing an Air Quality (Ozone and PM2.5) Forecasting Program", EPA-456/R-03 002, 2003
(https://www3.epa.gov/airnow/aq_forecasting_guidance-1016.pdf).
 - 15 C. Honoré et alii, "Predictability of European air quality: assessment of 3 years of operational forecasts and analyses by the PREV'AIR system", *Journal of Geophysical Research*, 113, 2008.
 - 16 Decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351, "Attuazione della Direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e gestione dell'aria ambiente".
 - 17 Si veda:
 - Delibera della Giunta regionale 4 febbraio 2002, n. 116, "Piano di azione contenente misure da attuare nel breve periodo al fine di ridurre il rischio di superamento del valore limite e della soglia di allarme per il PM10" (Comuni tenuti ad assumere i provvedimenti di emergenza: Arezzo, Empoli, Firenze, Montelupo Fiorentino, Scandicci, Livorno, Lucca, Viareggio, Cascina, Pisa, Santa Croce sull'Arno, Prato, Grosseto, Piombino, Carrara, Massa, Pontedera, Pistoia, Siena);
 - Delibera della Giunta regionale 14 ottobre 2002, n. 1133, "Piano di azione contenente misure da attuare nel breve periodo al fine di ridurre il rischio di superamento del valore limite e della soglia di allarme per il PM10 - Abrogazione delibera n. 116/02" (Comuni tenuti ad assumere i provvedimenti di emergenza: Arezzo, Empoli, Montelupo Fiorentino, Livorno, Lucca, Viareggio, Cascina, Pisa, Santa Croce sull'Arno, Prato, Grosseto, Piombino, Carrara, Massa, Pontedera, Pistoia, Siena, nonché Bagno a Ripoli, Campi Bisenzio, Calenzano, Firenze, Lastra a Signa, Sesto Fiorentino, Scandicci e Signa (Area omogenea fiorentina)).
 - 18 Legge regionale 5 maggio 1994, n. 33, "Norme per la tutela della qualità dell'aria"; Legge regionale 13 agosto 1998, n. 63, "Norme in materia di zone a rischio di episodi acuti di inquinamento atmosferico e modifiche alla L.R. 5 maggio 1994, n. 33".
 - 19 Delibera della Giunta regionale 1 marzo 2010, n. 246, "Piano di azione ai sensi dell'art. 7 del D.Lgs n. 351/1999 ai fini della riduzione del rischio di superamento del valore limite giornaliero del PM10".
 - 20 Delibera della Giunta regionale 6 dicembre 2010, n. 1025, "Zonizzazione e classificazione del territorio regionale ai sensi della L.R. 9/2010 e al D.Lgs. 155/2010 ed

individuazione della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria - Revoca D.G.R. 27/2006, 337/2006, 21/2008, 1406/2001,1325/2003”.

- 21 Delibera della Giunta regionale 17 gennaio 2011, n. 22, “L.R. 9/2010 art.2, comma 2, lettera g - Definizione delle situazioni a rischio di inquinamento atmosferico: criteri per l'attivazione dei provvedimenti e modalità di gestione”.
- 22 Delibera della Giunta regionale 9 dicembre 2015, n. 1182, “Nuova identificazione delle aree di superamento, dei Comuni soggetti all'elaborazione ed approvazione dei PAC e delle situazioni a rischio di superamento, ai sensi della L.R. 9/2010. Revoca D.G.R. 1025/2010, D.G.R. 22/2011”.
- 23 Legge regionale 12 aprile 2011, n. 27, “Modifiche alla legge regionale 11 febbraio 2010, n. 9 (Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente)”.
- 24 Delibera della Giunta regionale 1 agosto 2016, n. 814, “L.R. 9/2010 (Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente). Aggiornamento linee guida per la predisposizione dei Piani di Azione Comunale (PAC) e modalità di attivazione interventi contingibili e urgenti. Revoca D.G.R. 959/2011”.
- 25 Si veda:
 - art. 9 del Decreto del Ministro dell’Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 20 maggio 1991, “Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria”;
 - art. 4 del Decreto del Ministro dell’Ambiente di concerto con il Ministro della Sanità 15 aprile 1994, “Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, ai sensi degli articoli 3 e 4 del Decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n° 203, e dell’articolo 9 del Decreto ministeriale 20 maggio 1991”.
- 26 Si veda:
 - E. Gross, “The national air pollution potential forecast program”, Technical note 70-9, USAF ETAC, 1970;
 - G.C. Holzworth , “Mixing heights, wind speeds, and potential for urban air pollution throughout the contiguous United States”, AP-101, US-EPA, 1972;
 - R.E. Munn, A E.J. Eggleton, L. Facy, D.H. Pack, F. H. Schmidt, “Dispersion and forecasting of air pollution”, Technical note n. 121, WMO n. 319, 1972;
 - Y. Zhang, M. Bocquet, V. Mallet, C. Seigneur, A. Baklanov, “Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status”, Atmospheric Environment, 60, 2012, pp. 656-676.
- 27 US-EPA, “Guidelines for Developing an Air Quality (Ozone and PM2.5) Forecasting Program”, EPA-456/R-03 002, 2003: paragrafo 4.1.3.
- 28 B.P. Andreini, C. Collaveri, F. Giovannini, A. Barbaro, F. Calastrini, C. Busillo, and F. Gurnieri, “Elaboration of a combined method to characterize spatial representativeness

of PM10 monitoring stations”, EAC 2015- European Aerosol Conference, Milano 6-11 Settembre 2015.

Capitolo 2

1. ARPAT-CRTQA, Relazioni annuali sullo stato della qualità dell'aria nella Regione Toscana - anno 2012, 2013, 2014 e 2015
(<http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio/report>).
2. Delibera della Giunta regionale 12 gennaio 2016, n. 4, “Presenza d'atto del Protocollo d'intesa per migliorare la qualità dell'aria, incoraggiare il passaggio a modalità di trasporto pubblico a basse emissioni, disincentivare l'utilizzo del mezzo privato, abbattere le emissioni, favorire misure intese ad aumentare l'efficienza energetica”.

Capitolo 3

1. Busillo C., Calastrini F., Gualtieri G. (2005): Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM10 – Progetto “PATOS”, 30 Luglio 2005.
2. Busillo C., Calastrini F., Gualtieri G. (2007): Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM10 Analisi dati relativi al periodo 01/10/2005 – 30/09/2006, 16 aprile 2007.
3. Busillo C., Calastrini F., Guarnieri F. (2012): Variazione dell'altezza dello strato di rimescolamento in relazione ai processi di dispersione di particolato atmosferico - Prot. 452/14 - Consorzio Lamma -Proseguimento del progetto PATOS (DD5629 del 26/11/2012).
4. Guarnieri F., Calastrini F., Busillo C., Messeri G., Gozzini B. (2015): A Model Chain Application to Estimate Mixing Layer Height Related to PM10 Dispersion Processes - The Scientific World Journal, vol. 2015, Article ID 298492, 11 pages, 2015. doi:10.1155/2015/298492.
5. Progetto regionale PATOS: Particolato Atmosferico in Toscana - Il materiale particolato fine PM10”, 2011
(http://servizi2.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=21169).

Appendice 1

Grafici

Anno 2015 e semestre 2015/2016:

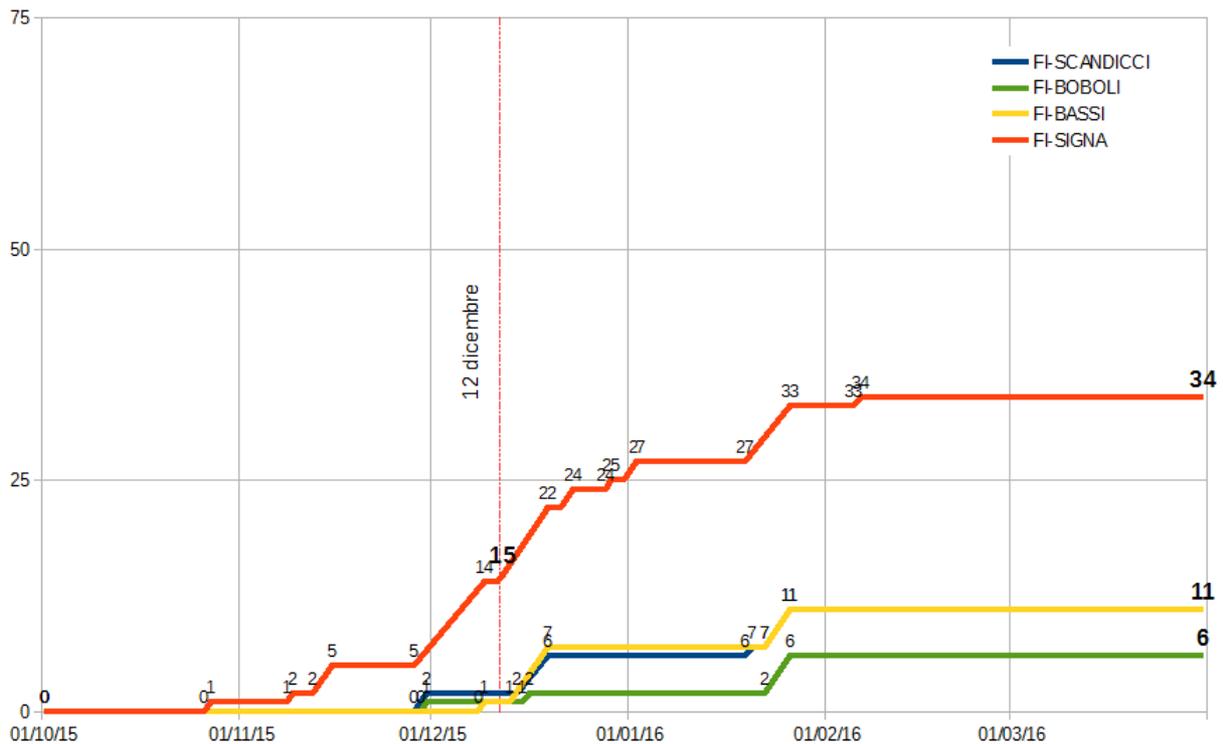
Relativamente a questo periodo sono riportati:

- Curve cumulate superamenti per zona (sono comprese alcune stazioni di fondo che non sono di riferimento per l'area critica) per anno e per semestre
- Grafici di frequenza superamenti consecutivi per area critica per anno e per semestre
- Tabella di riepilogo del numero dei superamenti nel semestre e nell'area critica
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 4/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 5/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti 4/7 e 5/7 quadro generale

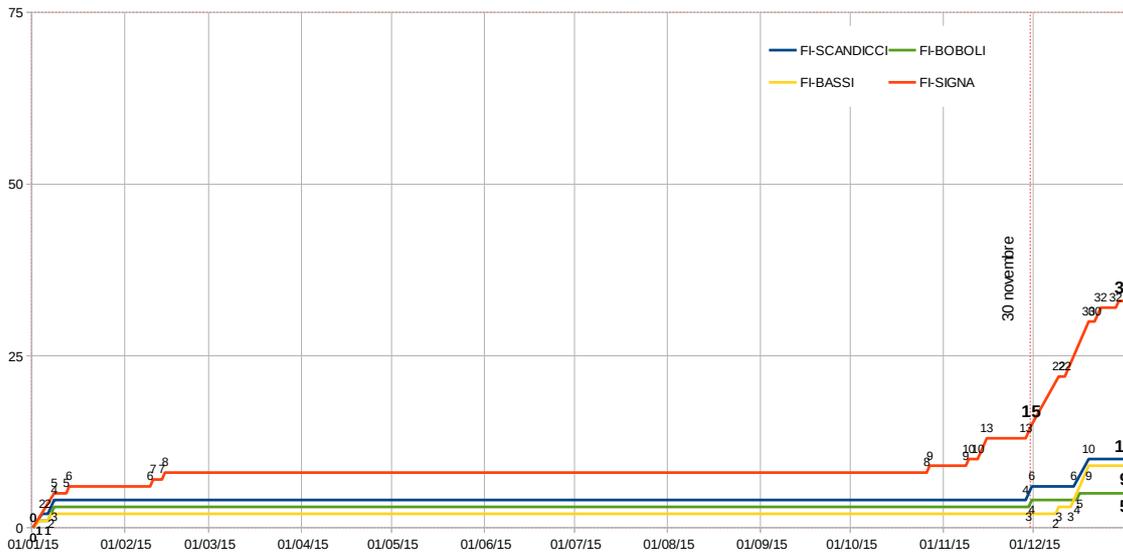
Agglomerato di Firenze 2015-2016

Curve cumulate superamenti

Agglomerato Ottobre 2015-Marzo 2016



Agglomerato 2015



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

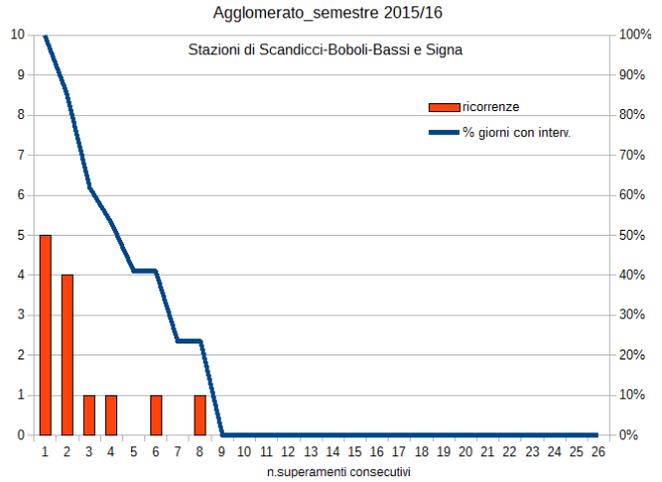
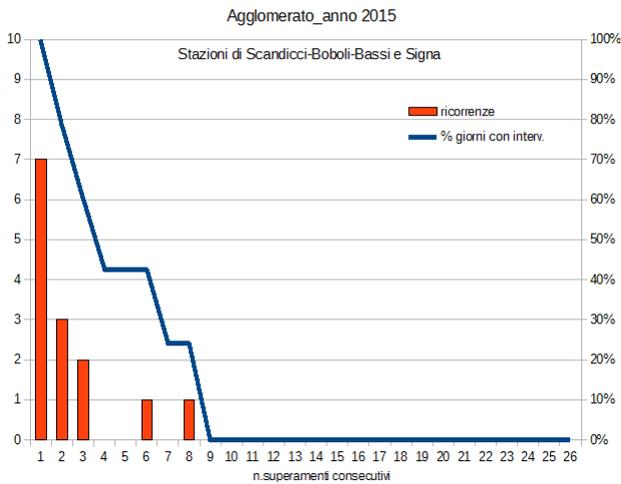


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

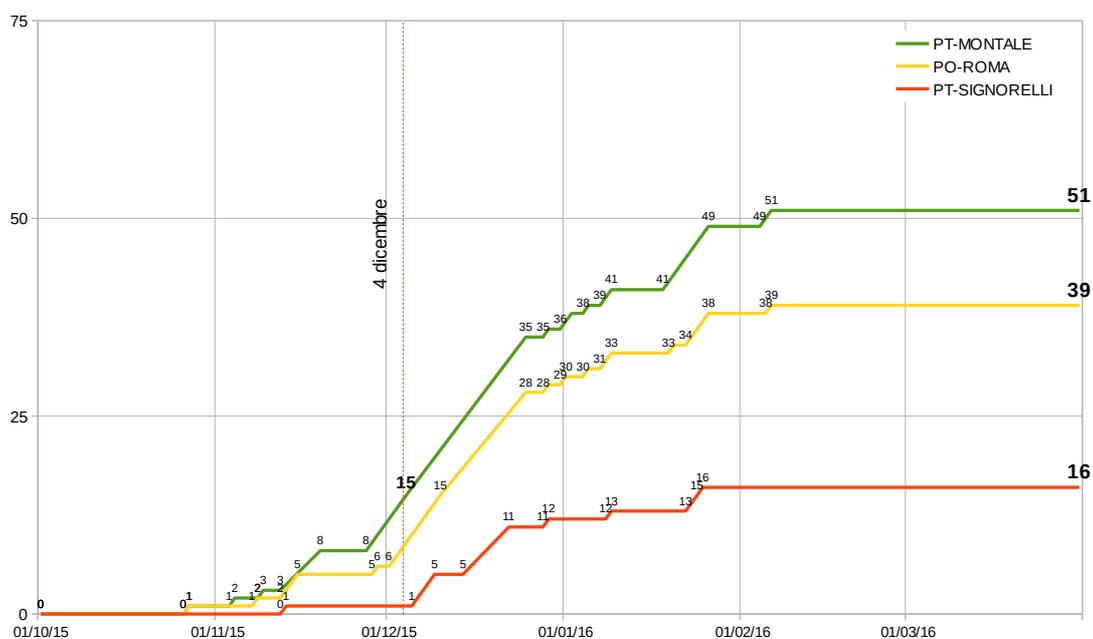
Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
1 - FI-Scandicci	10	11
2 - FI-Boboli	5	6
3 - FI-Bassi	9	11
4 - FI-Signa	33	34
Totale agglomerato	33	34

Piana Prato-Pistoia 2015-2016

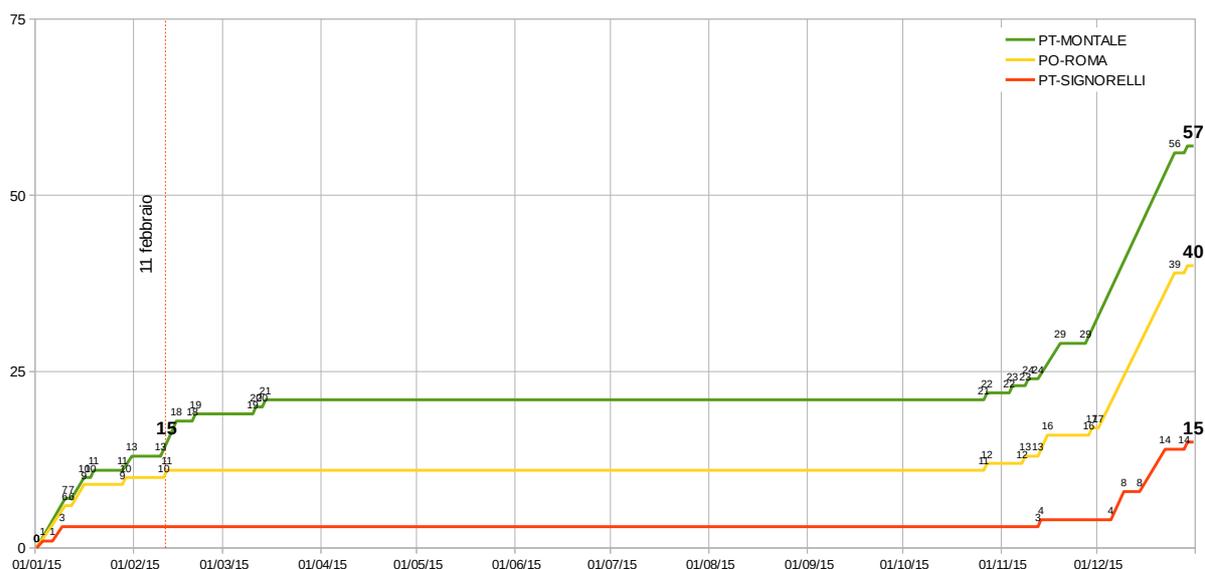
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PT-Signorelli è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

Zona Prato Montale Ottobre 2015-Marzo 2016



Zona Prato Montale 2015



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

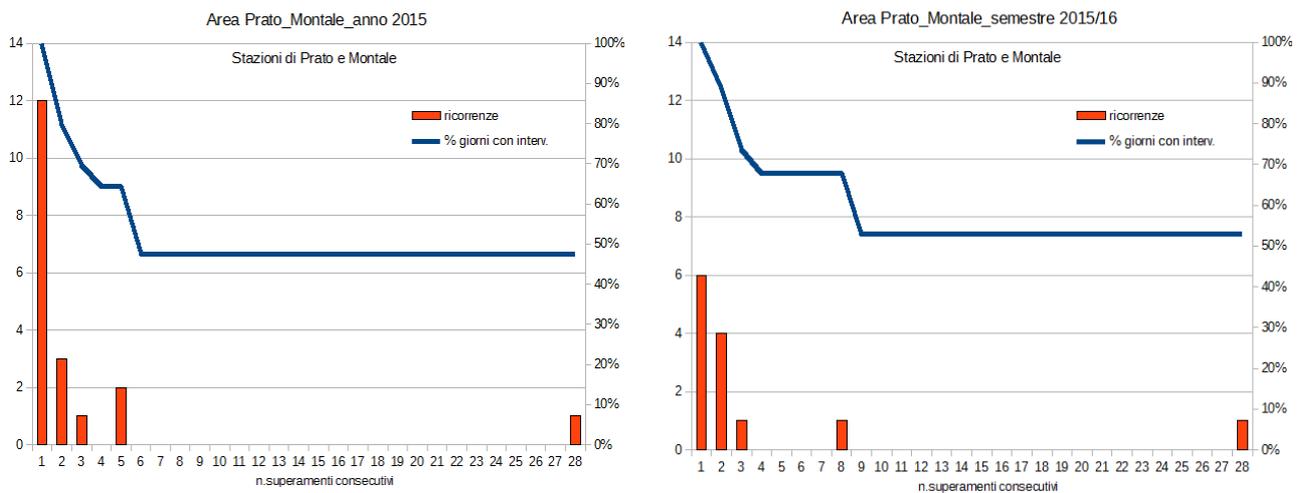


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
1 - PO-Roma	40	39
2 - PT-Montale	57	51
Totale area	59	53

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

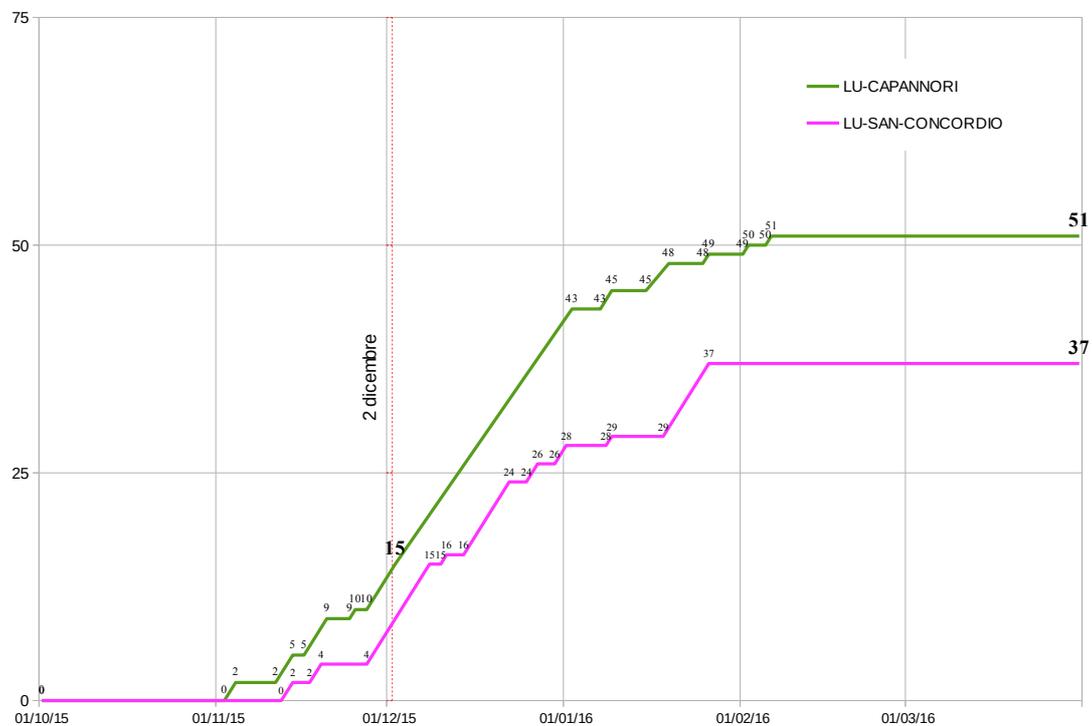
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



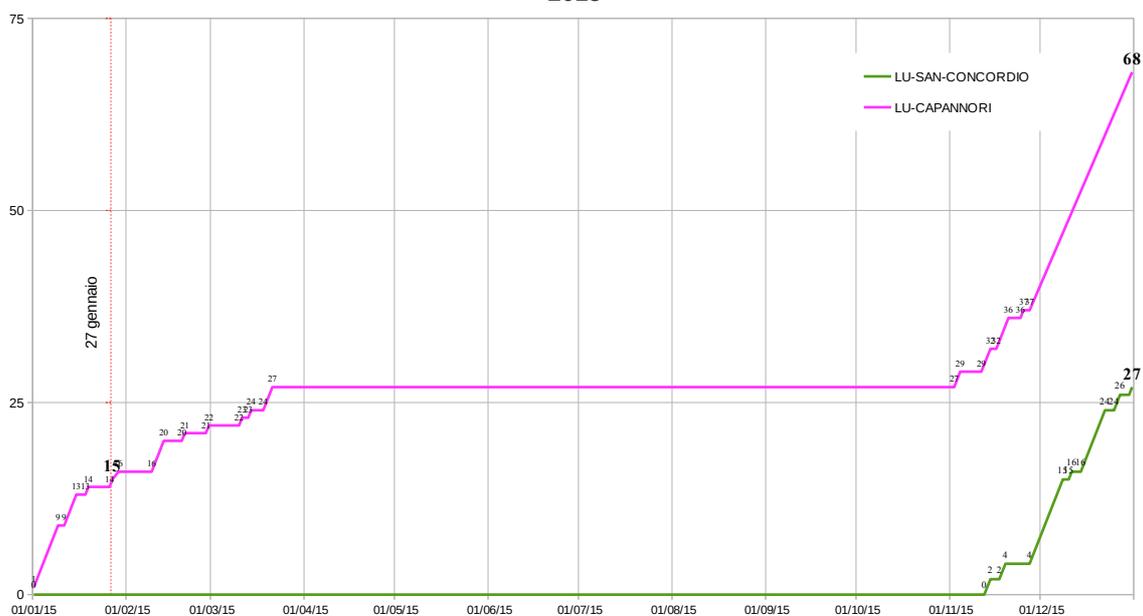
Area Lucchese 2015-2016

Curve cumulate superamenti

Piana lucchese Ottobre 2015-Marzo 2016



Piana lucchese 2015



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

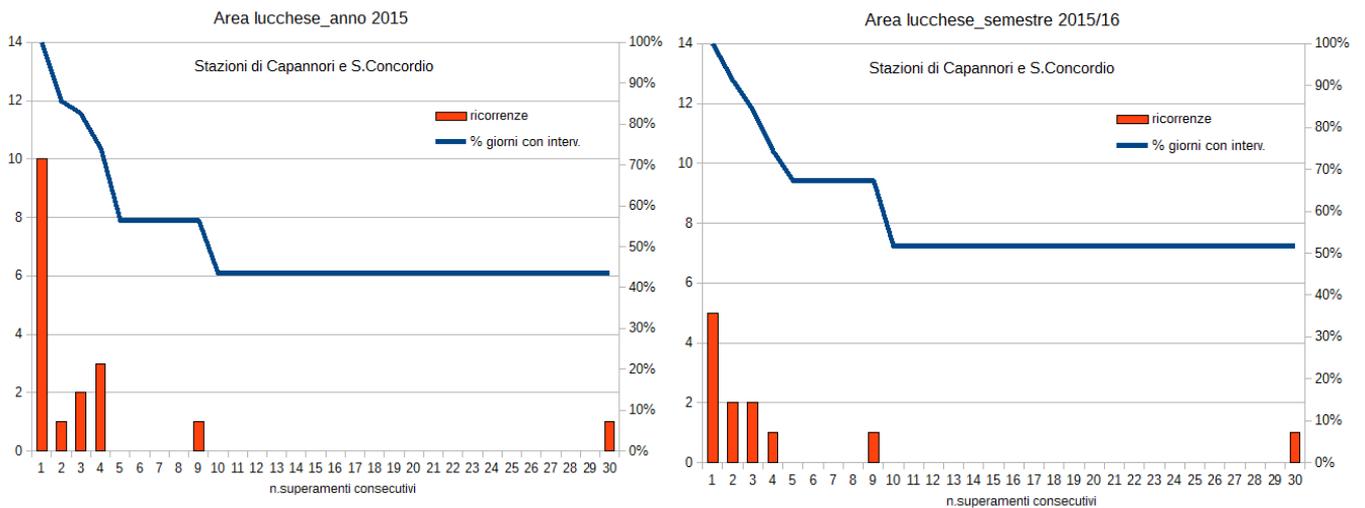


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
1 - LU-Capannori	68	51
2 - LU-S.Concordio	27	37
Totale area	69	58

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

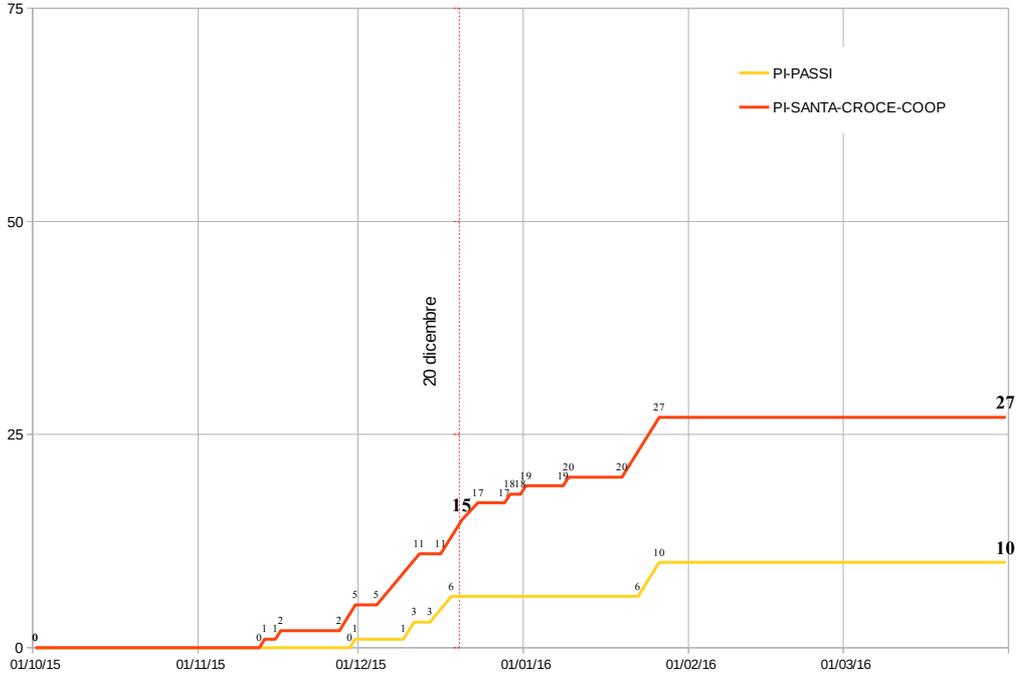


Comprensorio del cuoio 2015-2016

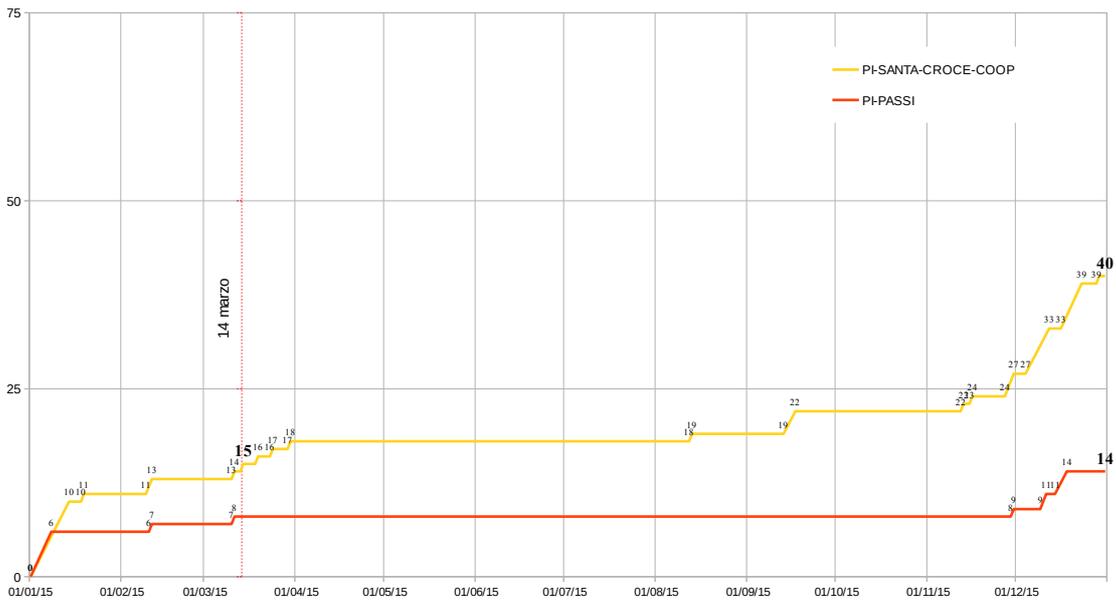
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PI-Passi è riportata solo a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

**Area S.Croce
Ottobre 2015-Marzo 2016**



**Area S.Croce
2015**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

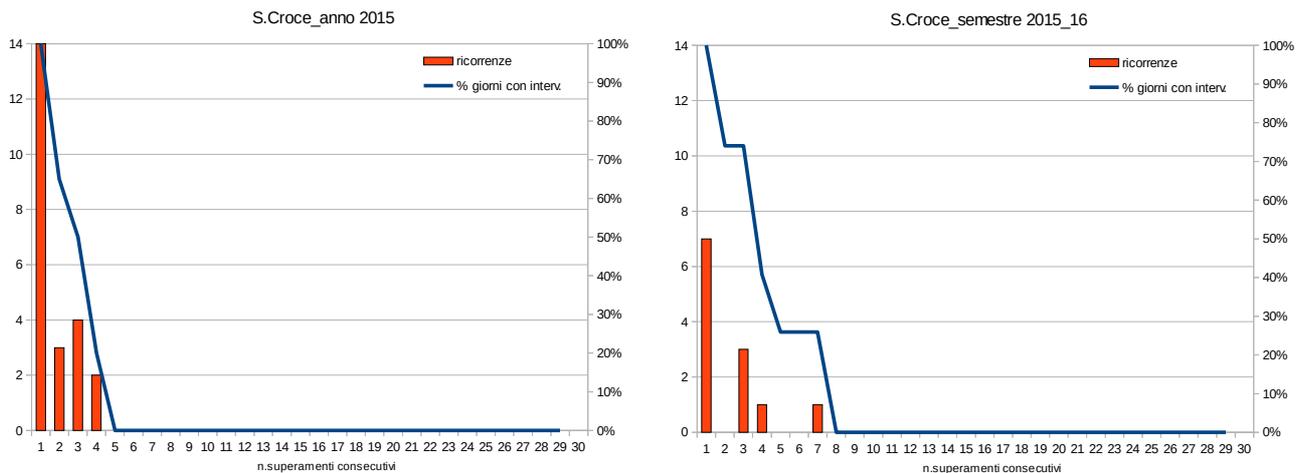


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
S.Croce	40	27

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

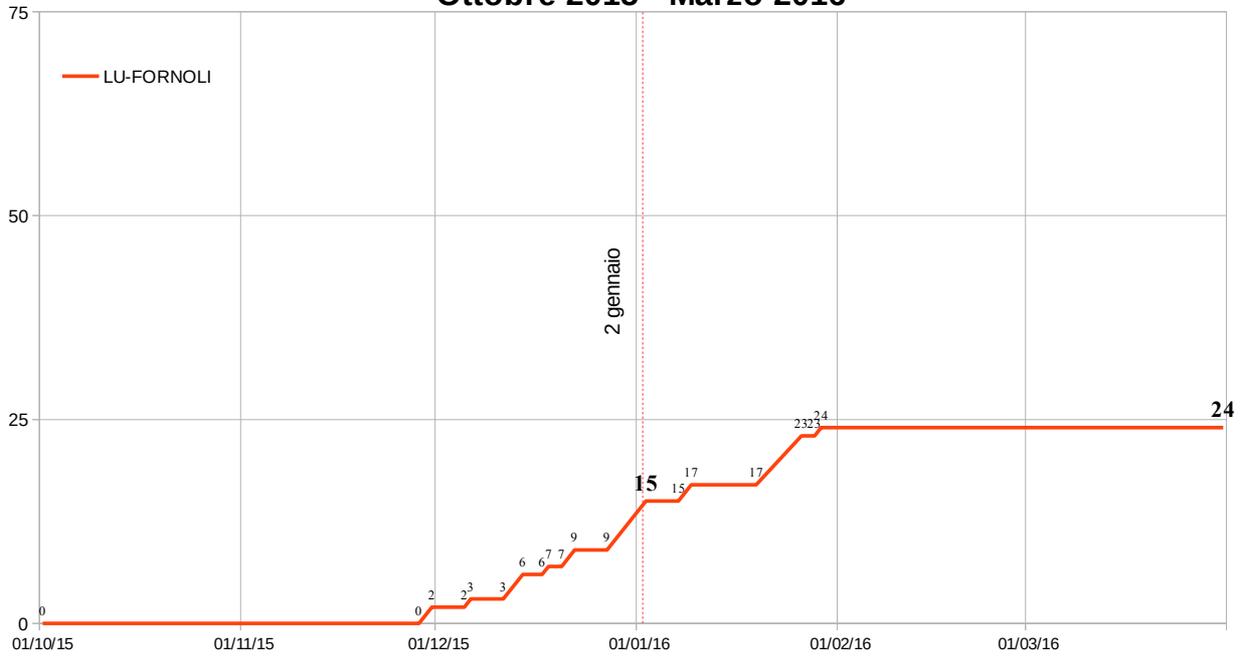
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



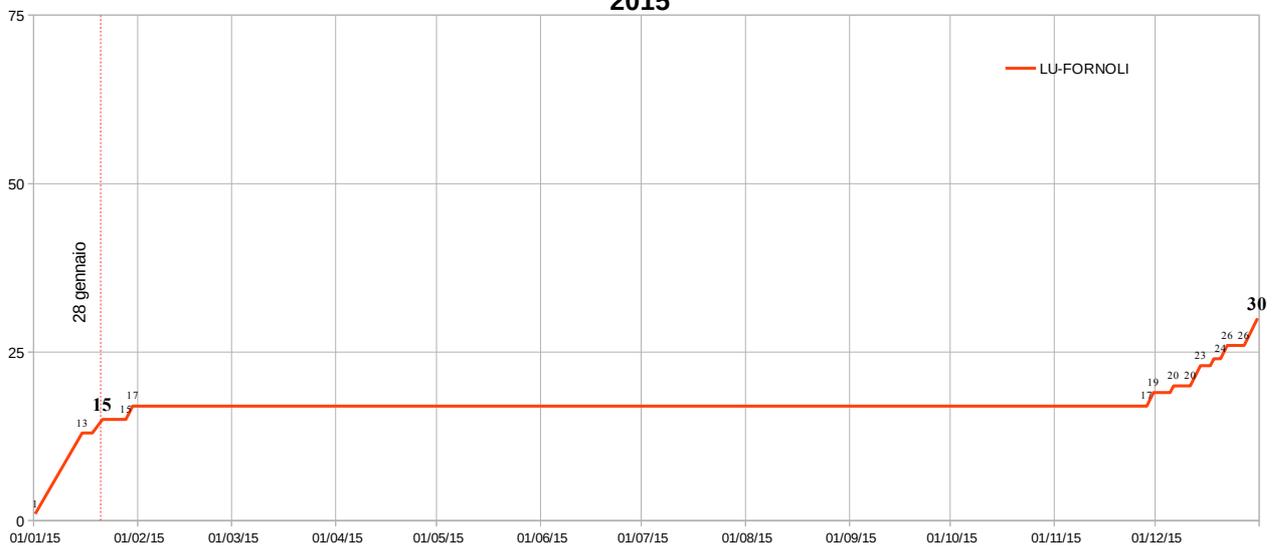
Media valle del Serchio 2015-2016

Curve cumulate superamenti

Fornoli Ottobre 2015 - Marzo 2016



Fornoli 2015



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

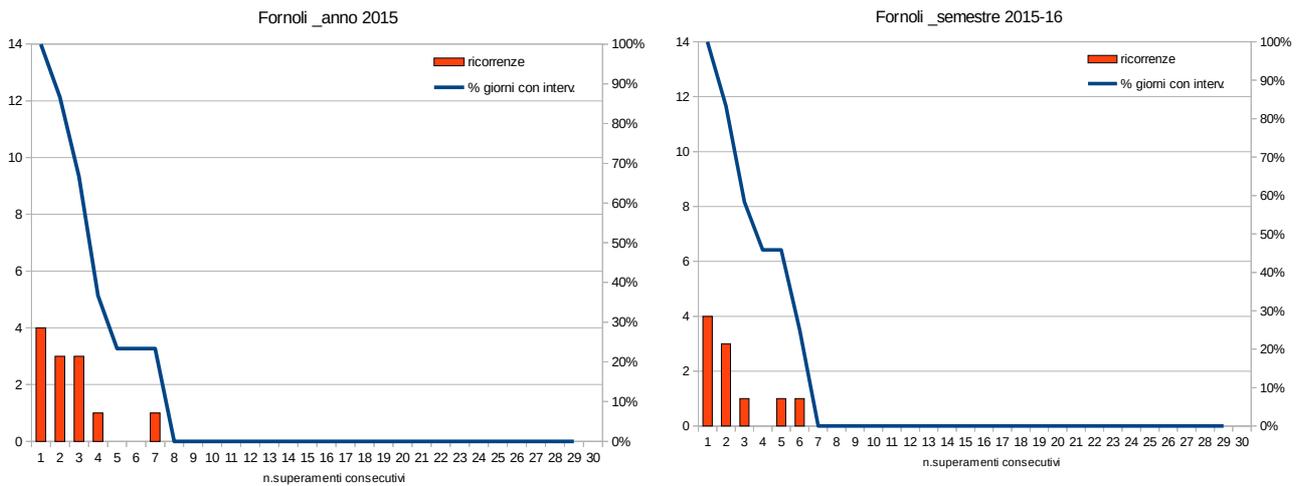


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
Fornoli	30	24

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

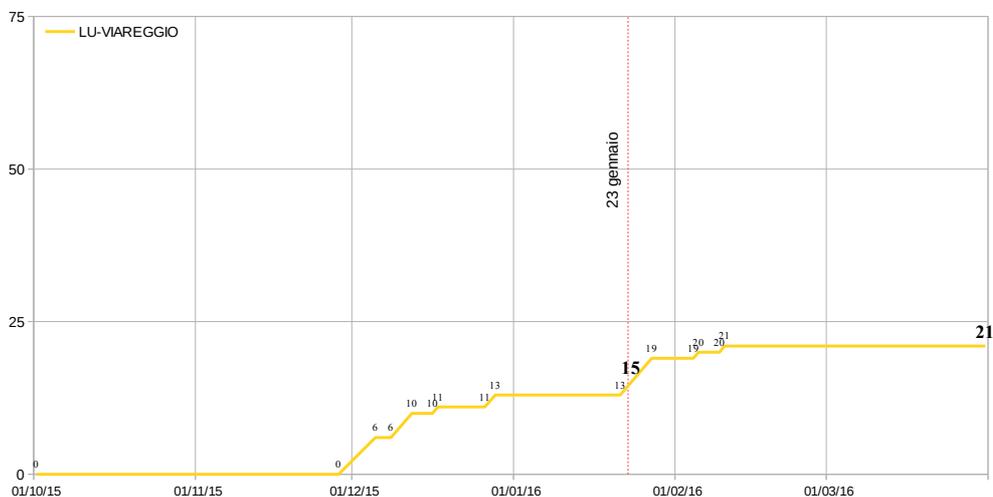
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



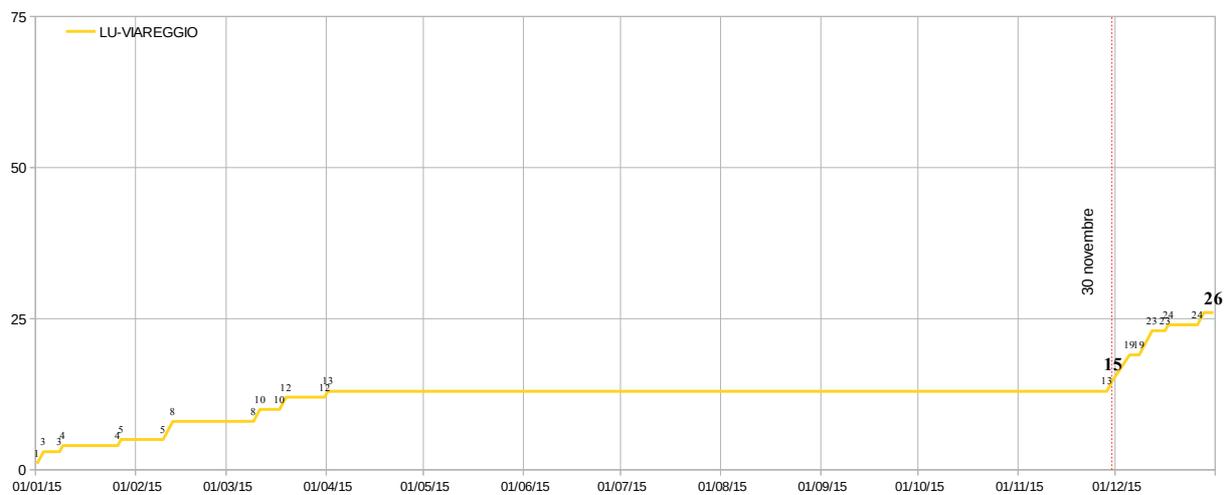
Area Versilia - Viareggio 2015-2016

Curve cumulate superamenti

Viareggio Ottobre 2015 - Marzo 2016



Viareggio 2015



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

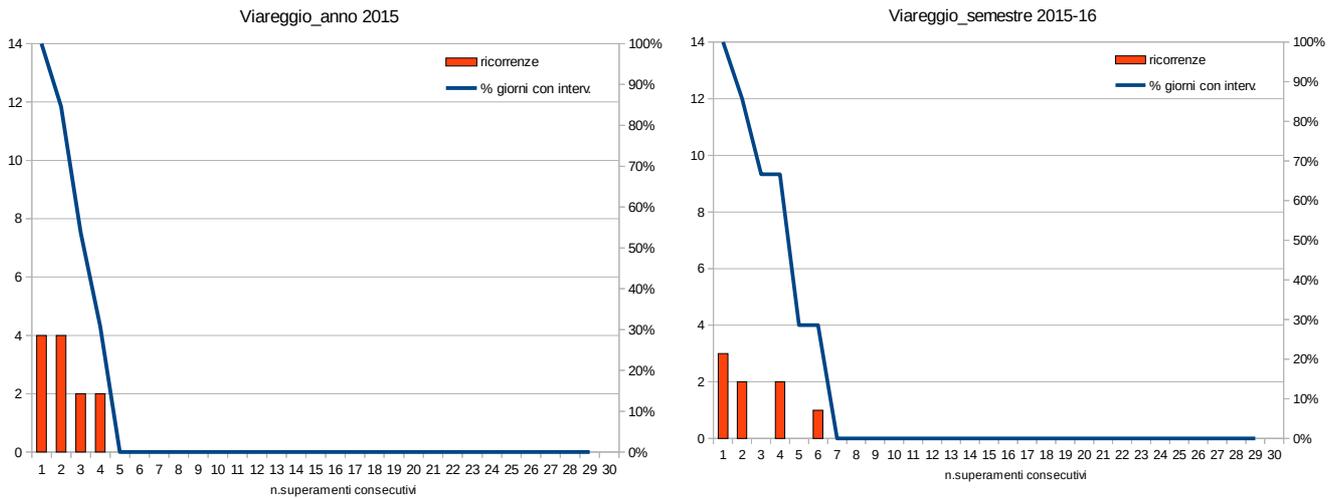


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2015	Semestre 2015-16
Viareggio	26	21

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



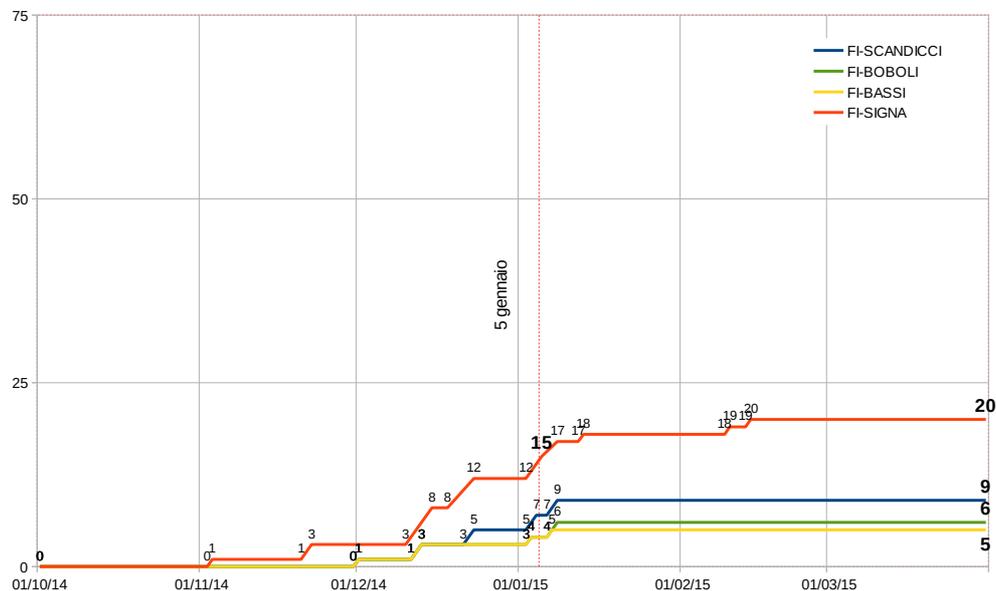
Anno 2014 e semestre 2014/2015:

Relativamente a questo periodo sono riportati:

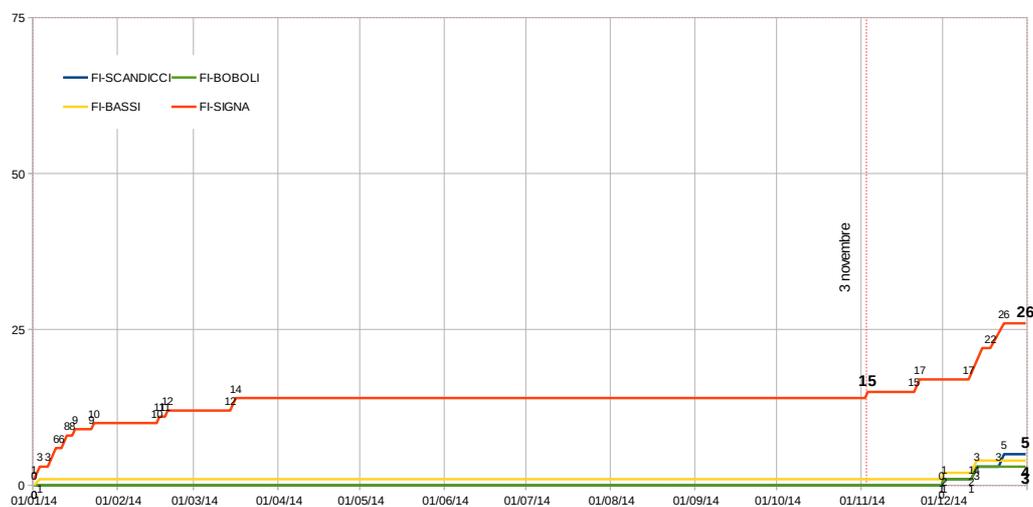
- Curve cumulate superamenti per zona (sono comprese alcune stazioni di fondo che non sono di riferimento per l'area critica) per anno e per semestre
- Grafici di frequenza superamenti consecutivi per area critica per anno e per semestre
- Tabella di riepilogo del numero dei superamenti nel semestre e nell'area critica
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 4/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 5/7 giorni di superamento (per area critica)

Agglomerato di Firenze 2014-2015

**Agglomerato
Ottobre 2014-Marzo 2015**



Agglomerato 2014



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

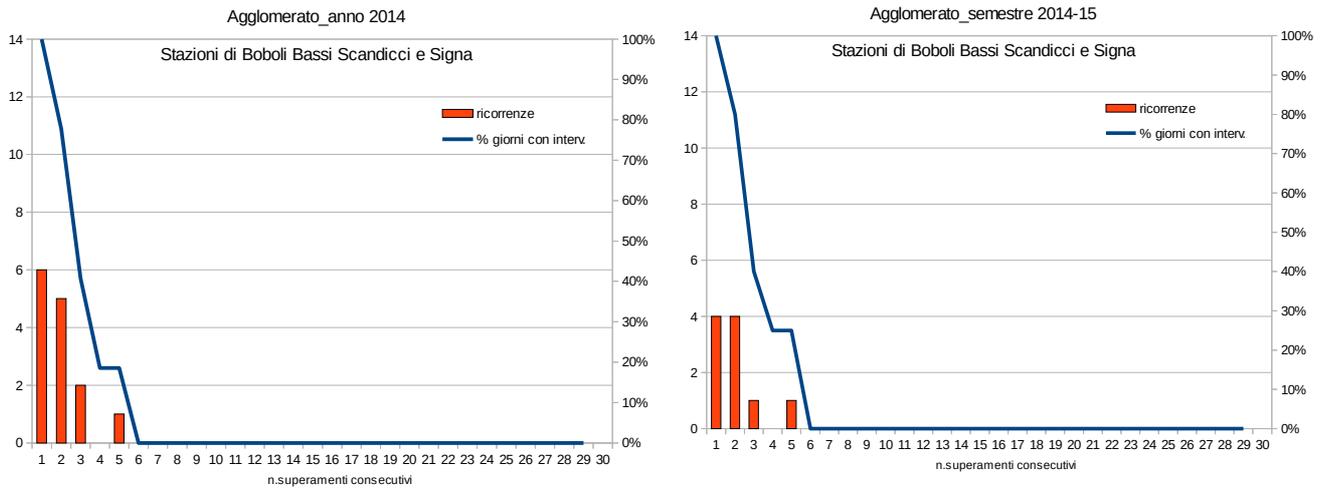


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
1 - FI-Scandicci	5	9
2 - FI-Boboli	3	6
3 - FI-Bassi	4	5
4 - FI-Signa	26	20
Totale agglomerato	27	21

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

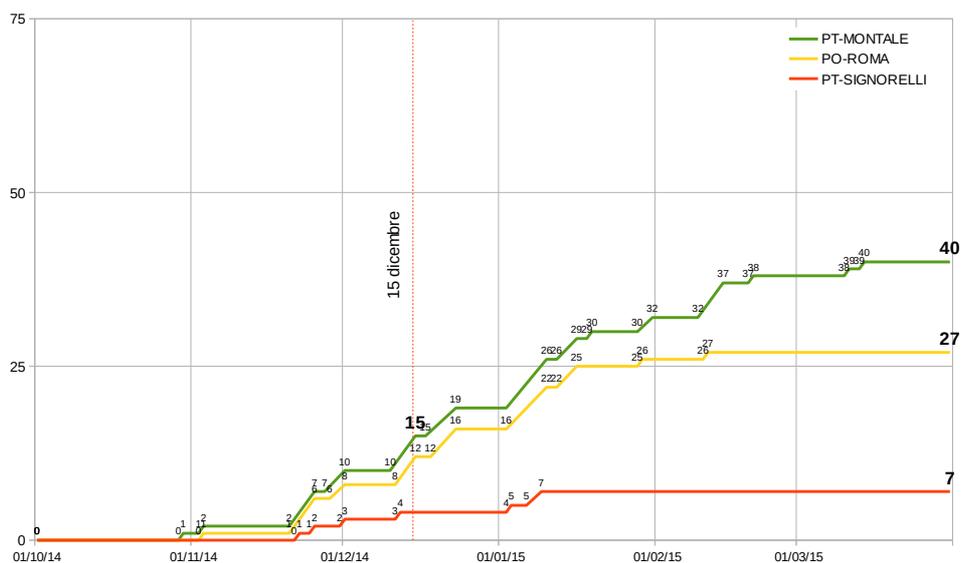


Piana Prato-Pistoia 2014-2015

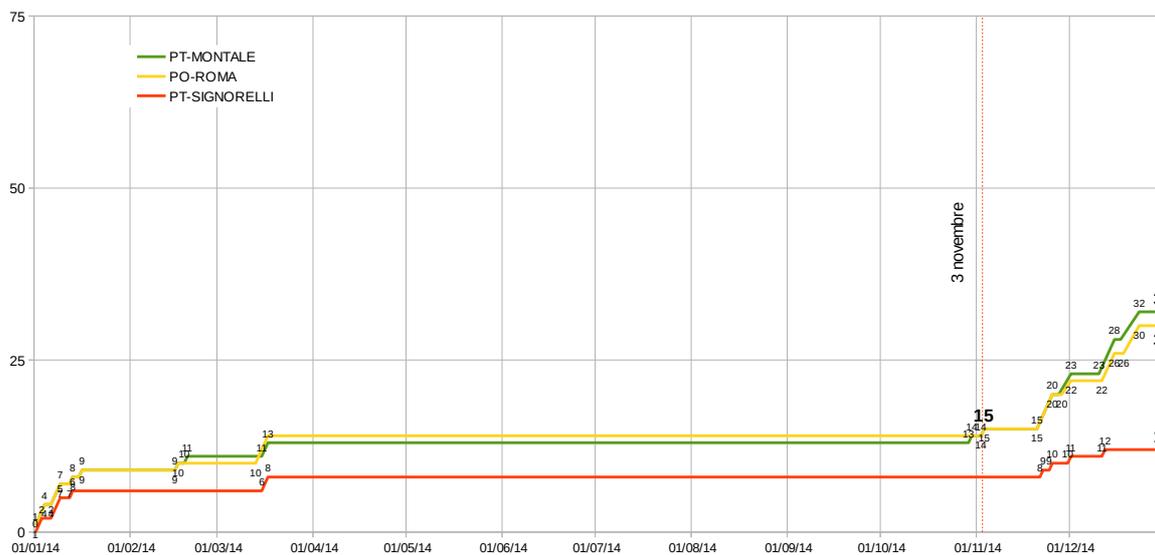
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PT-Signorelli è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

Zona Prato Montale Ottobre 2014-Marzo 2015



Zona Prato Montale 2014



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

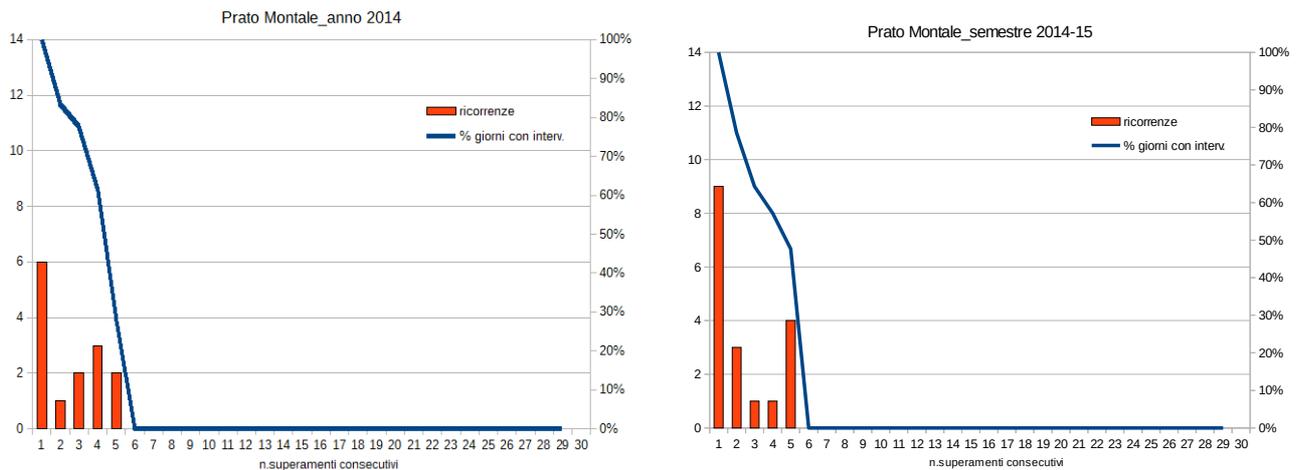


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
1 - PO Roma	30	27
2 - PT-Montale	32	40
Totale area	36	42

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

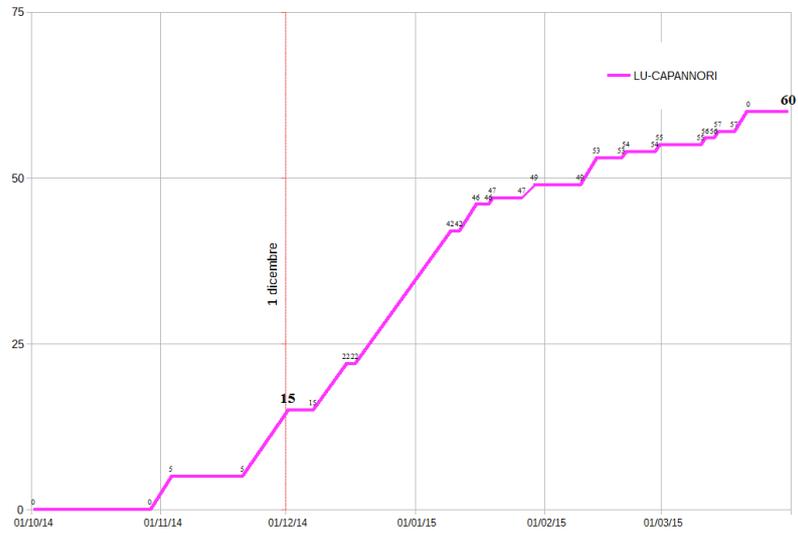
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



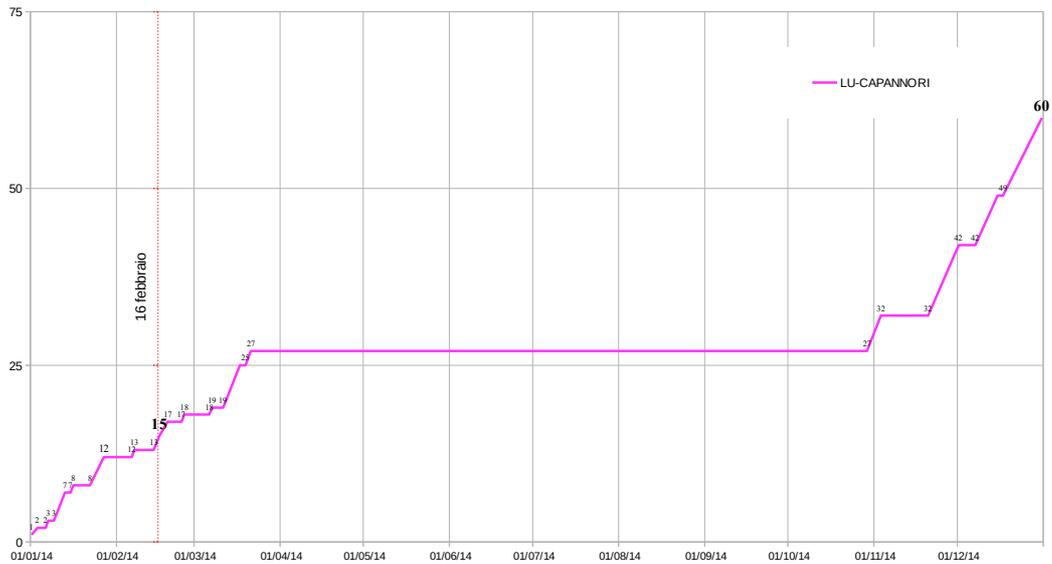
Area Lucchese 2014-2015

Curve cumulate superamenti

Piana lucchese
Ottobre 2014-Marzo 2015



Piana lucchese
2014



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

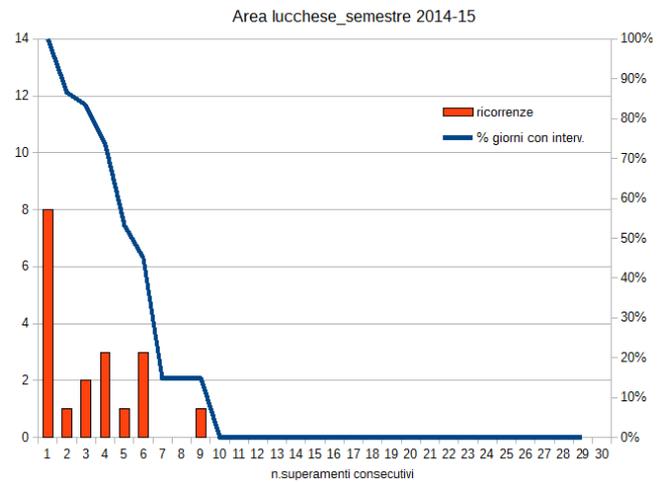
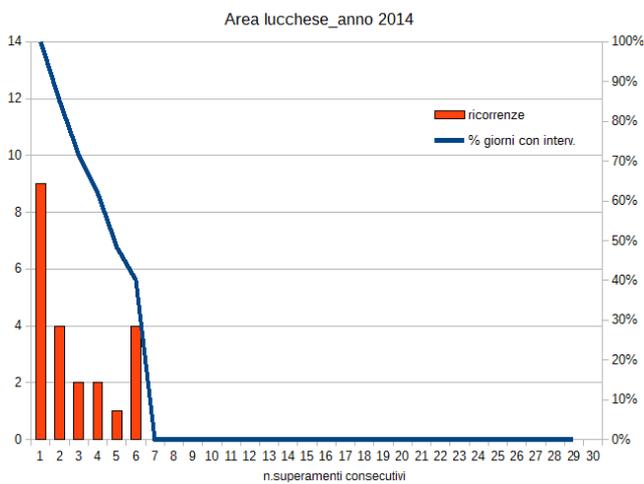


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
1 - LU-Capannori	60	60
2 - LU-S.Concordio	-	-
Totale area	60	60

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)

	OCTOBRE 2014	NOVEMBRE 2014	DICEMBRE 2014
LU-SAN-CONCORDIO	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-CAPANNORI			

	GENNAIO 2015	FEBBRAIO 2015	MARZO 2015
LU-SAN-CONCORDIO	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-CAPANNORI			

Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

	OCTOBRE 2014	NOVEMBRE 2014	DICEMBRE 2014
LU-SAN-CONCORDIO	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-CAPANNORI			

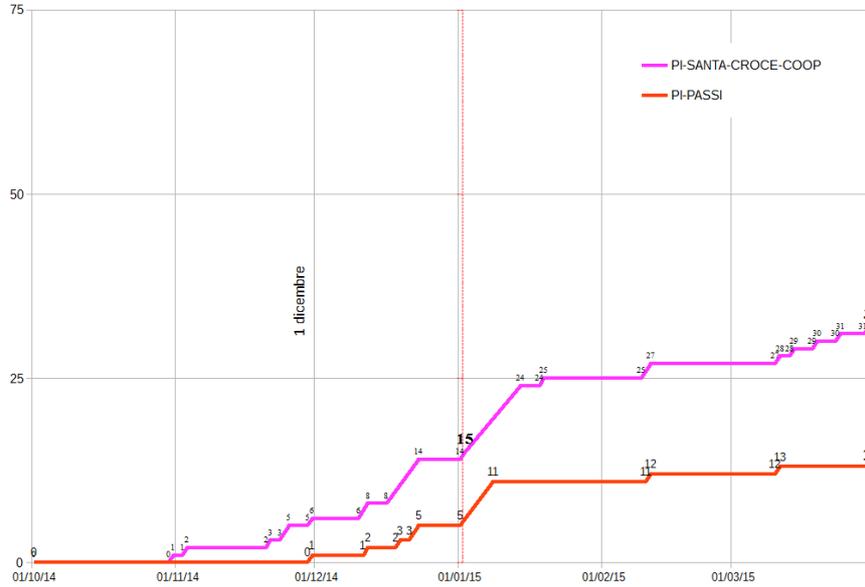
	GENNAIO 2015	FEBBRAIO 2015	MARZO 2015
LU-SAN-CONCORDIO	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-CAPANNORI			

Comprensorio del cuoio 2014-2015

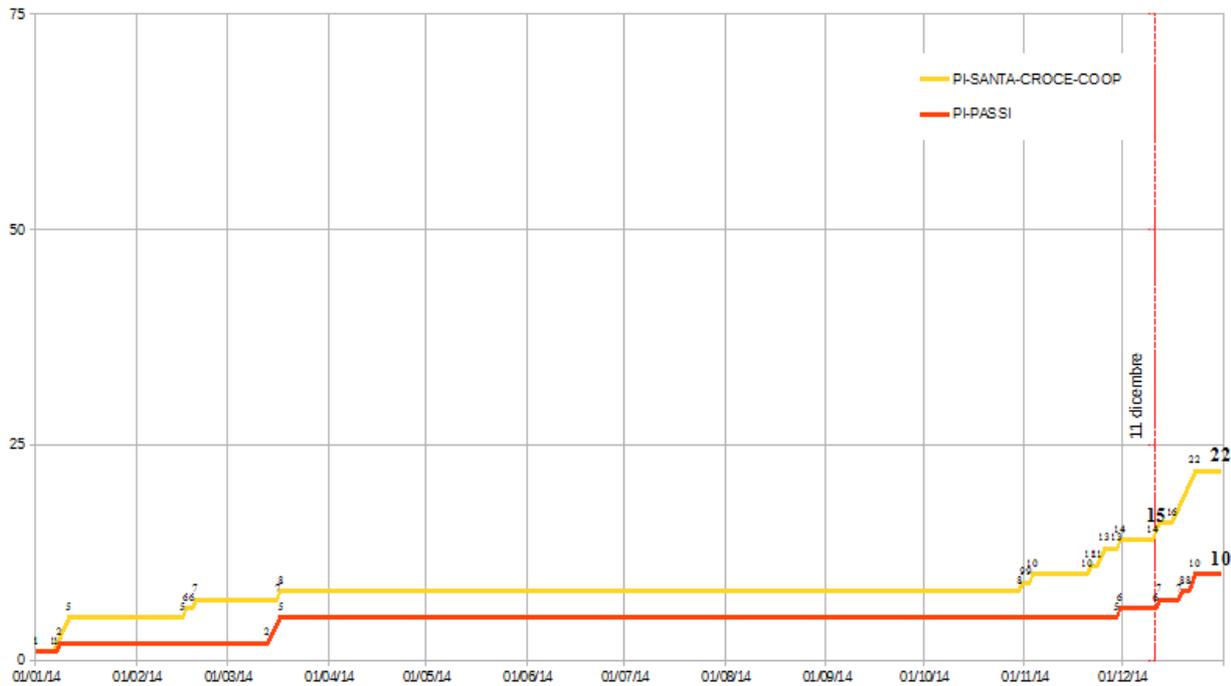
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PI-Passi è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

**Area S.Croce
Ottobre 2014-Marzo 2015**



**Area S.Croce
2014**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

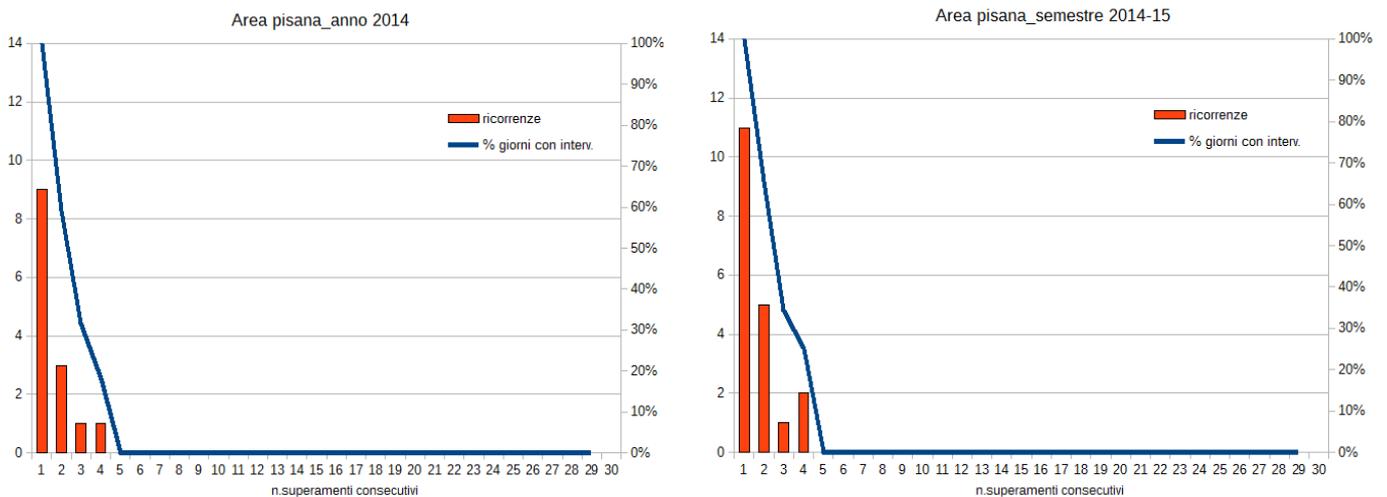


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
PI- S.Croce	22	32

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



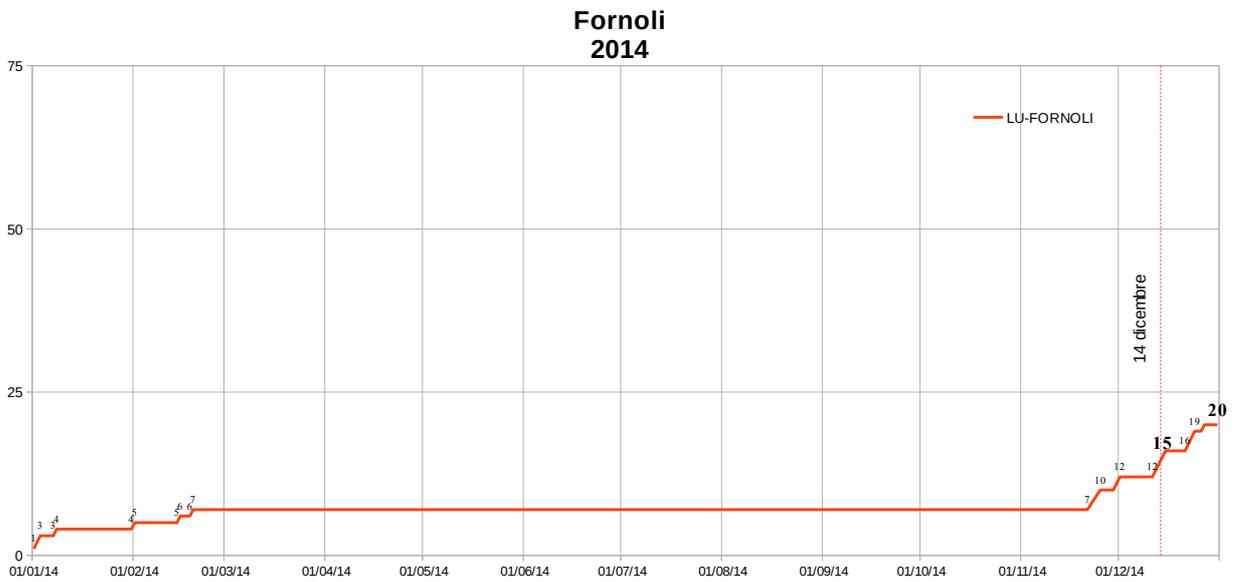
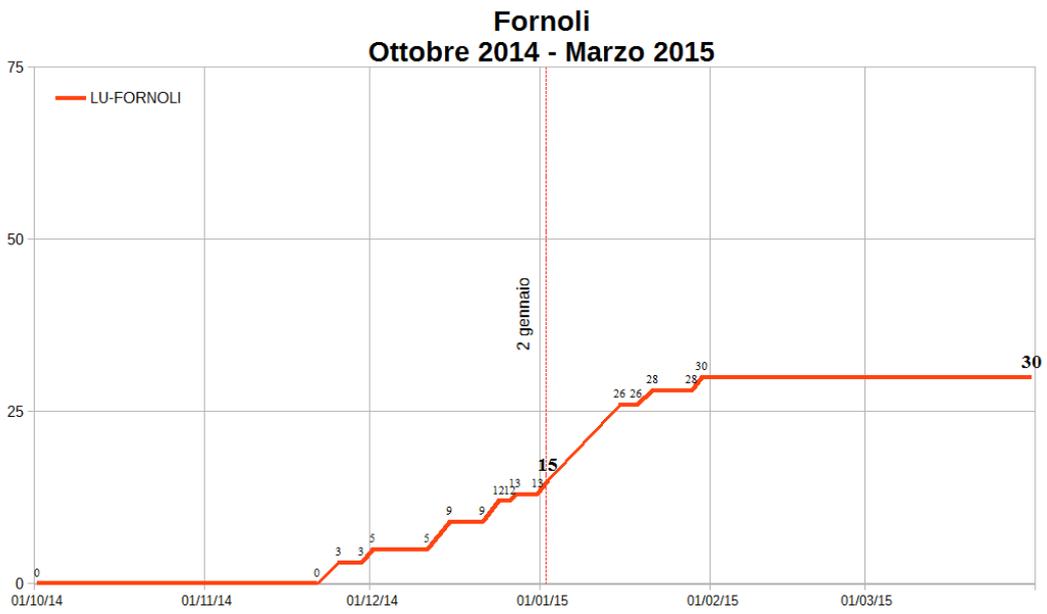
Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Media valle del Serchio 2014-2015

Curve cumulate superamenti



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

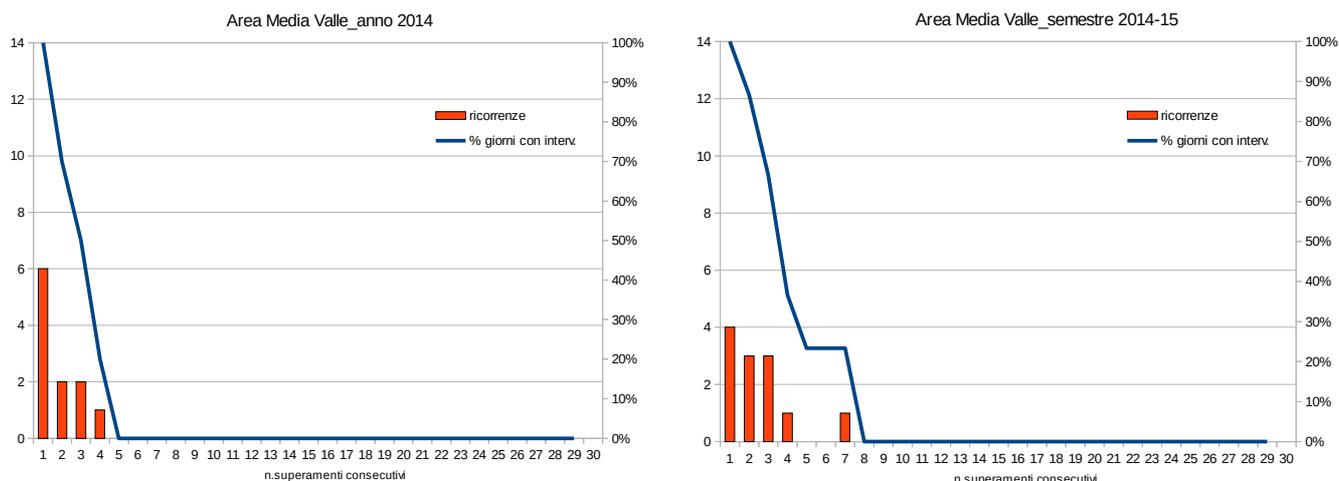


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
LU-Fornoli	20	30

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)

	OTTOBRE 2014	NOVEMBRE 2014	DICEMBRE 2014
LU-FORNOLI	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-FORNOLI	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

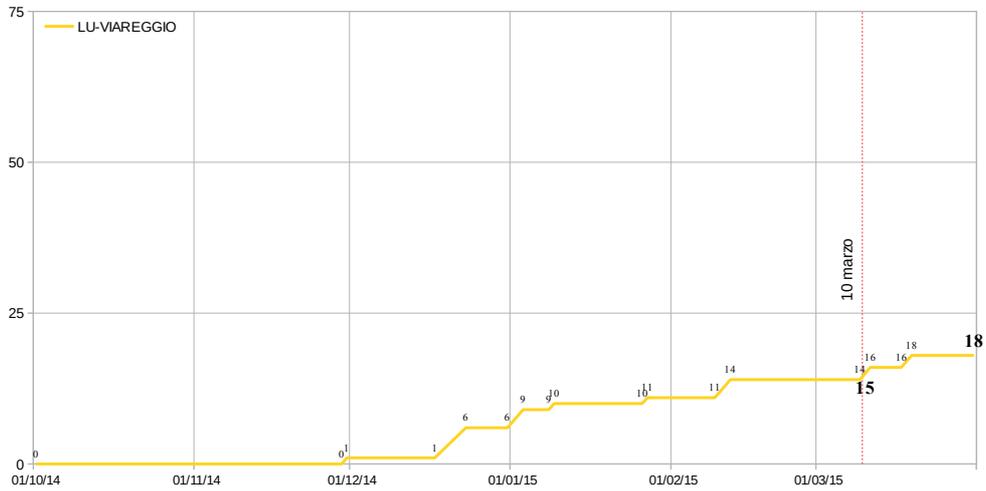
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

	OTTOBRE 2014	NOVEMBRE 2014	DICEMBRE 2014
LU-FORNOLI	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
LU-FORNOLI	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

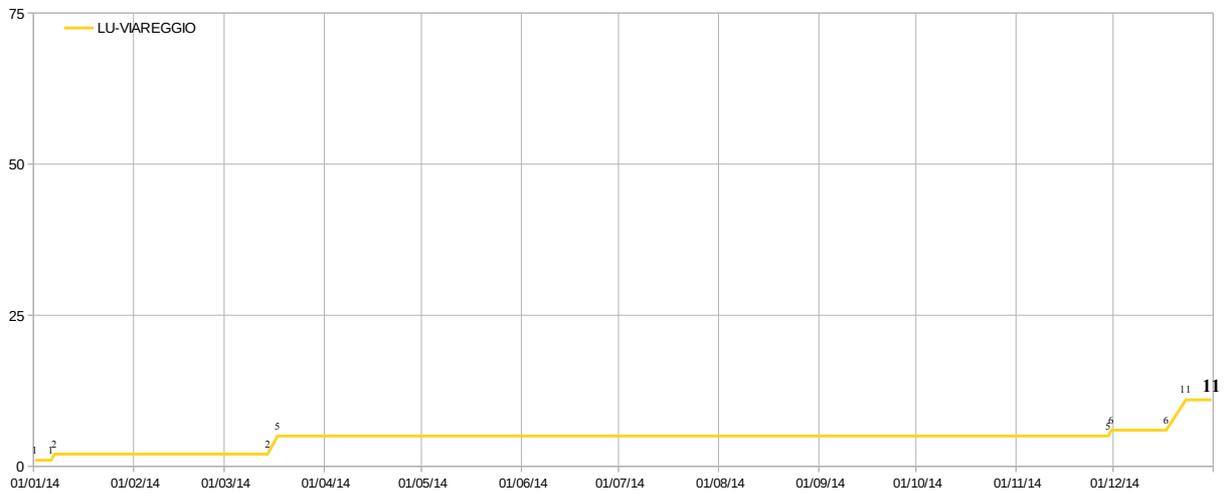
Area Versilia - Viareggio 2014-2015

Curve cumulate superamenti

Viareggio Ottobre 2014 - Marzo 2015



Viareggio 2014



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

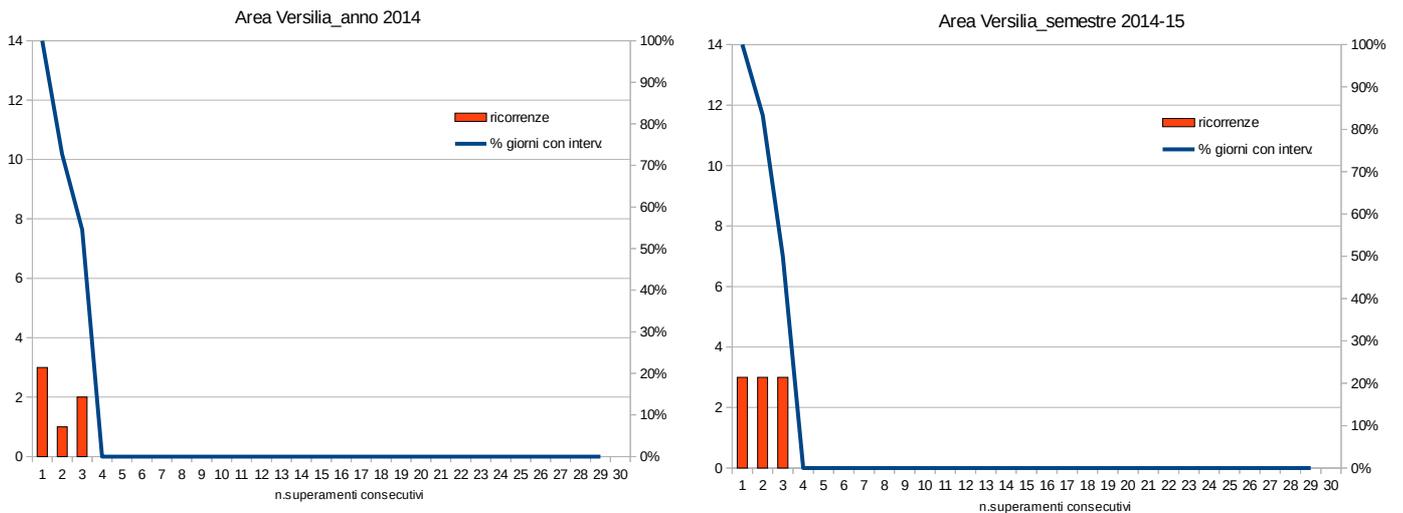


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2014	Semestre 2014-15
LU-Viareggio	11	18

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

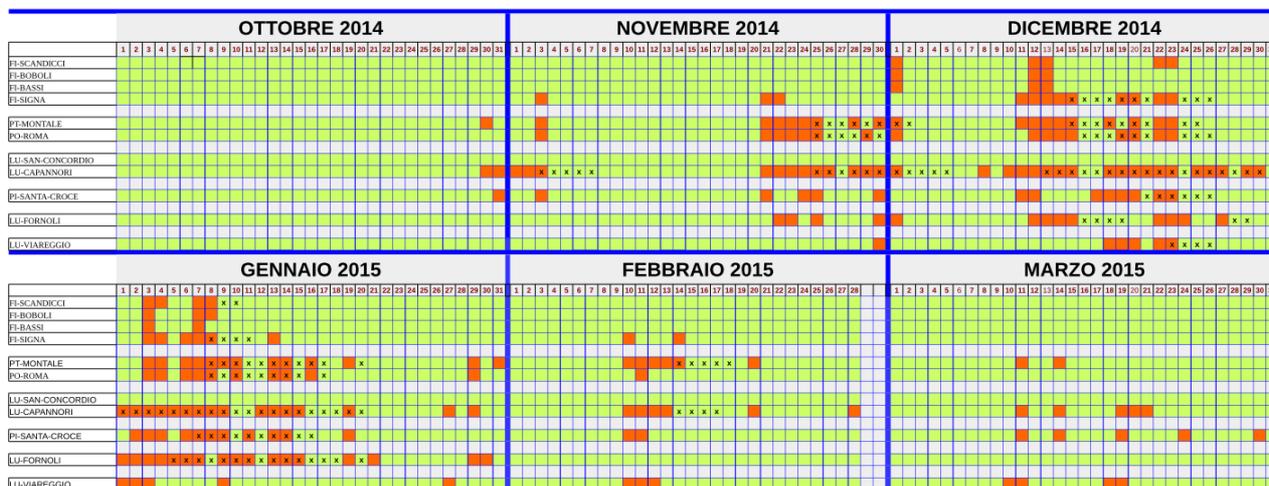
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Quadro generale superamenti 2014/2015 – interventi 4/7 e 5/7

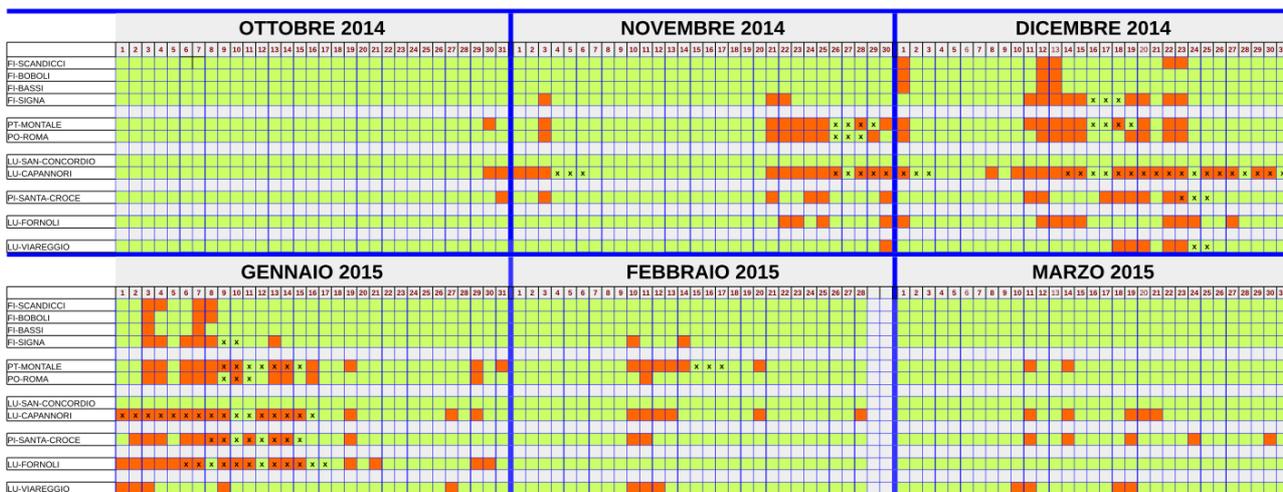
Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Anno 2013 e semestre 2013/2014:

Relativamente a questo periodo sono riportati:

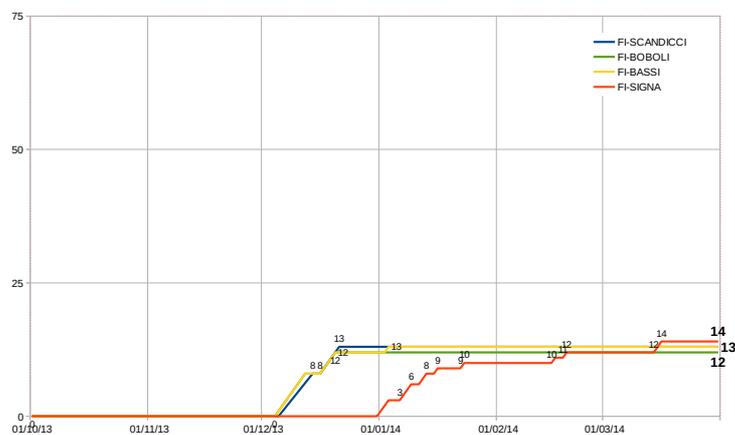
- Curve cumulate superamenti per zona (sono comprese alcune stazioni di fondo che non sono di riferimento per l'area critica) per anno e per semestre
- Grafici di frequenza superamenti consecutivi per area critica per anno e per semestre
- Tabella di riepilogo del numero dei superamenti nel semestre e nell'area critica
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 4/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 5/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti 4/7 e 5/7 quadro generale

Agglomerato di Firenze 2013-2014

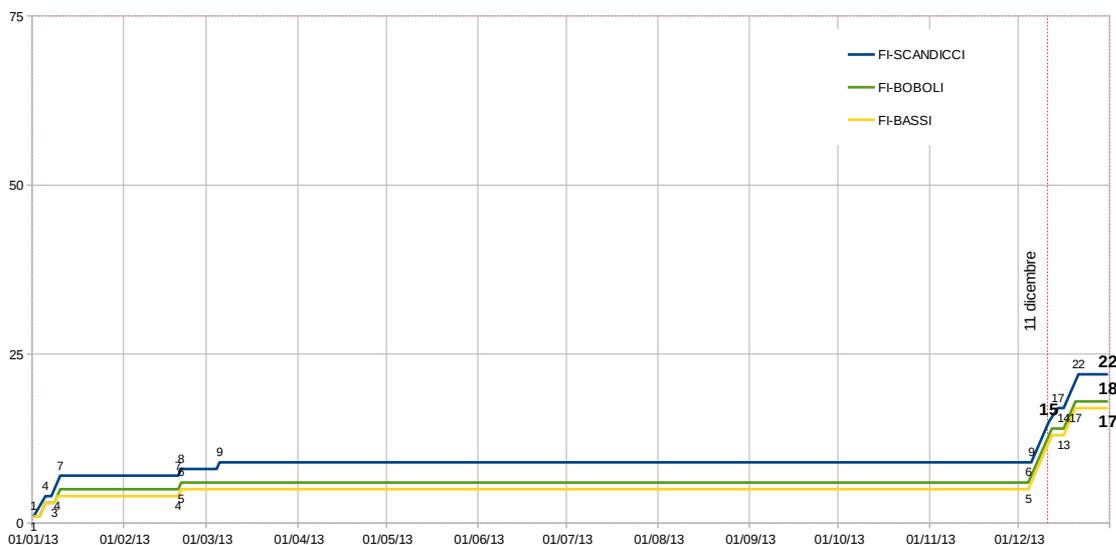
Curve cumulate superamenti

Nota: la stazione di Signa è attiva da gennaio 2014

**Agglomerato
Ottobre 2013 - Marzo 2014**



Agglomerato 2013



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

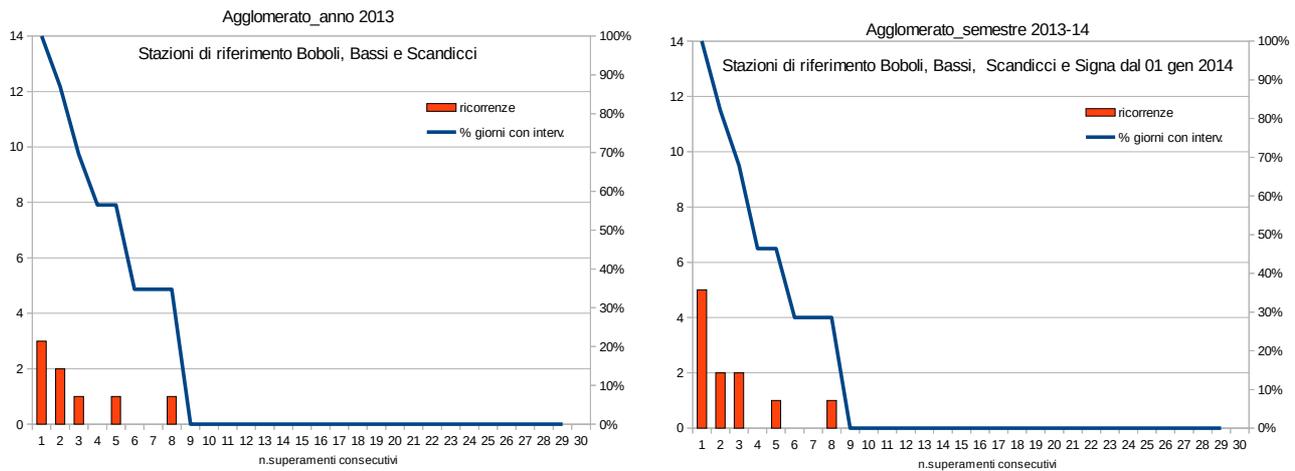


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
1 - FI-Scandicci	22	13
2 - FI-Boboli	18	12
3 - FI-Bassi	17	13
4 - FI-Signa	-	14
Totale agglomerato	23	28

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

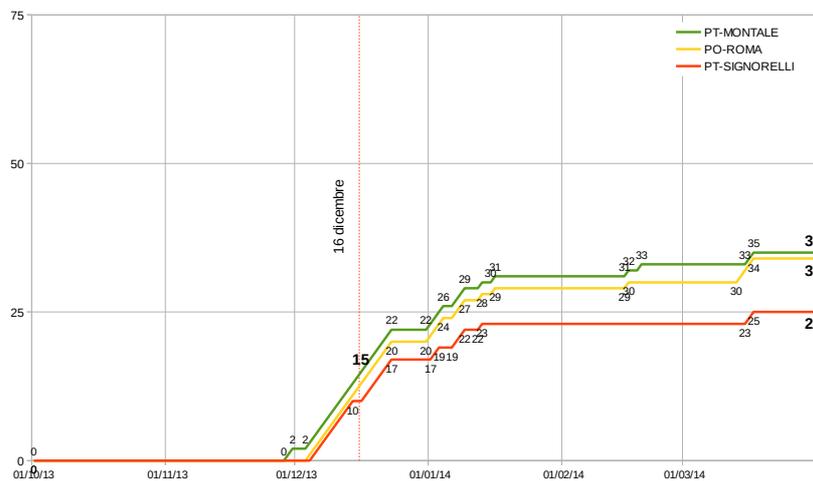


Piana Prato-Pistoia 2013-2014

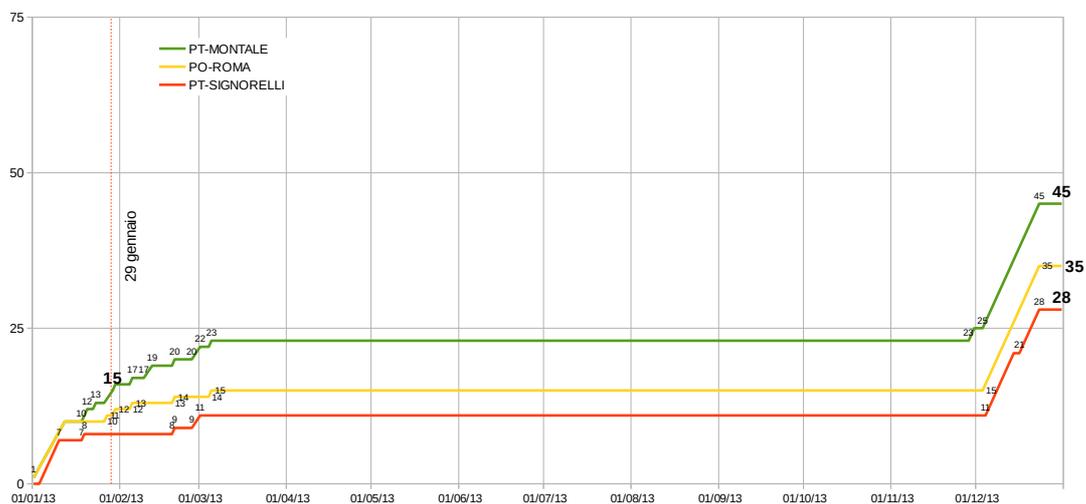
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PT-Signorelli è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

**Zona Prato Pistoia
Ottobre 2013 - Marzo 2014**



**Zona Prato Montale
2013**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

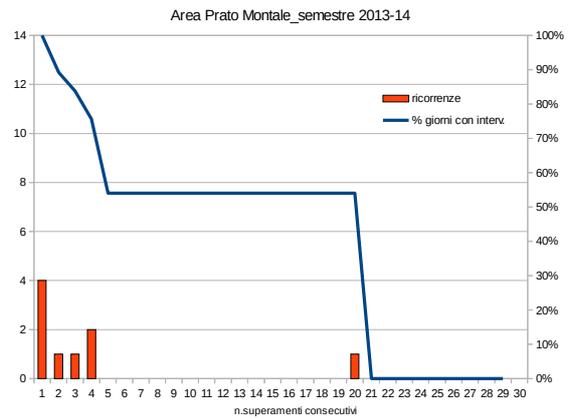
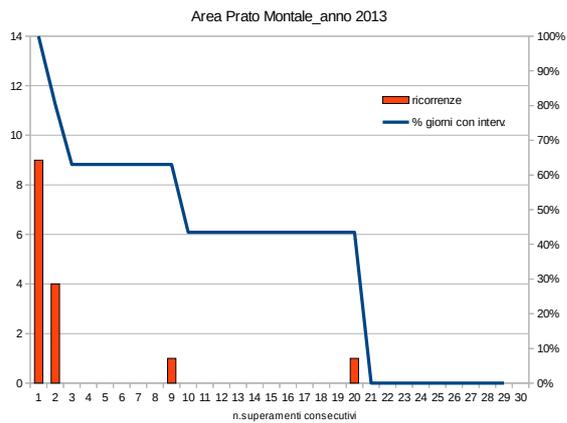


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
1 - PT-Montale	45	35
2 - PO-Roma	35	34
Totale	46	37

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

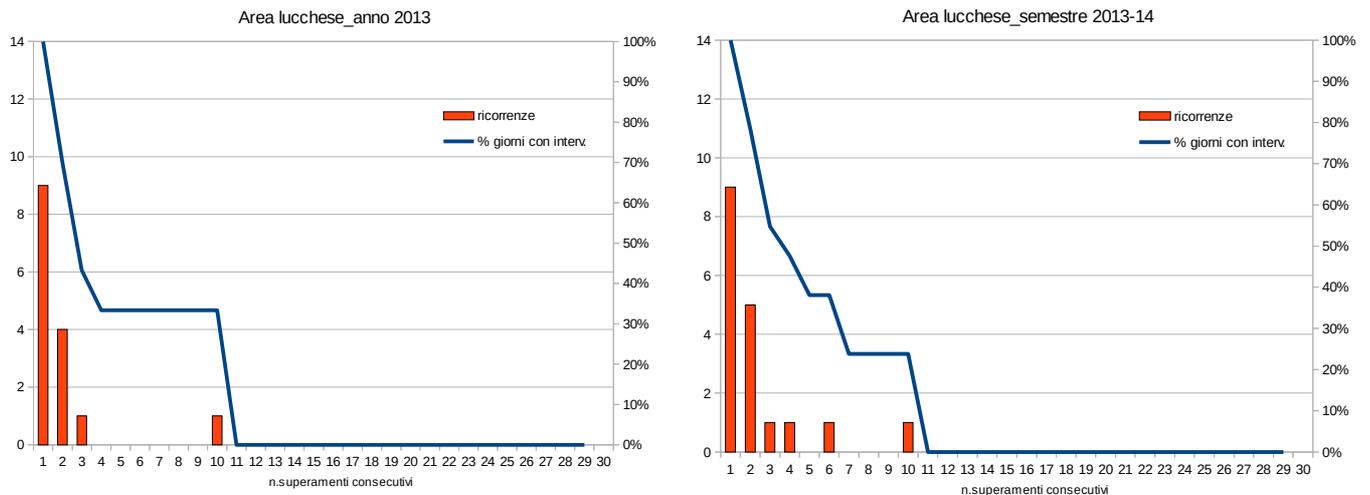


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
1 - LU-Capannori	30	42
2 - LU-S.Concordio	-	-
Totale	30	42

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

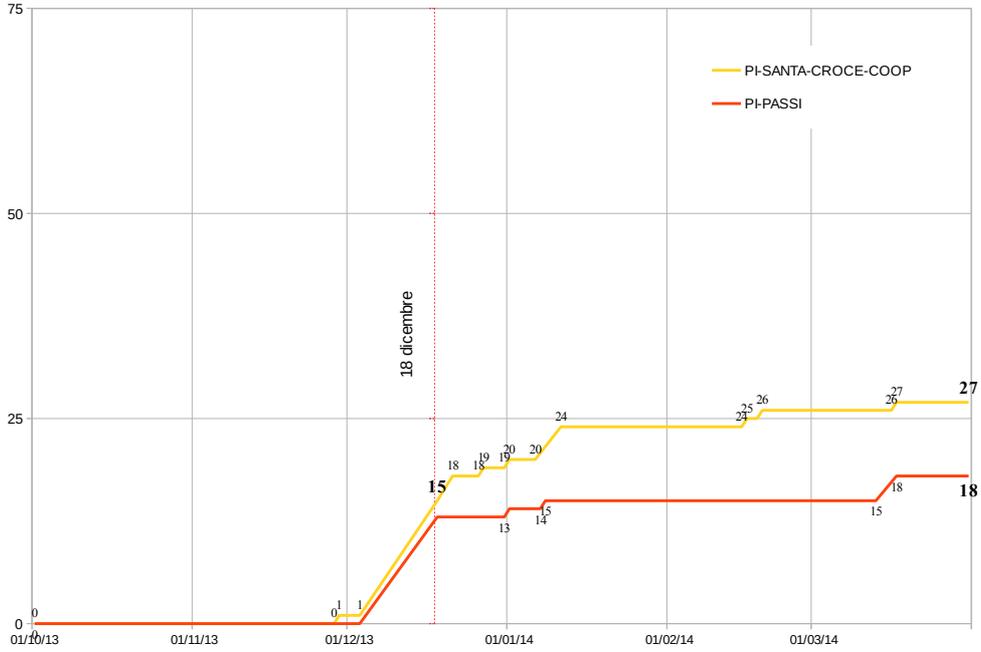


Comprensorio del cuoio 2013-2014

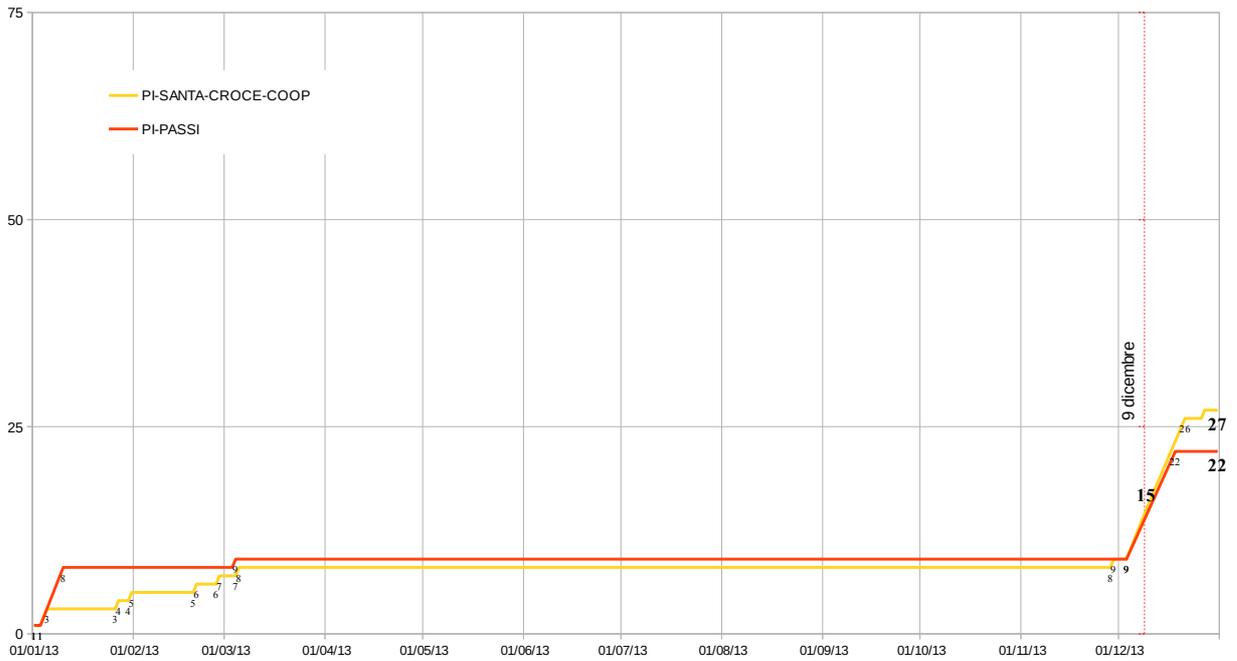
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PI-Passi è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

**Zona S.Croce
Ottobre 2013-Marzo 2014**



**Area S.Croce
2013**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

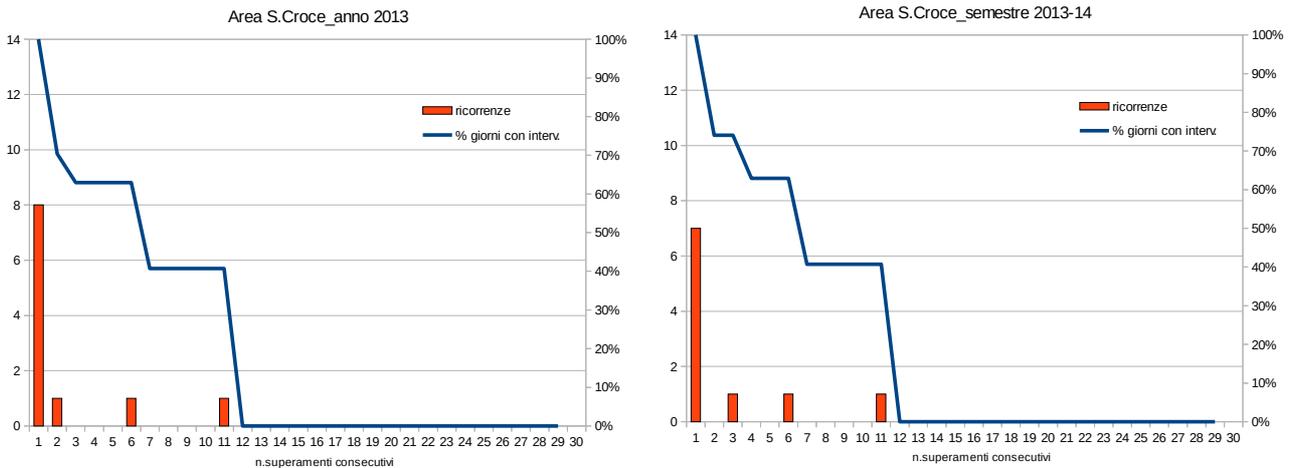


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
PI-S.Croce	27	27

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

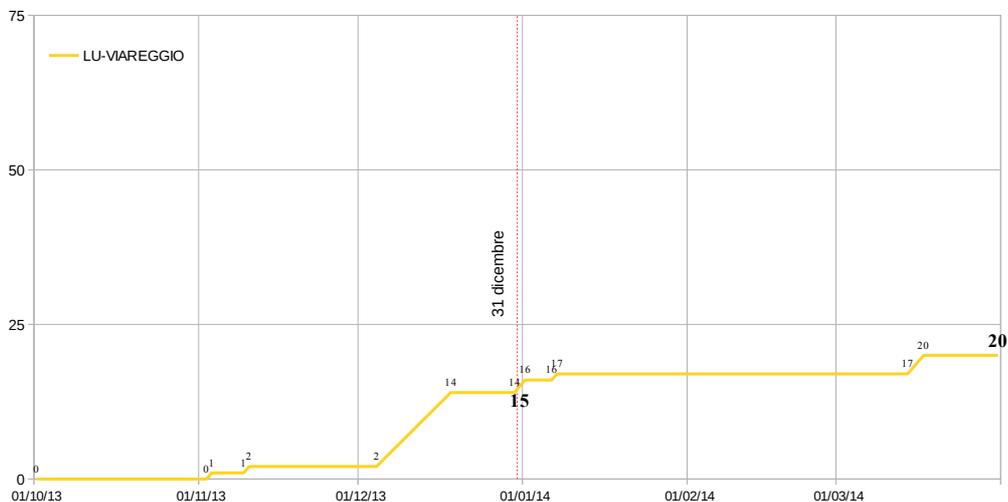
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



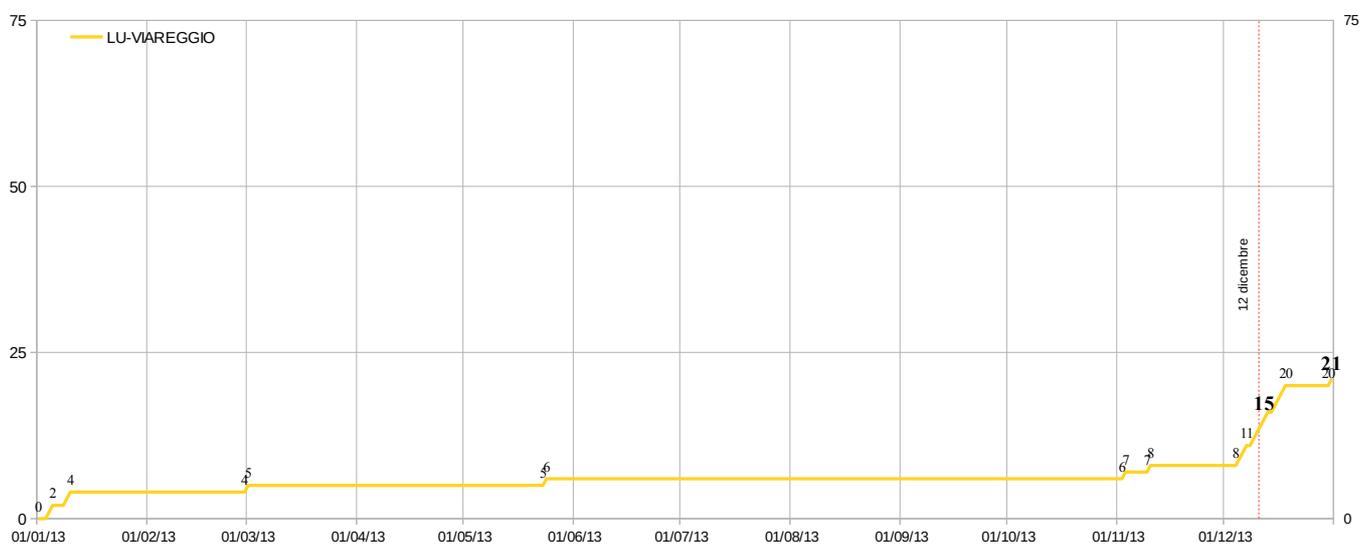
Area Versilia - Viareggio 2013-2014

Curve cumulate superamenti

**Viareggio
Ottobre 2013 - Marzo 2014**



**Viareggio
2013**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

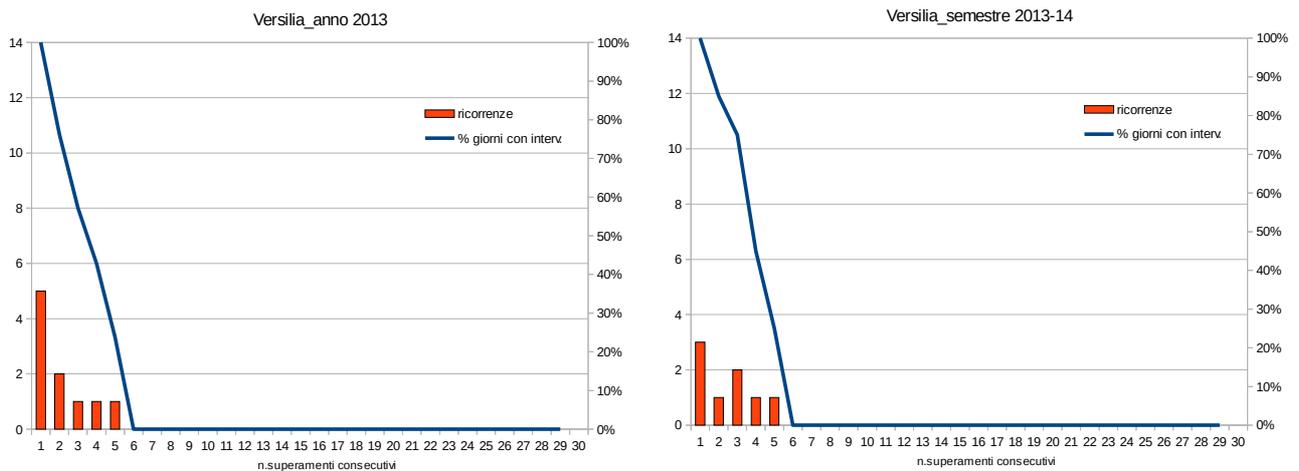


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
LU-Viareggio	21	20

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

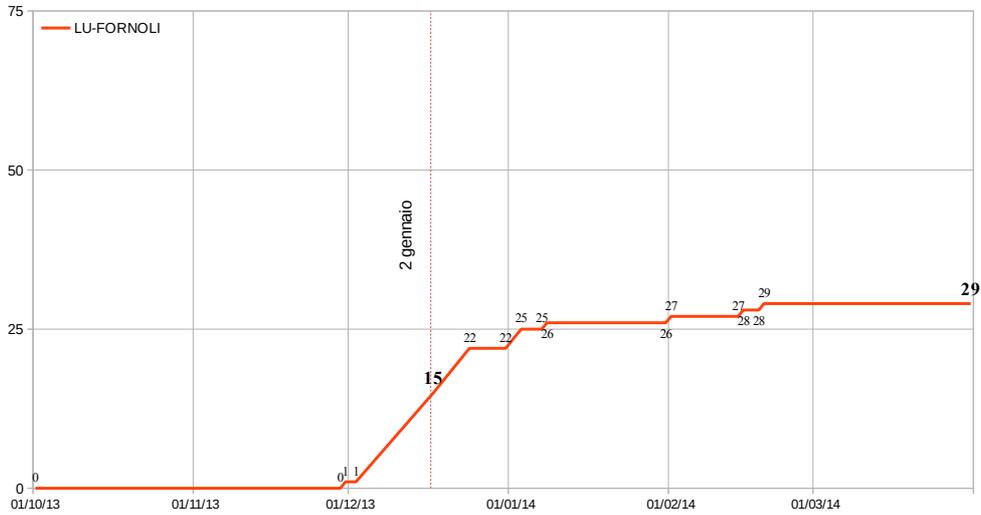
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



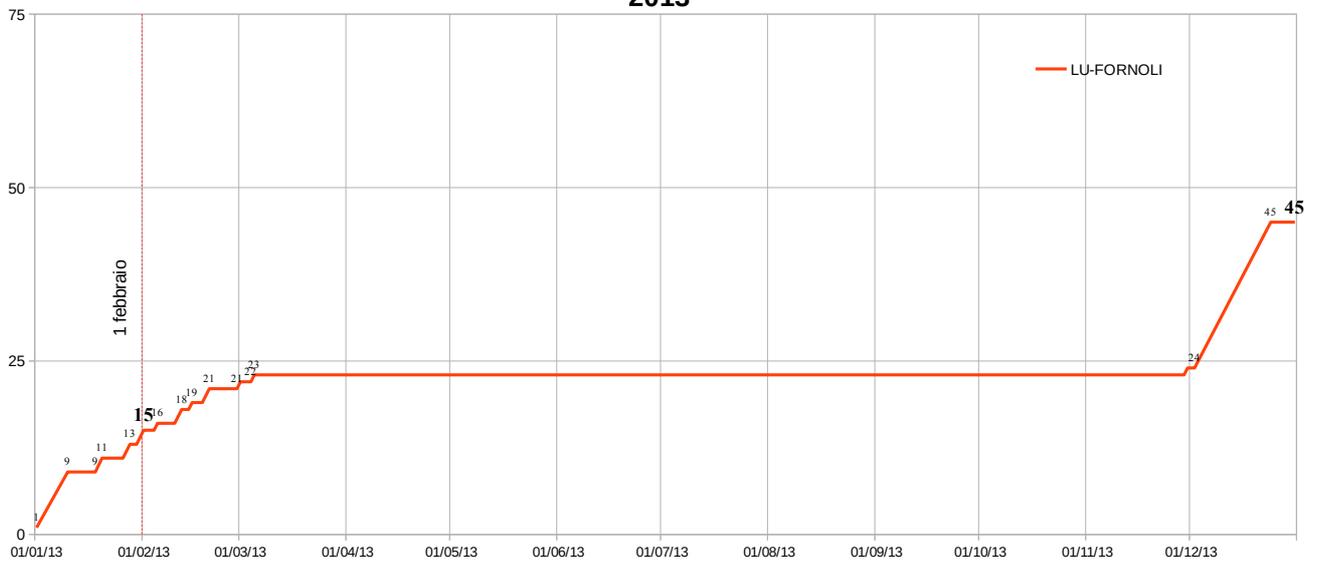
Media valle del Serchio 2013-2014

Curve cumulate superamenti

**Fornoli
Ottobre 2013 - Marzo 2014**



**Fornoli
2013**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

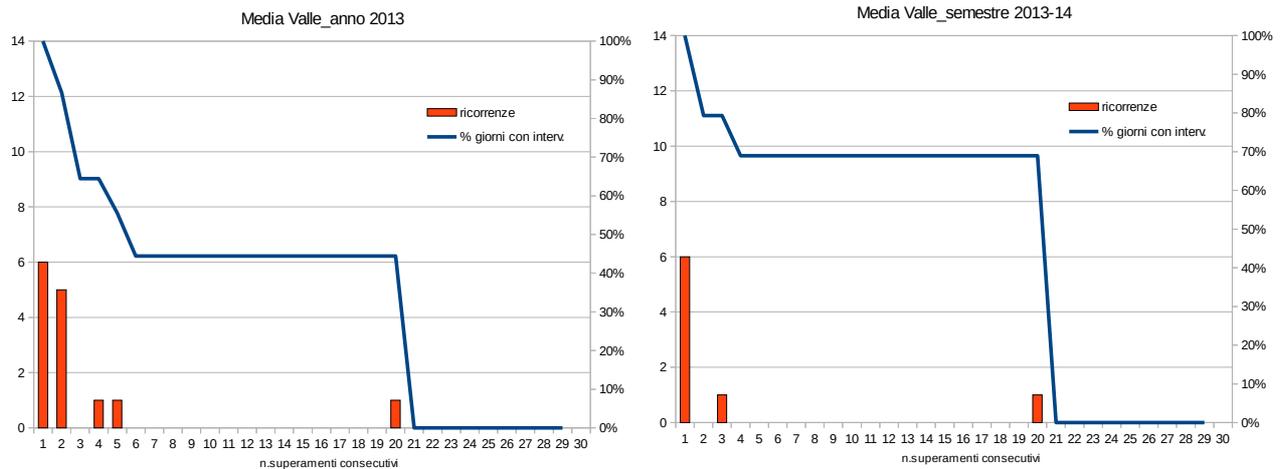


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2013	Semestre 2013-14
LU-Fornoli	45	29

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

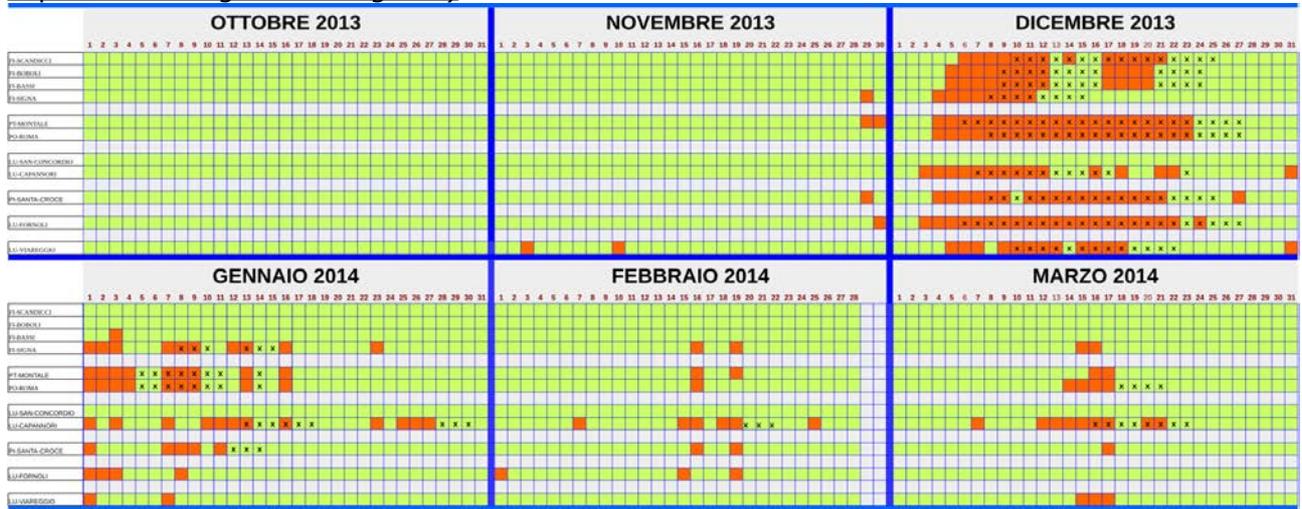
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Quadro generale superamenti 2013/2014 – interventi 4/7 e 5/7

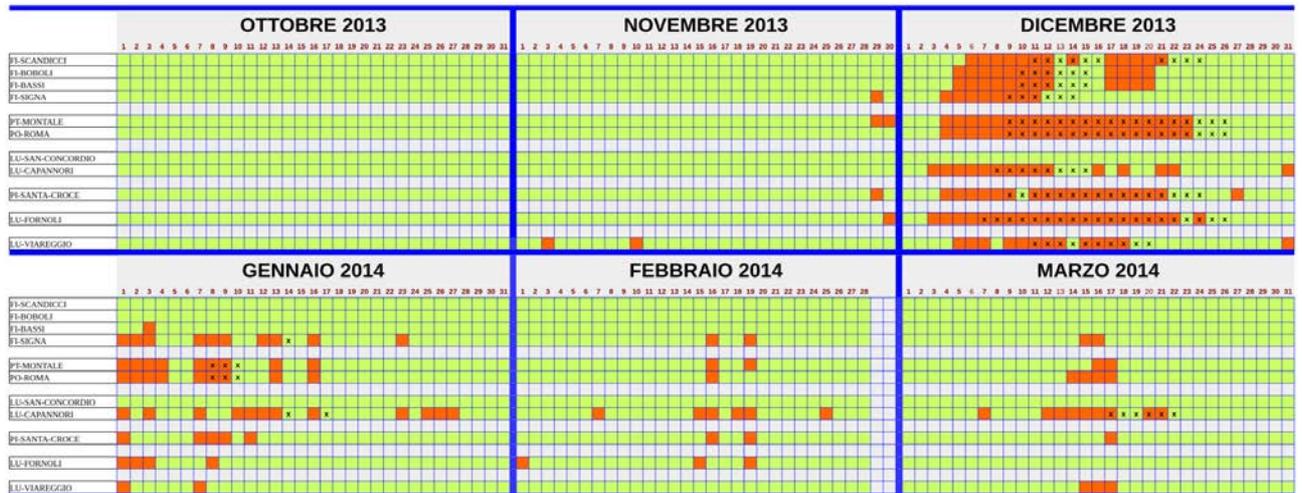
Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Anno 2012 e semestre 2012/2013:

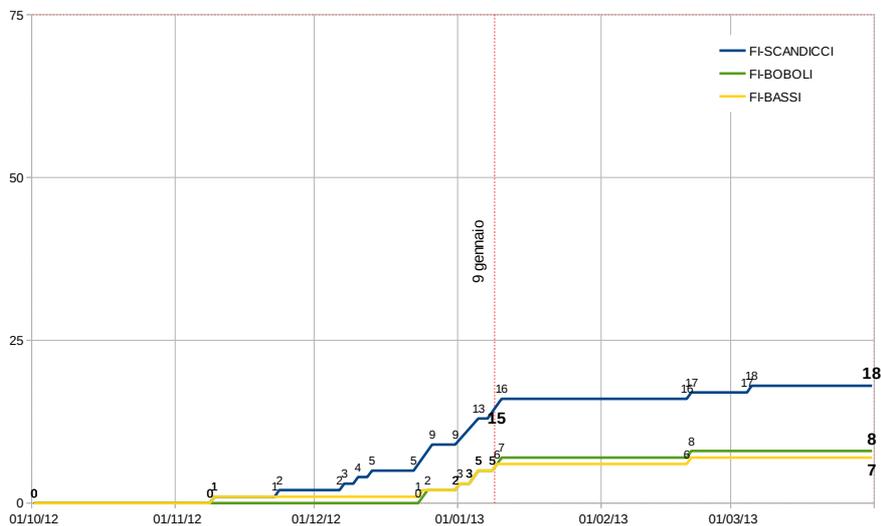
Relativamente a questo periodo sono riportati:

- Curve cumulate superamenti per zona (sono comprese alcune stazioni di fondo che non sono di riferimento per l'area critica) per anno e per semestre
- Grafici di frequenza superamenti consecutivi per area critica per anno e per semestre
- Tabella di riepilogo del numero dei superamenti nel semestre e nell'area critica
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 4/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti nel semestre critico considerando 5/7 giorni di superamento (per area critica)
- Calendario dei provvedimenti 4/7 e 5/7 quadro generale

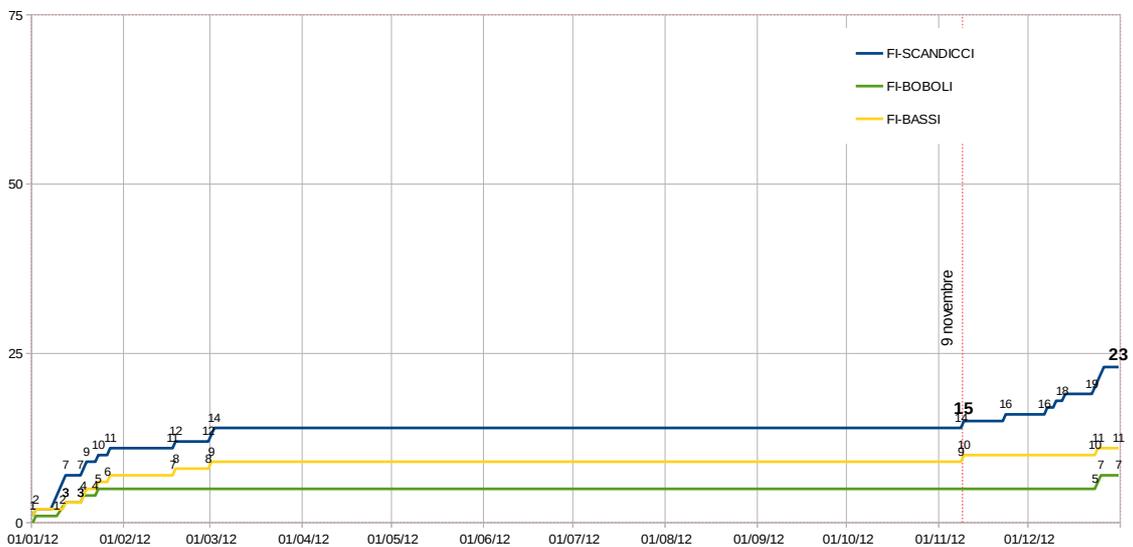
Agglomerato di Firenze 2012-2013

Curve cumulate superamenti

Agglomerato
Ottobre 2012-Marzo 2013



Agglomerato 2012



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

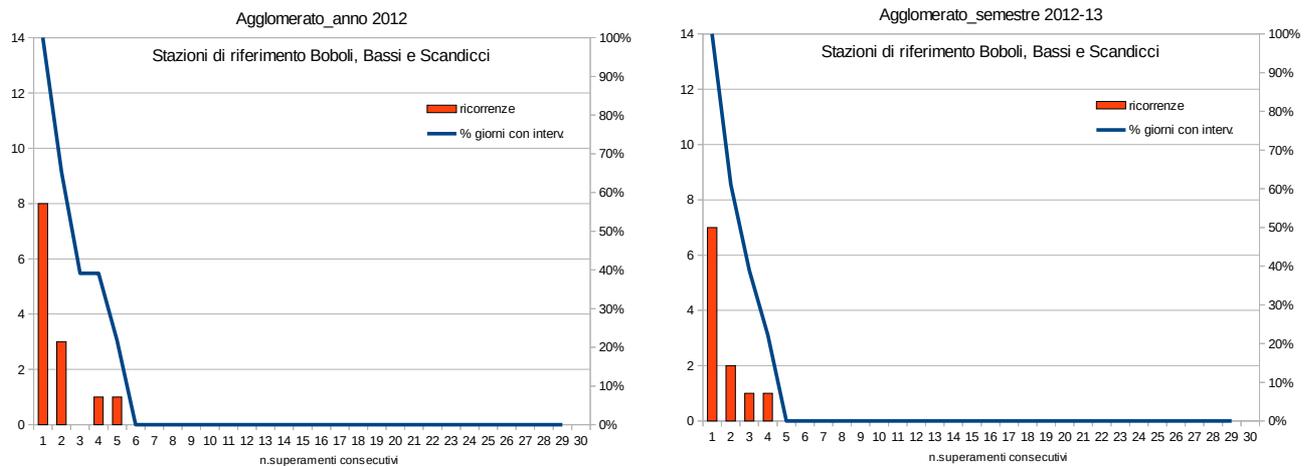


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
1 - FI-Scandicci	23	18
2 - FI-Boboli	7	8
3 - FI-Bassi	11	7
4 - FI-Signa	-	-
Totale agglomerato	23	18

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

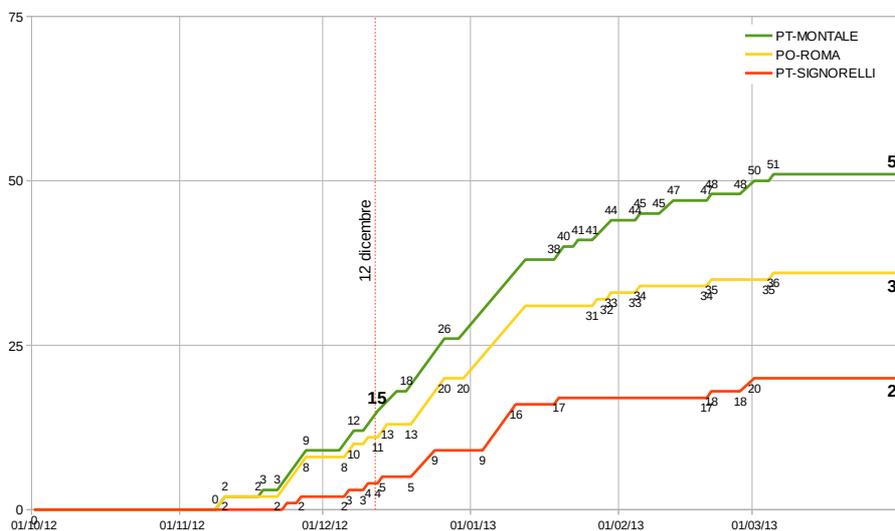


Piana Prato-Pistoia 2012-2013

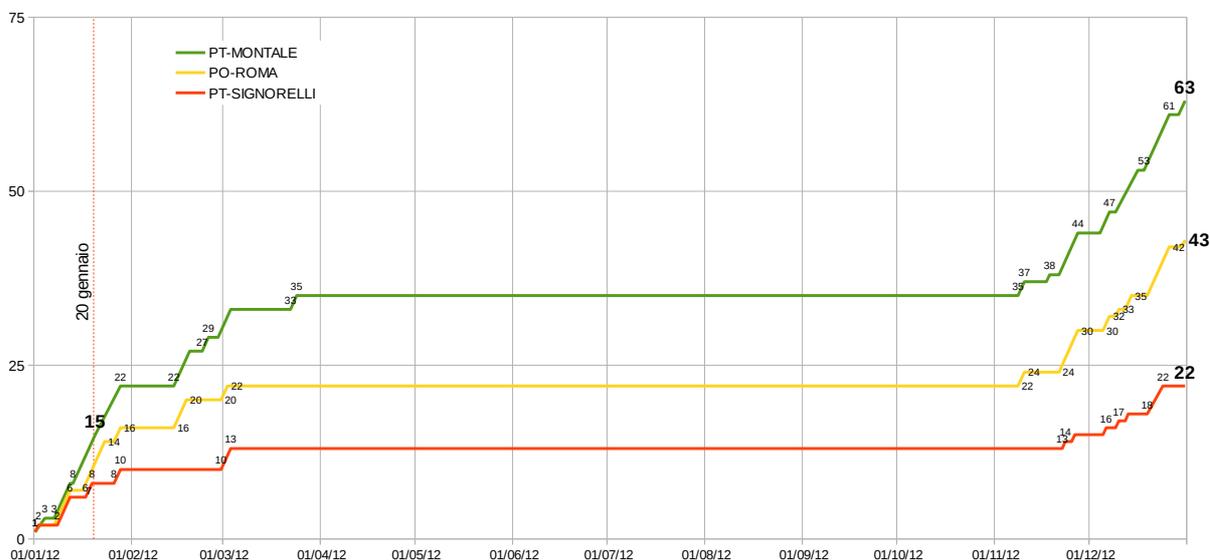
Curve cumulate superamenti

nota: la stazione di PT-Signorelli è riportata a scopo di confronto in quanto non è una stazione di riferimento per l'area di superamento.

**Zona Prato Montale
Ottobre 2012-Marzo 2013**



**Zona Prato Montale
2012**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

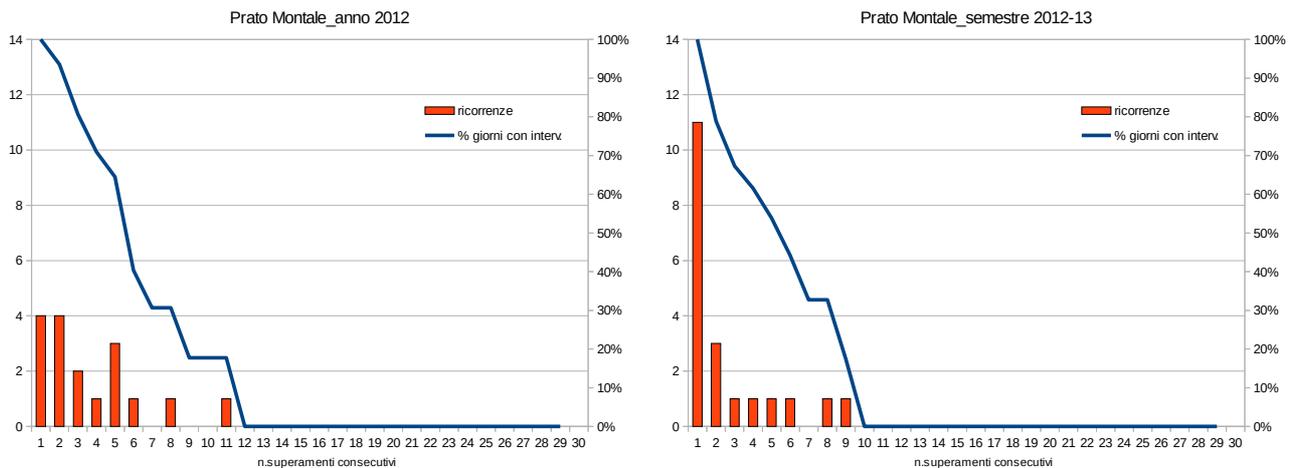


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
1 – PO-Roma	43	36
2 – PT-Montale	63	51
Totale area	63	52

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

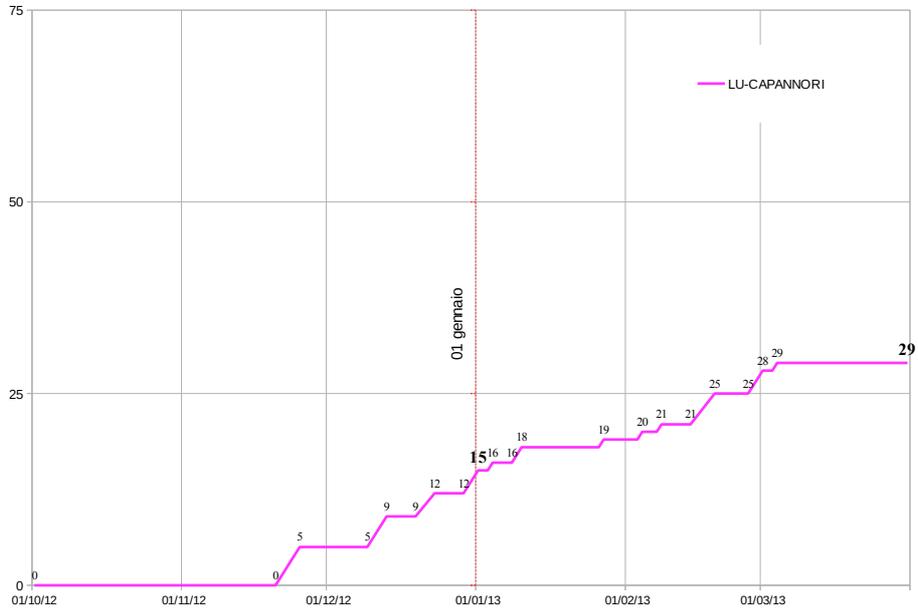
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



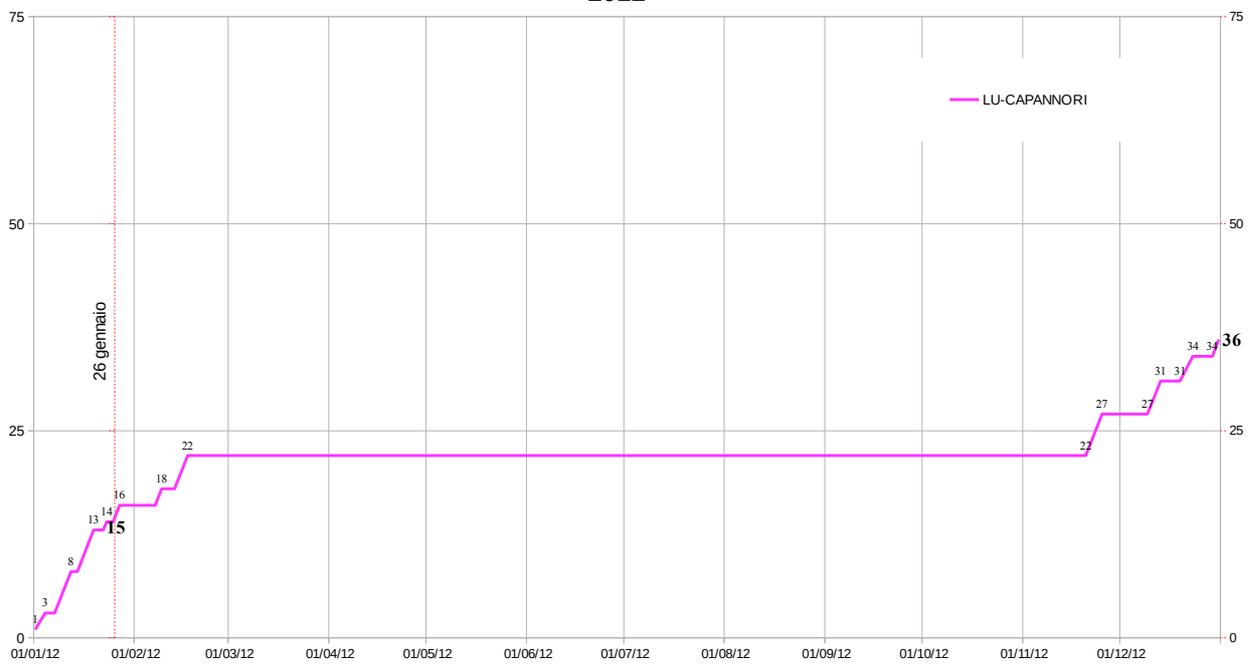
Area Lucchese 2012-2013

Curve cumulate superamenti

Zona Valdarno pisano e piana lucchese Ottobre 2012-Marzo 2013



Piana lucchese 2012



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

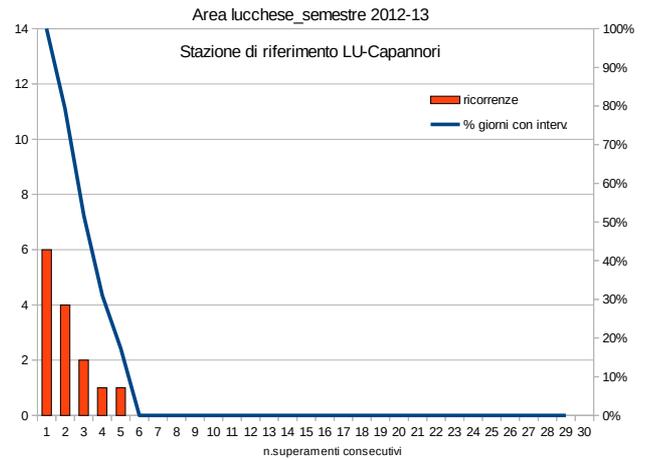
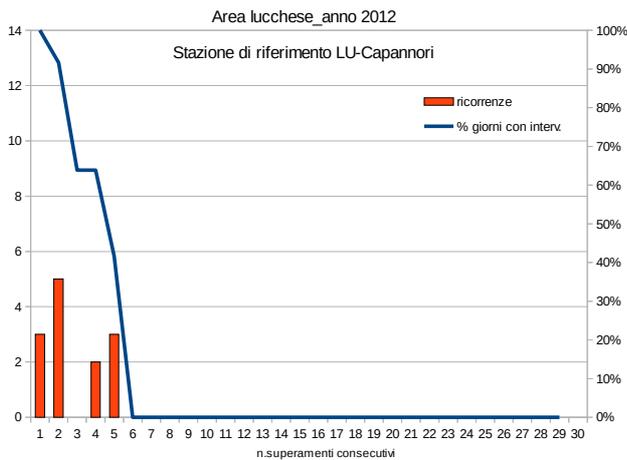


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
1 - LU-Capannori	36	29
2 - LU-S.Concordio	-	-
Totale area		

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

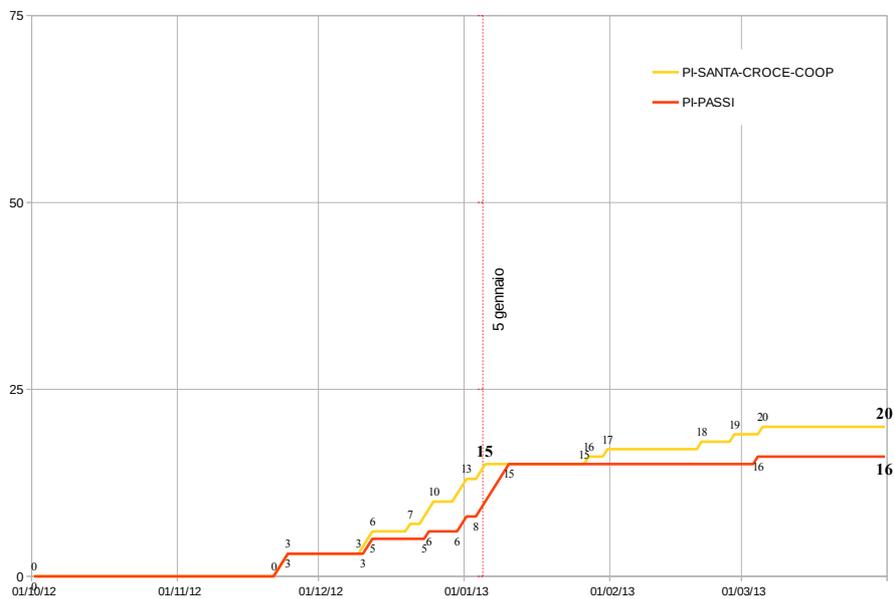
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



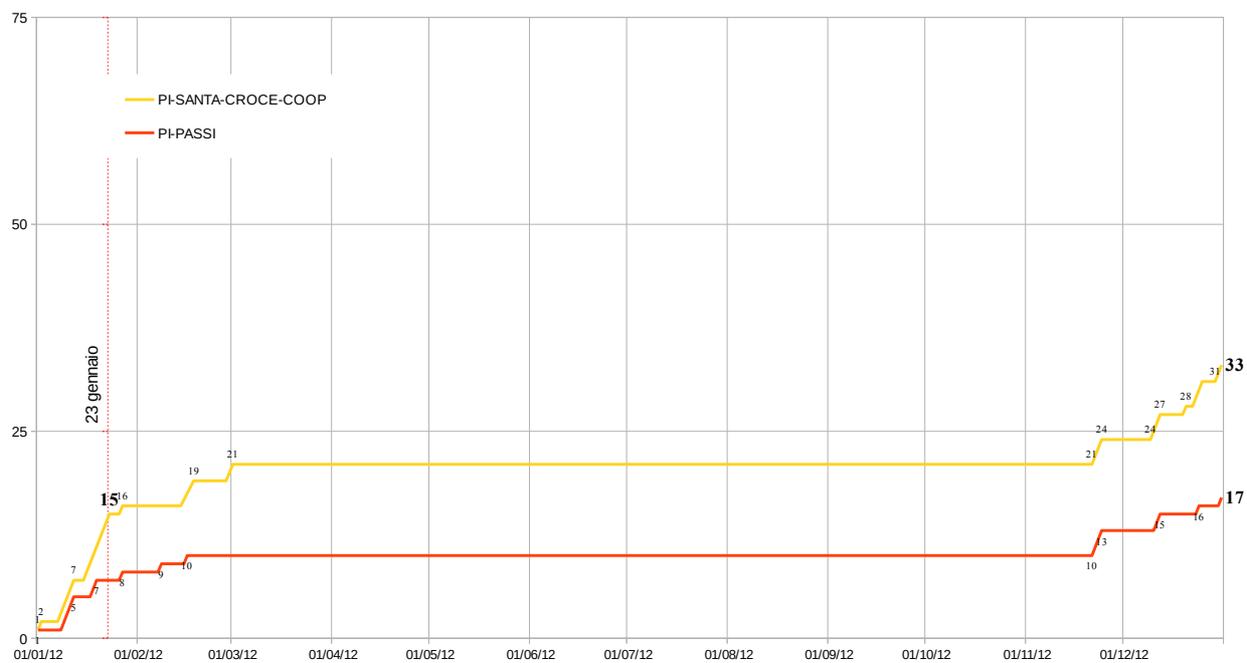
Comprensorio del cuoio 2012-2013

Curve cumulate superamenti

**Zona Valdarno pisano
Ottobre 2012-Marzo 2013**



**Area S.Croce
2012**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

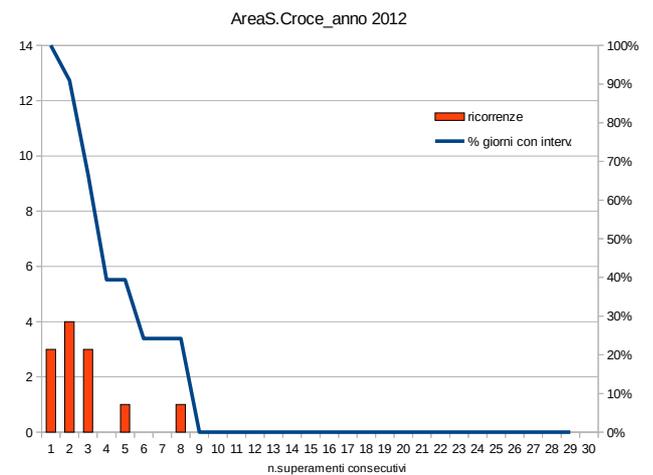
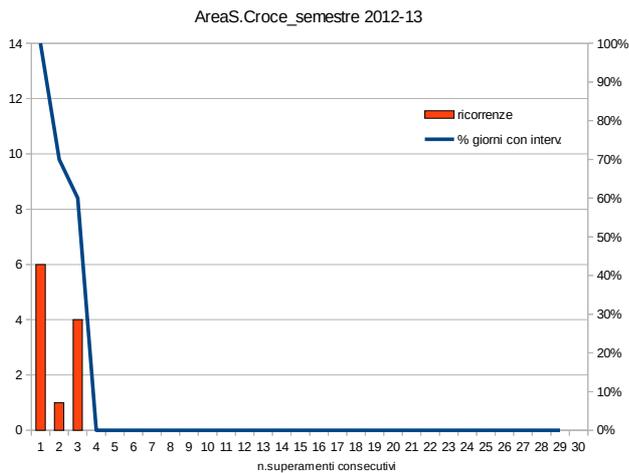


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
PI-Santa Croce	33	20

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

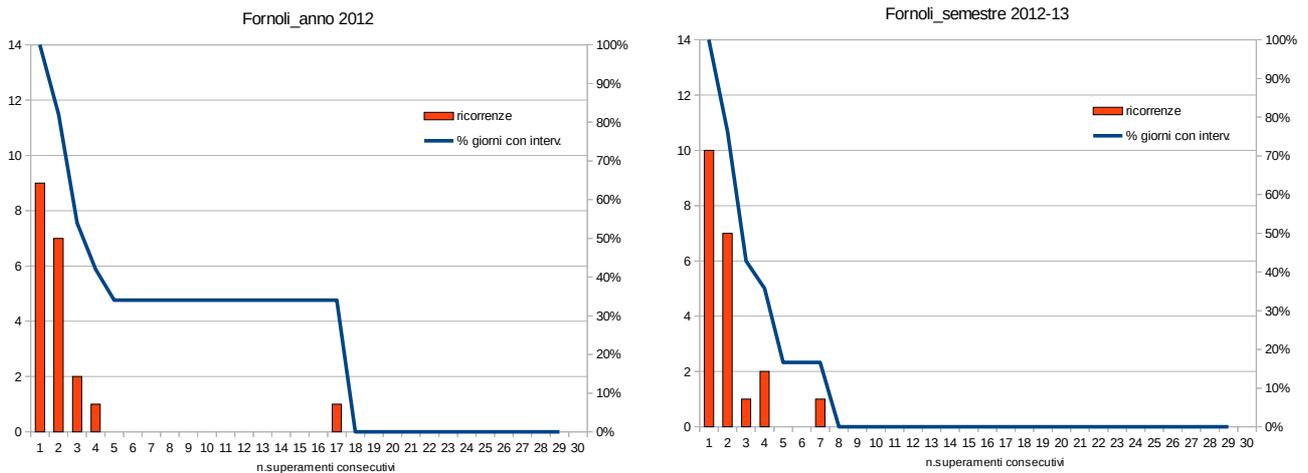


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
Lu-Fornoli	50	42

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

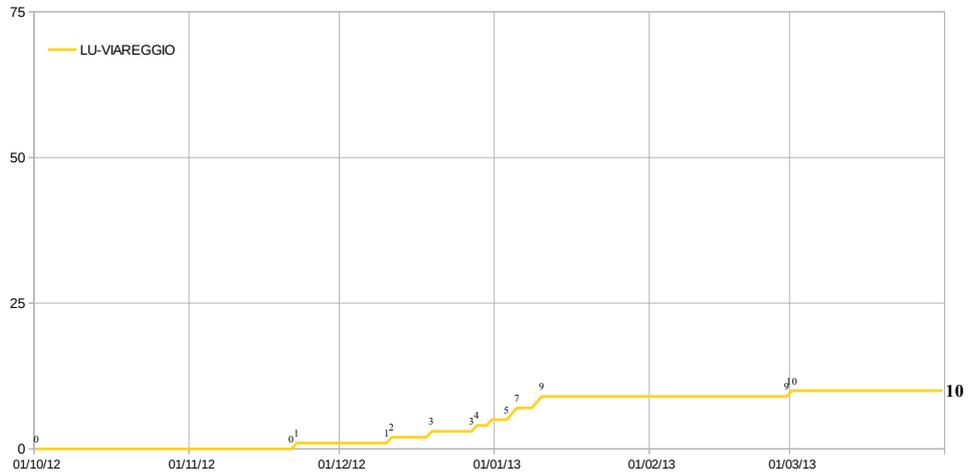
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



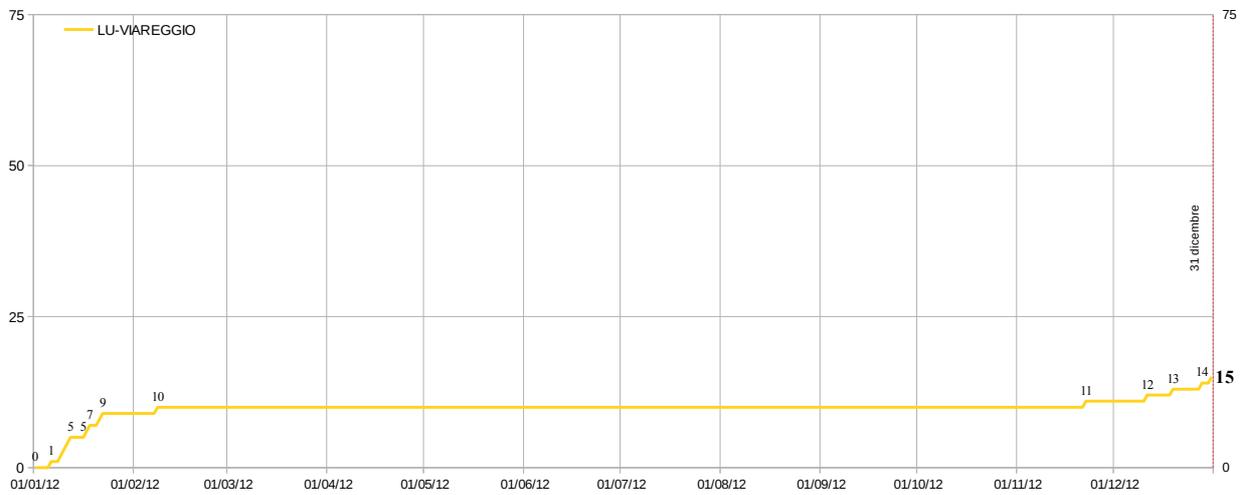
Media valle del Serchio 2012-2013

Curve cumulate superamenti

**Viareggio
Ottobre 2012 - Marzo 2013**



**Viareggio
2012**



Grafici di frequenza superamenti consecutivi

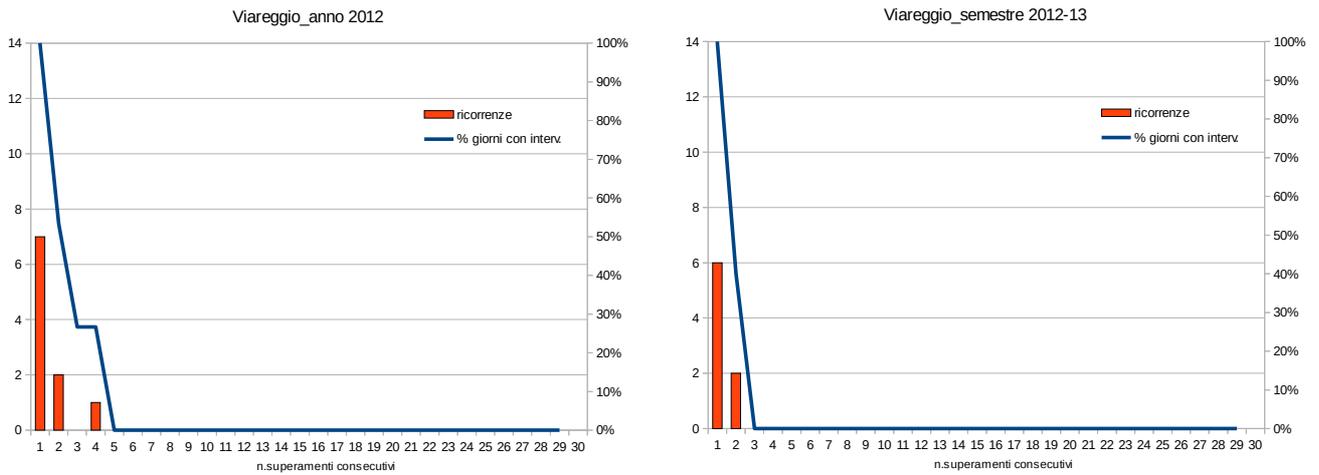


Tabella di riepilogo del n. di superamenti

Stazione	Anno 2012	Semestre 2012-13
Lu-Viareggio	15	10

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

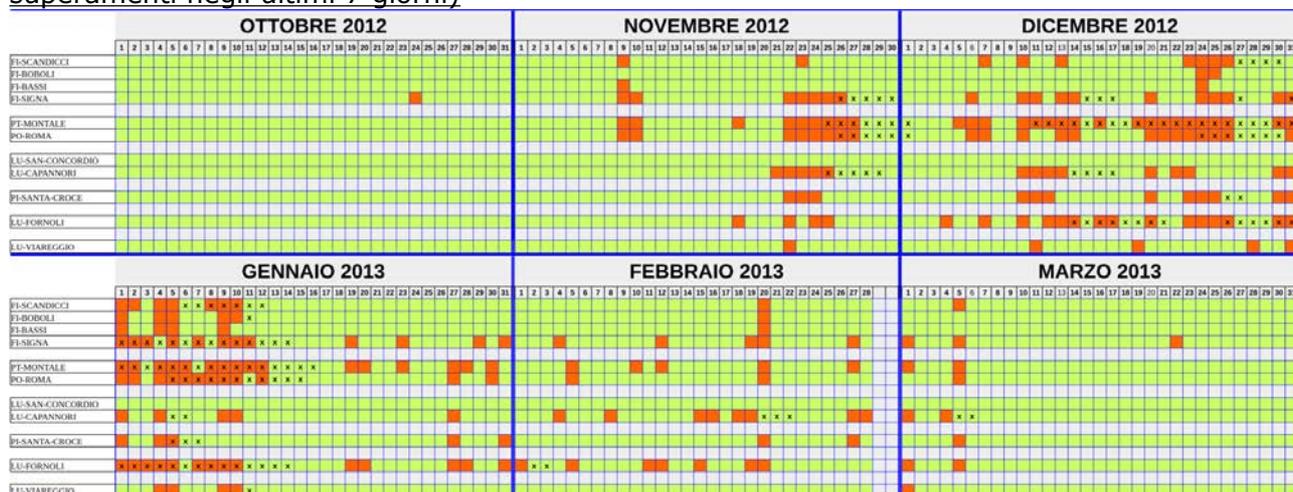
In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Quadro generale superamenti 2012/2013- interventi 4/7 e 5/7

Calendario conteggi 4 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (4 superamenti negli ultimi 7 giorni)



Calendario conteggi 5 giorni di superamento su 7

In rosso giorni di superamento; le x contrassegnano i giorni in cui si verifica la condizione (5 superamenti negli ultimi 7 giorni)

