



Potenzialità e limiti nell'utilizzo di sensori low-cost per la misura del particolato atmosferico PM10 in aria ambiente

Luca Zagolin, Giovanna Marson, Alessio De Bortoli

ARPAV - Servizio Osservatorio Regionale Aria

Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad una rapida diffusione di un'ampia gamma di sensori di piccole dimensioni studiati per la misura in tempo reale della concentrazione di inquinanti atmosferici. Una buona parte di questi sensori è disponibile e facilmente acquistabile sul mercato elettronico a prezzi molto accessibili, a partire da qualche decina di euro. Tra i vari dispositivi disponibili, i sensori dedicati alla misura del particolato atmosferico hanno avuto un grande successo commerciale, legato anche al significativo impatto mediatico di questo inquinante, le cui concentrazioni superano i limiti normativi in tutta l'Italia Settentrionale. La diffusione tra la popolazione di sensori low-cost per la misura di particolato atmosferico e le frequenti richieste di confronto dei cittadini dei relativi dati con i livelli misurati dalle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria ha indotto ARPAV a pianificare delle campagne di misura in parallelo con sensori low-cost e strumenti di monitoraggio standard, rispondenti alle specifiche della normativa di riferimento. L'obiettivo di questa attività è stato quello di studiare l'andamento delle concentrazioni di PM10 misurate con sensori low-cost di un modello largamente impiegato in progetti di *citizen science*, confrontandolo, in diverse situazioni stagionali e meteorologiche, con i dati ottenuti dalla strumentazione standard. Tale esperienza ha consentito di evidenziare potenzialità e difetti di questi sensori, che nella loro economicità e relativa semplicità d'uso, saranno probabilmente sempre più diffusi e utilizzati dalla popolazione.

Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto utilizzando diversi esemplari, appartenenti a lotti differenti, del sensore low-cost NOVA SDS011[1]. Questo sensore, del costo di circa 30 euro, è stato scelto tra la grande varietà di prodotti in commercio, a causa della sua grande diffusione soprattutto nei paesi europei ed in nord Italia, dove esistono community di cittadini molto numerose che, grazie alla presenza di siti dedicati¹, possono condividere e visualizzare i dati geolocalizzati misurati da questo modello di sensore. Su tali siti sono chiaramente indicate anche le modalità di assemblaggio del NOVA SDS011, che per funzionare e trasmettere i dati ha bisogno di essere ingegnerizzato con una scheda elettronica (*board*), dotata di un processore e di un modulo *wifi* per l'acquisizione e l'invio dei dati misurati: allo scopo è stata scelta una scheda NodeMcu ESP8266 ESP-12, a cui è stato collegato anche un sensore tipo DHT22 per la misura della temperatura e dell'umidità relativa (Figura 1).

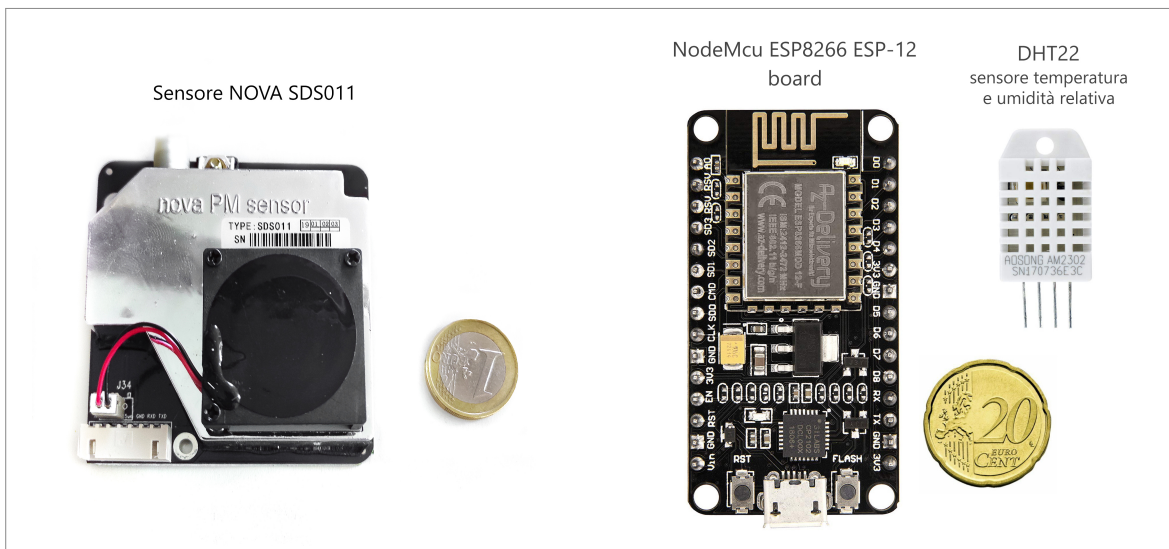


Figura 1: Componenti elettroniche del monitor low-cost.

Come sostanzialmente tutta la sensoristica low-cost per la determinazione di particolato atmosferico, anche il NOVA SDS011 funziona mediante il principio del *light scattering*. Il sensore è costituito da una ventola che aspira l'aria verso la camera di misura, dove è presente un diodo laser e un fotodiodo rilevatore. Il raggio laser incontrando le particelle viene disperso (*scattering*) e la relativa radiazione, proporzionale al numero di particelle, viene convertita dal fotodiodo in un segnale, la cui ampiezza

1. <https://sensor.community/it/>; <https://luftdaten.info/>.

dipende dalla lunghezza d'onda della sorgente, dalla dimensione delle particelle, dall'angolo di dispersione e dall'indice di rifrazione tra l'aria e le particelle. Secondo la scheda tecnica fornita dalla casa madre, il sensore è in grado di misurare la concentrazione delle particelle comprese tra un diametro aerodinamico di 0.3 e 10 micron, e garantisce le prestazioni di misura per 8000 ore di servizio. La frequenza massima di determinazione, con il diodo laser sempre in funzione, è di circa una misura al secondo.

I sensori NOVA SDS011 per la misura del particolato e il DHT22 per la temperatura e l'umidità relativa sono stati collegati alla scheda di acquisizione, in cui è stato installato il firmware e il codice di programmazione, seguendo le istruzioni riportate online, in modo da riprodurre fedelmente la configurazione utilizzata da molti utenti che possiedono questi monitor. L'insieme dei tre componenti elettronici è stato posto in un tubo a U di diametro interno di 75mm, per proteggere le componenti elettroniche dalle intemperie, ed il sistema è stato alimentato da un trasformatore 5V e 2A (di tipo analogo a quelli usati per i cellulari), collegato alla rete elettrica (Figura 2).

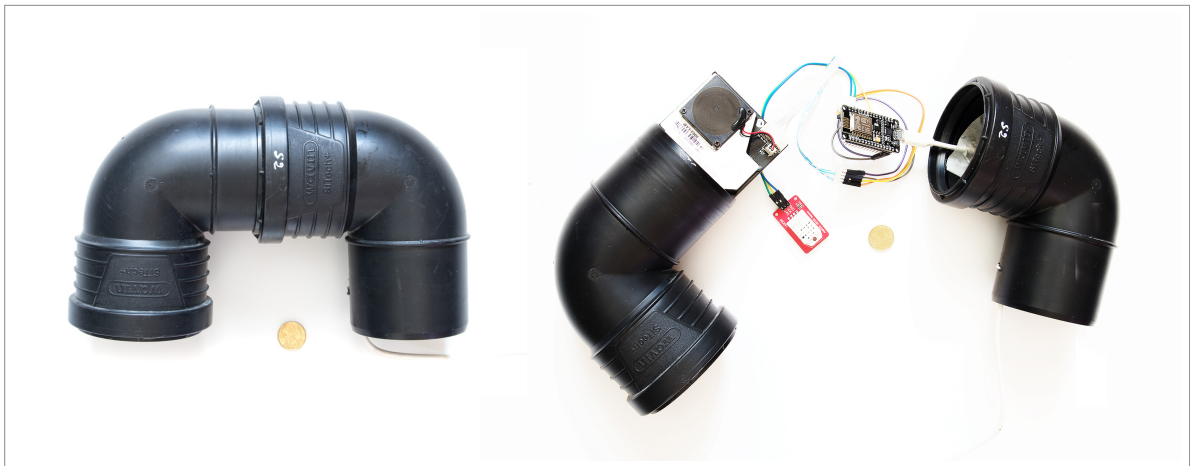


Figura 2: Assemblaggio del monitor low-cost all'interno del tubo a protezione dalle intemperie.

Lo studio ha previsto due distinte campagne di monitoraggio, la prima dal 1 settembre al 31 ottobre 2019 e la seconda dal 6 dicembre 2019 al 30 gennaio 2020. Durante tutto il monitoraggio, effettuato presso la sede ARPAV di Via Lissa a Mestre (VE), i sensori low-cost sono stati affiancati a due diversi analizzatori automatici di PM10, conformi ai requisiti del D.Lgs.155/2010, e utilizzati normalmente per il monitoraggio della qualità dell'aria. Gli analizzatori, un Environnement MP101M e un OPSIS SM200, sono stati posizionati in altrettante stazioni rilocabili distanti a pochi metri l'una dall'altra. I monitor low-cost sono stati installati sul tetto dei mezzi mobili in prossimità della testa di prelievo per il PM10 degli analizzatori automatici (Figura 3).

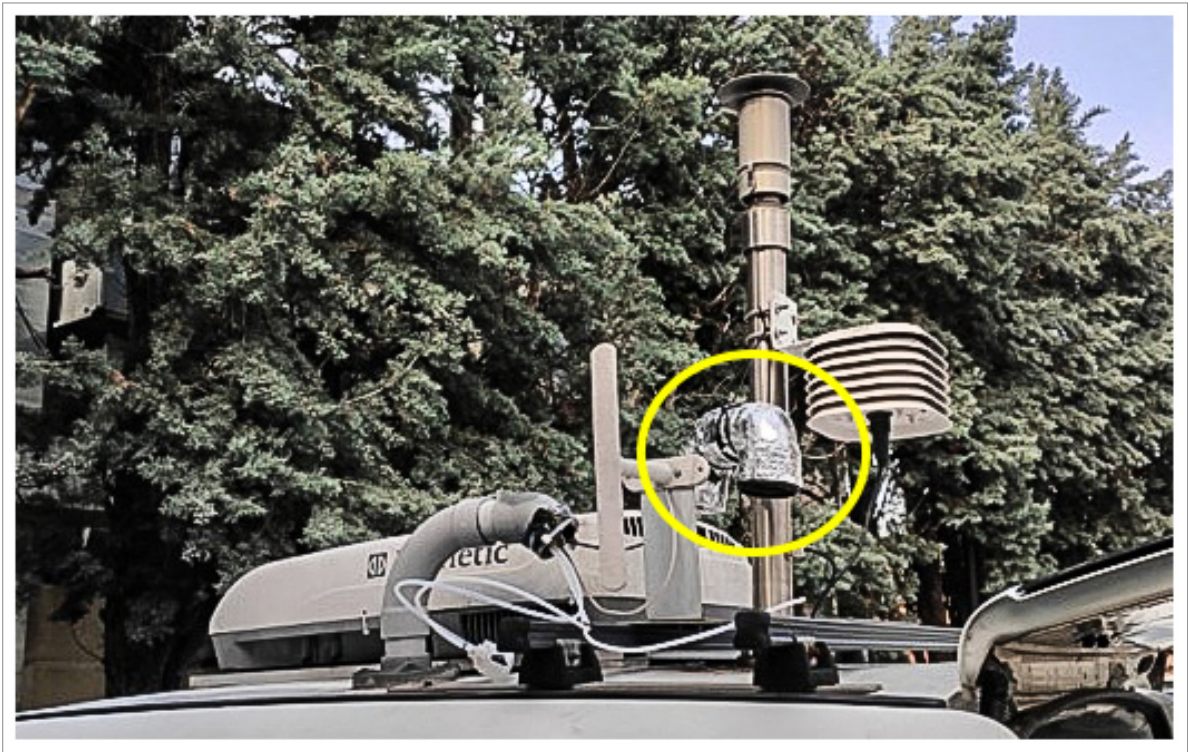


Figura 3: Installazione del monitor low-cost (evidenziato in giallo) in prossimità della linea di prelievo PM10 dell'analizzatore di riferimento.

Durante la prima campagna sono stati utilizzati due sensori low-cost NOVA SDS011 in parallelo, nuovi e appartenenti allo stesso lotto di produzione. Era previsto che gli stessi sensori, dopo due mesi di misura, affiancassero nella seconda campagna altri due NOVA SDS011, nuovi e appartenenti ad un lotto diverso da quello della prima campagna. Purtroppo all'inizio della seconda campagna, dopo un mese di pausa, uno dei due sensori già utilizzati ha smesso di funzionare: per questo motivo tra dicembre 2019 e gennaio 2020 sono stati attivi in parallelo il sensore NOVA SDS011 superstite della prima campagna e i due sensori nuovi dello stesso modello.

In entrambe le campagne i sensori hanno funzionato con una frequenza di lavoro di circa 30 secondi di misura ogni 2 minuti per evitare un rapido deterioramento della sorgente laser. La trasmissione delle concentrazioni di particolato misurate dai monitor low-cost è avvenuta utilizzando la rete *wifi* presente in ciascuna delle due stazioni rilocabili. I dati così ottenuti sono stati mediati sulle 24 ore per poter effettuare il confronto con i livelli misurati dagli analizzatori automatici di rete, che sono certificati per la concentrazione media giornaliera di particolato atmosferico.

Risultati e discussione

In Figura 4 sono illustrati gli andamenti giornalieri del PM10 misurati presso il sito di Via Lissa a Mestre durante la prima campagna di monitoraggio, dal 1 settembre al 30 ottobre 2020. Le misure del secondo analizzatore di riferimento, l'OP SIS SM200, sono disponibili dall'11 settembre.

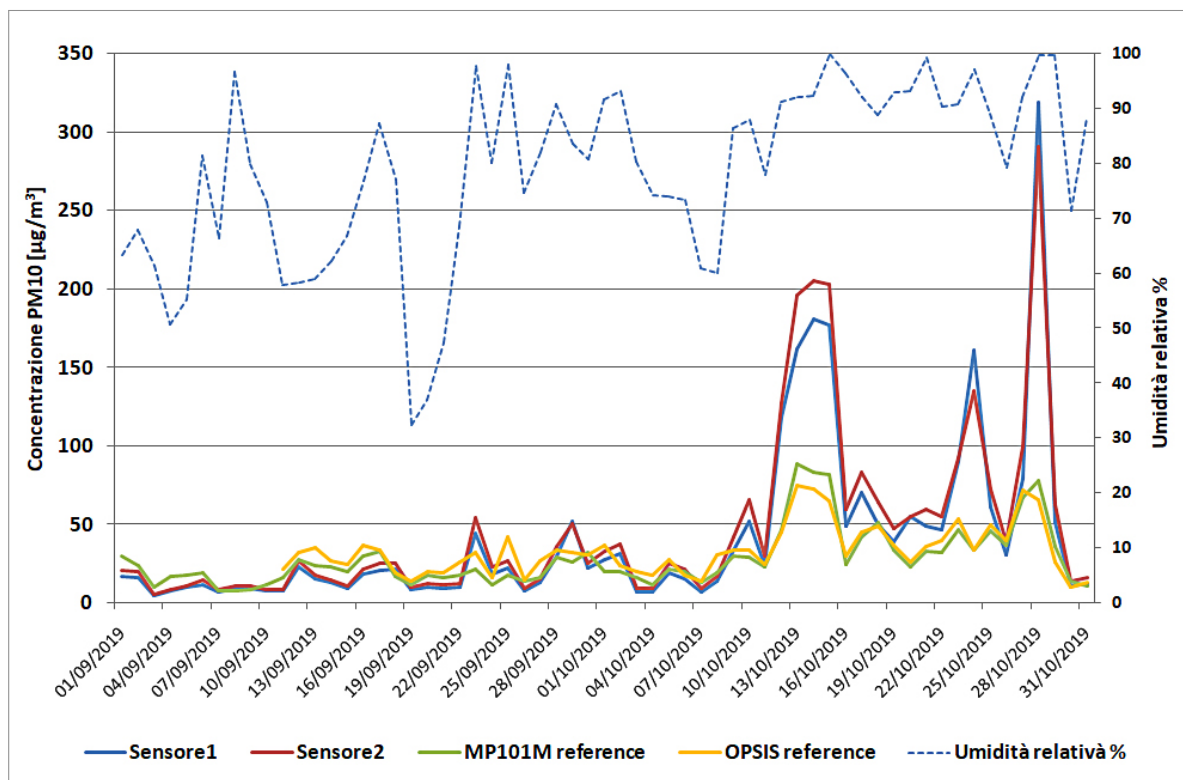


Figura 4: Andamento delle concentrazioni giornaliere di PM10 registrate dai sensori NOVA SDS011 e dagli analizzatori automatici ARPAV (MP101M e OPSIS), durante la prima campagna di monitoraggio.

Si può innanzitutto osservare una buona coerenza nei dati di concentrazione dei due sensori low-cost che mostrano due tracciati sostanzialmente sovrapponibili. Si evidenzia quindi che i due sensori, appartenenti allo stesso lotto, godono di un'ottima replicabilità delle misure, soprattutto per concentrazioni medio-basse di PM10, come evidenziato dallo *scatterplot* in Figura 5.

Per quanto riguarda il confronto con gli analizzatori di riferimento, si evidenzia invece una differenza abbastanza significativa tra la prima e l'ultima parte della campagna. Infatti fino al 7 ottobre le concentrazioni del PM10 si sono mantenute piuttosto basse e confrontabili tra i sensori e gli analizzatori. La situazione è cambiata significativamente intorno al 10 ottobre, quando i livelli di particolato misurati dai sensori e dagli

strumenti di riferimento cominciano a differire in maniera visibile. Gli scostamenti sono particolarmente evidenti nelle giornate dal 14/10/2019 al 16/10/2019, il 23/10/2019, il 24/10/2019 e il 28/10/2019.

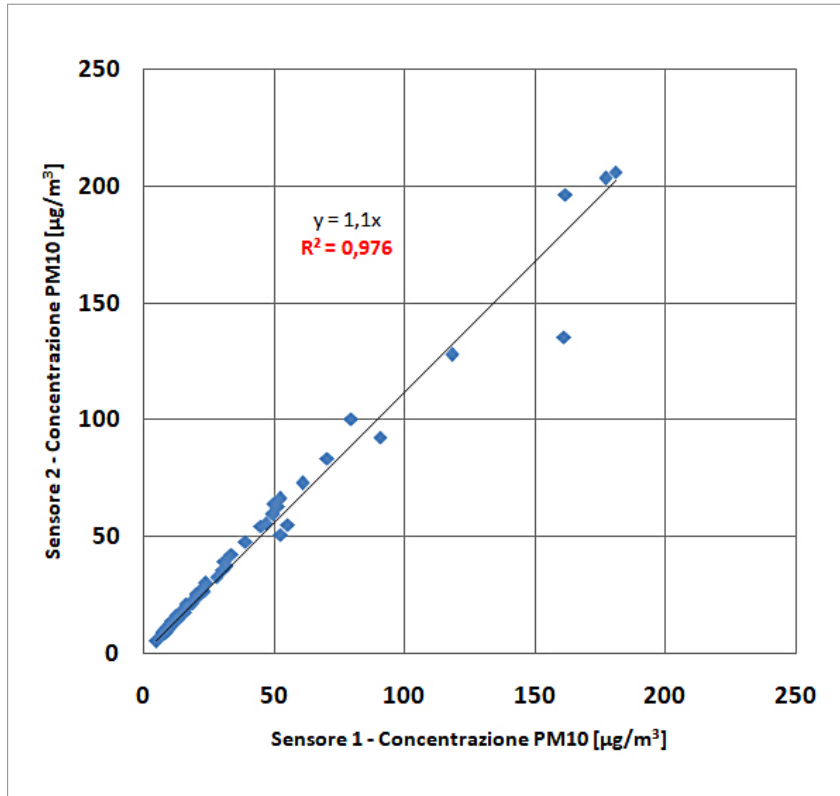


Figura 5: Prima campagna di monitoraggio: confronto tra le concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate dai sensori low-cost.

In queste occasioni si è mantenuta una notevole coerenza di misure tra i sensori e tra gli analizzatori, ma è stata evidenziata una differenza estremamente elevata in termini di concentrazioni misurate tra i monitor low-cost e gli strumenti di riferimento. Nello specifico, il giorno 28 ottobre, le concentrazioni medie giornaliere di particolato rilevate dai sensori sono state oltre 4 volte superiori rispetto a quelle determinate dagli strumenti di riferimento. Se si osserva il grafico in Figura 4 a partire dal 10 ottobre circa, dal punto di vista delle condizioni meteorologiche, si nota una tendenza ad alti valori di umidità relativa percentuale, che, a differenza delle settimane precedenti, si attesta quasi stabilmente su valori oltre il 90% come media giornaliera. Tenendo conto che il dato riportato nel grafico, determinato attraverso i sensori di temperatura e umidità DHT22 presenti nei monitor low-cost, si riferisce ad una media dei valori sulle 24 ore, si può dedurre che il tasso di umidità si sia mantenuto su valori molto elevati durante gran parte della giornata, nella seconda metà di ottobre. Tale informazione appare

molto importante, in primo luogo perché durante la prima parte della campagna i valori di umidità relativa misurati, per quanto molto fluttuanti nelle diverse giornate, si erano mantenuti su livelli tendenzialmente più bassi rispetto al secondo periodo, costituendo una differenza delle condizioni di campionamento rilevante. Inoltre questo dato acquisisce ulteriore rilevanza in relazione alle specifiche sulle condizioni di lavoro del sensore NOVA SDS010, che secondo la scheda tecnica ufficiale [1], devono mantenersi entro un limite di umidità relativa inferiore al 70%.

La perdita di affidabilità delle misure dei sensori di particolato atmosferico basati sul principio del *light scattering*, in concomitanza con valori elevati di umidità relativa nell'ambiente, è un problema che è già stato evidenziato da alcuni studi in letteratura [2][3]. In particolare è stata osservata una sovrastima dei livelli di particolato legata alla crescita igroscopica delle particelle e, nel caso di nebbia, ad un aumento dello scattering misurato dai sensori, causato dalle particelle di acqua aerodisperse [4][5][6].

A questo proposito va purtroppo sottolineato che la gran parte dei sensori low-cost di PM10 utilizzati dalla popolazione, è installata in esterno, al fine di determinare la concentrazione di particolato in aria ambiente. All'aperto, specialmente durante i mesi freddi, quando le concentrazioni di particolato atmosferico sono massime e possono presentare delle criticità, si instaurano frequentemente condizioni meteorologiche con livelli di umidità estremamente elevati, in cui i sensori basati sul *light scattering* potrebbero presentare delle performance scadenti.

Nel presente studio, tenendo conto dei valori medi giornalieri, e osservando solo il variare dell'umidità relativa percentuale in relazione alle concentrazioni di PM10 misurate, (Figura 4), si può dedurre che durante la prima campagna, i sensori hanno fornito misure confrontabili con gli strumenti di riferimento per valori di umidità relativa anche più elevati del 70%, mostrando invece una perdita di performance evidente per valori di umidità superiori all'85-90%, in particolare se queste condizioni si sono protratte per più giorni di fila. Si può tuttavia ipotizzare che, da solo, il dato di umidità relativa percentuale media giornaliera, spieghi solo una parte delle condizioni in cui i sensori mostrano significative perdite di performance, perché non in tutte le situazioni di livelli alti di umidità le prestazioni dei monitor low-cost sono peggiorate.

A tale scopo, durante la seconda campagna di monitoraggio, realizzata nel periodo più freddo dell'anno, tra dicembre e la fine di gennaio, si è voluto implementare le informazioni meteorologiche a corredo delle misure di particolato, utilizzando i dati di visibilità e di umidità relativa misurati in zona dal Servizio Centro Meteorologico di Teolo, che garantiscono un grado di affidabilità superiore rispetto ai soli dati di

umidità relativa misurati dal sensore DHT22. Inoltre la prosecuzione del monitoraggio nel periodo più freddo dell'anno ha consentito di verificare l'affidabilità dei sensori low-cost anche con livelli di PM10 decisamente più alti rispetto al periodo precedente. Infine la seconda campagna è stata importante anche per comprendere l'affidabilità delle misure di esemplari di sensori NOVA SDS010 appartenenti a lotti diversi. Infatti, accanto al sensore ancora in funzione dalla prima campagna (identificato d'ora in poi come Sensore 1), sono stati aggiunti 2 ulteriori sensori NOVA SDS011 (Sensore 3 e Sensore 4), appartenenti ad un lotto diverso rispetto al Sensore 1.

Il grafico in Figura 6 mostra gli andamenti delle concentrazioni di PM10 misurate durante la seconda campagna dai tre sensori low-cost rispetto ai due monitor di riferimento.

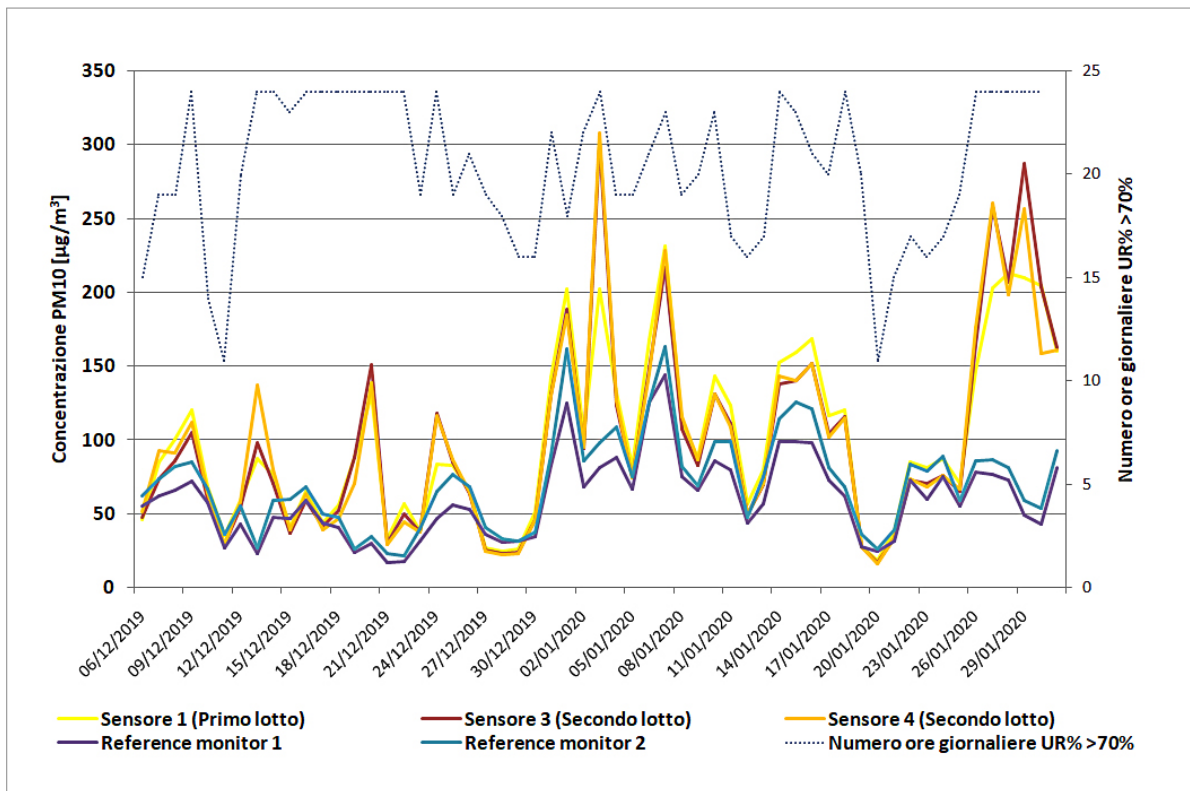


Figura 6: Andamento delle concentrazioni giornaliere di PM10 registrate dai sensori NOVA SDS011 e dagli analizzatori automatici ARPAV (MP101M e OPSIS), durante la seconda campagna di monitoraggio.

Dal grafico precedente si osserva innanzitutto una buona coerenza tra le misure effettuate dai tre sensori low-cost, che presentano tre curve abbastanza sovrapponibili. Nello specifico è stato interessante confrontare le tre serie di dati, tenendo conto che due dei sensori (Sensore 3 e Sensore 4) appartenevano allo stesso lotto e hanno iniziato la

campagna da nuovi, mentre il Sensore 1 aveva già alle spalle circa 2 mesi di misurazioni in continuo ed apparteneva ad un diverso lotto di vendita.

Per visualizzare meglio la correlazione tra le determinazioni dei sensori low-cost, in Figura 7 sono riportati gli *scatterplot* con i confronti tra misure corrispondenti rispettivamente del Sensore 1 vs Sensore 3, del Sensore 1 vs Sensore 4 e del Sensore 3 vs Sensore 4.

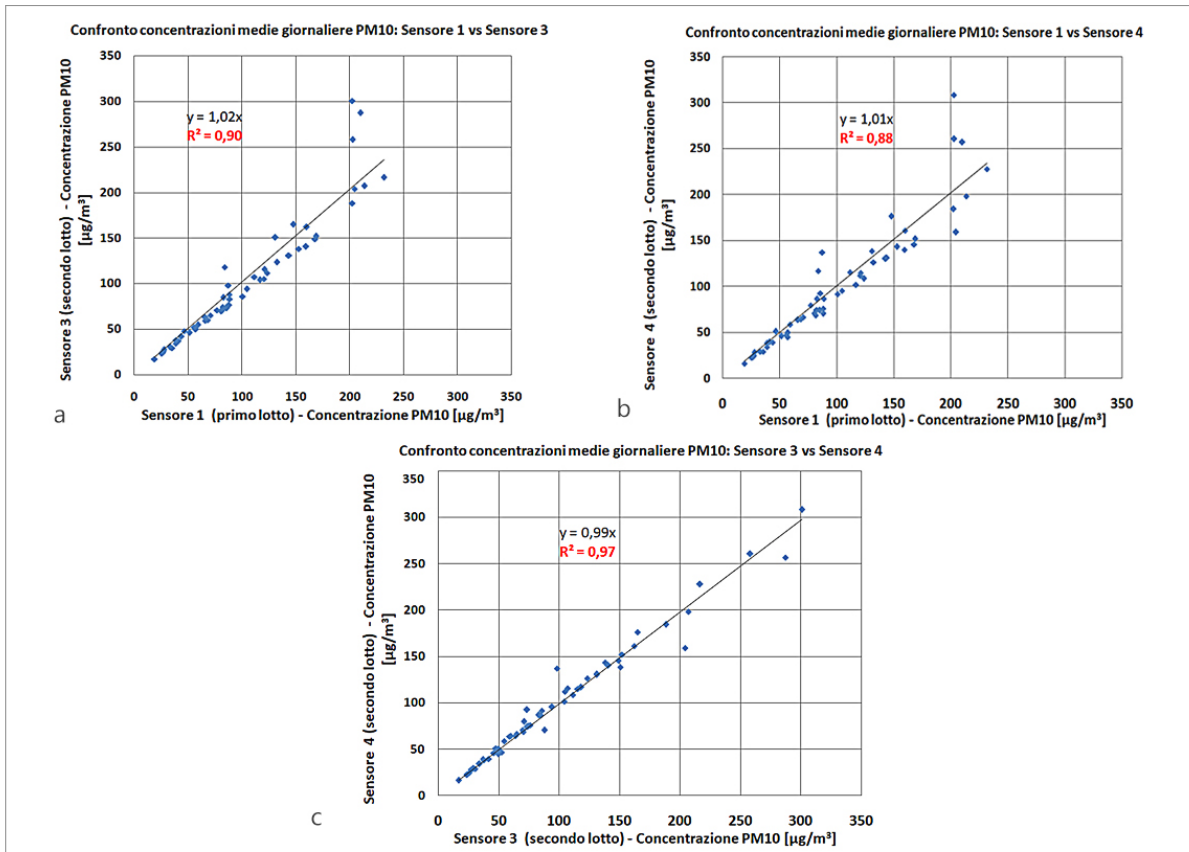


Figura 7: Seconda campagna di monitoraggio: confronto tra le concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate dai 3 sensori low-cost.

Dai grafici si osserva un ottimo accordo tra le misure del Sensore 3 e 4 (Figura 7-c), appartenenti allo stesso lotto, e interpolati da una retta con un coefficiente angolare molto vicino a 1 (0.99) e un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0.97. Le correlazioni tra il Sensore 1 e gli altri due (Figure 7-a e 7-b) sono comunque abbastanza soddisfacenti, anche se il relativo coefficiente di determinazione è più basso, in ragione soprattutto dei valori di PM10 più elevati, per cui le differenze tra le misure del Sensore 1 e Sensori 3 e 4, più nuovi, sono piuttosto evidenti.

Per quanto riguarda il confronto con gli strumenti di riferimento, dalla Figura 6 si osserva una generale tendenza alla sovrastima delle concentrazioni di PM10 da parte

dei sensori low-cost, rispetto agli analizzatori delle stazioni rilocabili. Tale tendenza risulta però piuttosto trascurabile in taluni periodi della campagna, mentre diventa assolutamente significativa in altri intervalli di misura. In particolare i giorni con maggiore differenza tra sensori e analizzatori di riferimento sono il 13 e il 20 dicembre, il 3 gennaio e il periodo compreso tra il 27 e il 31 gennaio. In queste giornate i sensori hanno fatto registrare concentrazioni dalle 3 alle 5 volte superiori rispetto agli analizzatori di riferimento, con picchi nell'ordine dei $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In questi casi le misure dei sensori hanno descritto una situazione di inquinamento da particolato PM10 significativamente differente rispetto a quella registrata dagli monitor di riferimento, non solo rispetto ai limiti normativi, ma anche nell'ottica di una più generale valutazione della qualità dell'aria.

Ricordando quanto osservato durante la prima campagna di misura in riferimento all'umidità relativa e tenendo a mente che la scheda tecnica dei sensori in uso raccomandava condizioni di lavoro con umidità relativa inferiore al 70%, si è voluto esprimere il dato di umidità relativa come numero di ore giornaliere con umidità relativa registrata superiore al 70%. Dal grafico in Figura 6 si può tuttavia notare che un'elevato numero di ore durante una giornata con valori di umidità relativa sopra il 70% sembra essere una condizione necessaria, ma non sempre sufficiente a generare un significativo calo della performance di misura di questi sensori.

Poiché, come già menzionato in precedenza, in letteratura sono segnalati per i sensori basati sul *light scattering* evidenti problemi di affidabilità in condizioni di foschia o nebbia [5][7], si è provveduto a valutare le condizioni di visibilità, grazie ai dati forniti dal Servizio Centro Meteorologico di Teolo, per il periodo della seconda campagna di misura.

In Figura 8 il grafico precedente è stato integrato con il numero di ore giornaliere con visibilità inferiore ai 1000 metri, situazione che denota condizioni meteorologiche di foschia o, nei casi peggiori, di nebbia. Si può facilmente osservare che in corrispondenza di tutte le giornate in cui si era registrato il maggior scostamento tra i sensori e gli analizzatori di riferimento, vi è stato un numero significativo di ore in cui si sono verificate condizioni di visibilità non ottimale, causata dalla presenza nell'aria ambiente di una importante quantità di goccioline di acqua sospese. L'effetto della nebbia sulle performance dei sensori è ancora più evidente analizzando i dati biorari dei sensori e dell'analizzatore di riferimento Environnement MP101M (in grado di fornire anche dati di PM10 con questa risoluzione temporale) e confrontandoli con i relativi valori di visibilità.

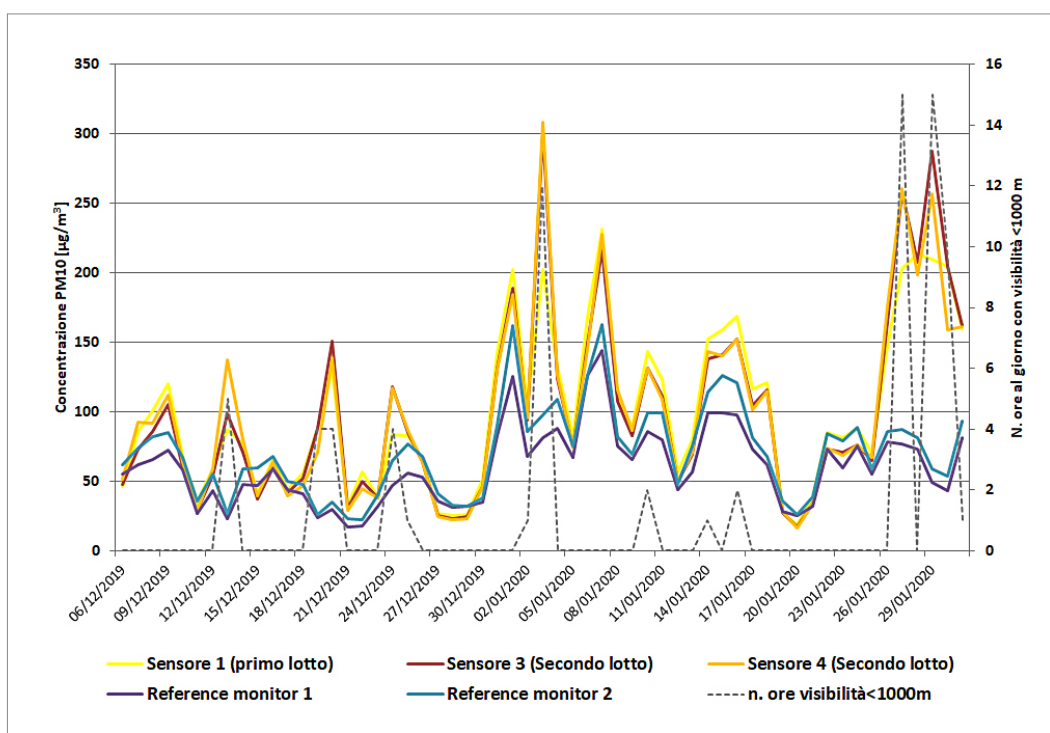


Figura 8: Seconda campagna di monitoraggio: relazione tra i fenomeni di foschia e nebbia e le concentrazioni di PM10 misurate dai sensori low-cost.

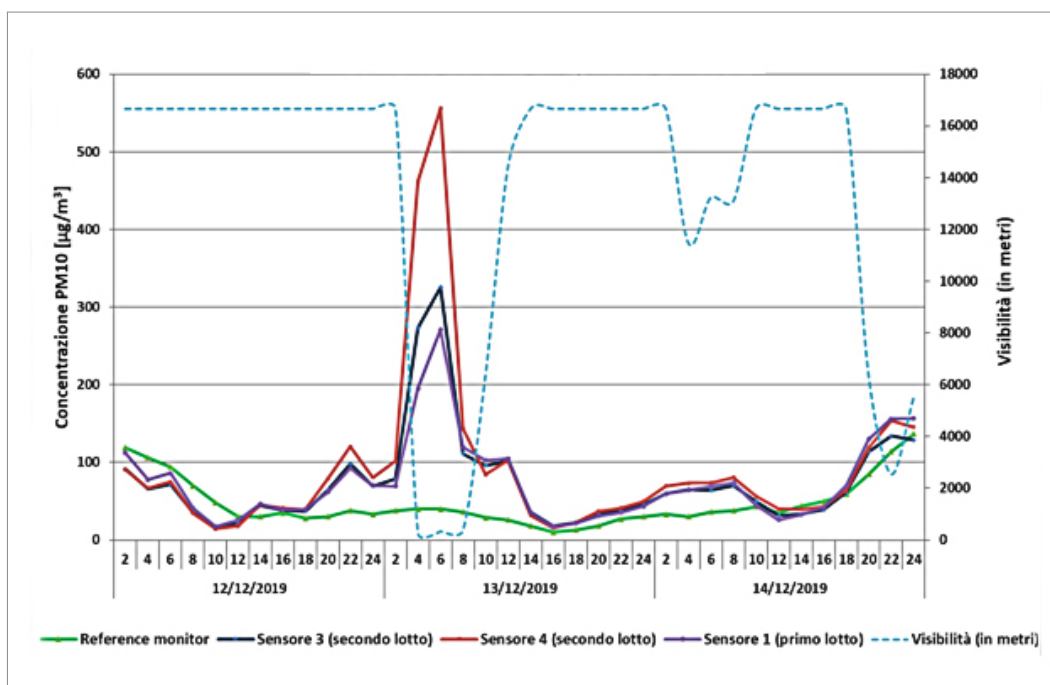


Figura 9: Effetto di un episodio di nebbia intensa di qualche ora sullo scostamento tra le misure dei sensori e degli strumenti di riferimento: rappresentazione dei valori orari di PM10 e della visibilità in metri.

Come rappresentato in Figura 9, nella giornata del 13 dicembre 2019 la visibilità si è notevolmente ridotta durante la notte e le prime ore del mattino, fino a valori inferiori ai 250 m. In corrispondenza del fenomeno, nelle medesime ore, si osservano valori di PM10 estremamente elevati misurati da tutti i tre sensori rispetto allo strumento di riferimento. In altre parole i monitor low-cost sembrano rilevare la presenza della nebbia come se si trattasse di particolato, causando un calo estremamente significativo delle performance della misura, sia in termini di dato istantaneo, sia nell'ottica del calcolo delle medie giornaliere del PM10.

E' inoltre fondamentale evidenziare che lo strumento di riferimento, l'Environnement MP101M, non risente in maniera significativa della nebbia, pur utilizzando un metodo di misura, l'attenuazione beta, che potrebbe essere potenzialmente inficiato da condizioni di umidità molto elevata. Il monitor tuttavia, così come gli analoghi strumenti installati nella rete di misura di ARPAV, sono equipaggiati con una sonda di prelievo riscaldata a circa 40°C che permette di eliminare dal flusso di aria entrante buona parte dell'umidità in sospensione, preservandone le prestazioni. A ulteriore conferma della bontà delle misure dell'analizzatore di riferimento, nello specifico episodio, sono stati controllati due ulteriori strumenti biorari di ARPAV installati a Mestre, uno in via Tagliamento e l'altro a Parco Bissuola, distanti rispettivamente 500 metri e 3,5 km dal sito di misura: entrambi hanno misurato, tra le ore 2 e le ore 8 di mattina del 13 dicembre 2020 concentrazioni di PM10 comprese tra i 30 e i 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, perfettamente in linea con il monitor Environnement installato nel sito di studio.

Dopo quanto visto finora, è importante evidenziare che ad oggi non sembrano esistere soluzioni semplici per risolvere il problema legato al bias di misura dei sensori low-cost in condizioni meteo di foschia o nebbia, tanto più che per il sensore NOVA SDS011 tali condizioni corrispondono sostanzialmente sempre a valori di umidità relativa al di fuori del range di lavoro indicato nella scheda tecnica dal produttore. Purtroppo non sembra che il rispetto del limite massimo del 70% di umidità consigliato dal produttore sia tenuto in debita considerazione dagli utilizzatori di questi dispositivi, né che le piattaforme dove i dati dei sensori vengono pubblicati tengano conto o avvisino gli utenti di questa potenziale criticità. In prima approssimazione infatti, sarebbe possibile utilizzare i dati di umidità relativa forniti dal sensore DHT22, installato in una grandissima parte di questa tipologia di monitor, per segnalare le misure di PM10 effettuate in condizioni di umidità non ottimali. A tale proposito è interessante evidenziare che sono riportati in letteratura degli studi per cercare di calibrare i sensori low-cost, al fine di fornire delle risposte accettabili anche in condizioni di lavoro non ottimali [4][8]. E'

tuttavia altrettanto importante essere coscienti che la quasi totalità dell'utenza non ha i mezzi strumentali per effettuare tali calibrazioni o semplicemente non è a conoscenza del problema e si limita a utilizzare il sensore nelle condizioni in cui viene venduto.

A valle di quanto detto, si può ipotizzare che probabilmente l'utilizzo dei dispositivi di misura low-cost per il particolato atmosferico basati sul *light scattering* potrebbe essere più performante in ambienti *indoor*, dove le condizioni di temperatura e umidità sono meno soggette a variazioni repentine e a condizioni estreme.

Un altro aspetto importante che è emerso dalla seconda campagna di misura riguarda l'età del sensore, che deve essere tenuta in debita considerazione per garantirne il corretto funzionamento. Si è infatti notato che un dispositivo con 2 mesi di misura in continuo alle spalle, può già fornire dei dati leggermente divergenti rispetto ad un sensore nuovo, nelle stesse condizioni di inquinamento da PM10. Al di là della differenza poco significativa riscontrata tra il sensore più vecchio e quelli più nuovi durante il presente studio, è necessario prestare attenzione all'età del *device* in uso, che, nel caso del NOVA SDS011, è garantito dal produttore per 8000 ore di funzionamento. Purtroppo nelle piattaforme di condivisione online dei dati si trovano sensori installati da anni che sembrano continuare a fornire dati. Anche in questo caso sarebbe importante evidenziare questo aspetto, promuovendo la sostituzione dei monitor troppo vecchi.

Un ultimo aspetto da prendere in considerazione, nell'ambito delle potenzialità dei sensori low-cost per la misura di particolato atmosferico, è l'elevata risoluzione temporale delle misure. Finora, nel presente studio, sono stati utilizzati i dati mediati a 24 o 2 ore per avere un termine di paragone con gli analizzatori di riferimento, ma i sensori erano settati per effettuare una misura ogni 2-3 minuti, con un periodo di mediazione, riferito al tempo in continuo di funzionamento del laser, di un minuto. L'analisi preliminare degli output dei sensori condotta sui dati elementari non ha fornito informazioni integrative rispetto a quanto visto finora, eccezion fatta per un episodio verificatosi il 16 settembre 2019, durante la prima campagna di misura, di cui si ha riscontro diretto e che ha fornito dei dati interessanti. Il sito di campionamento è ubicato a raso della linea ferroviaria Venezia-Trieste. Tra le ore 7:40 e le 8:00 circa del mattino due mezzi di servizio delle ferrovie, alimentati a diesel, hanno stazionato lungo un binario secondario a una ventina di metri dai campionatori. Il fatto è stato notato perché lo stazionamento di questi mezzi ha comportato il diffondersi per qualche minuto di un'emissione dai tubi di scappamento particolarmente fastidiosa per le persone nei dintorni. Terminata la sosta, i due veicoli hanno lasciato definitivamente il sito. Si è quindi immediatamente pensato di analizzare le misure elementari dei due sensori durante questo lasso di

tempo, incluso nella prima campagna di monitoraggio. I risultati di questa analisi sono riportati in Figura 10.

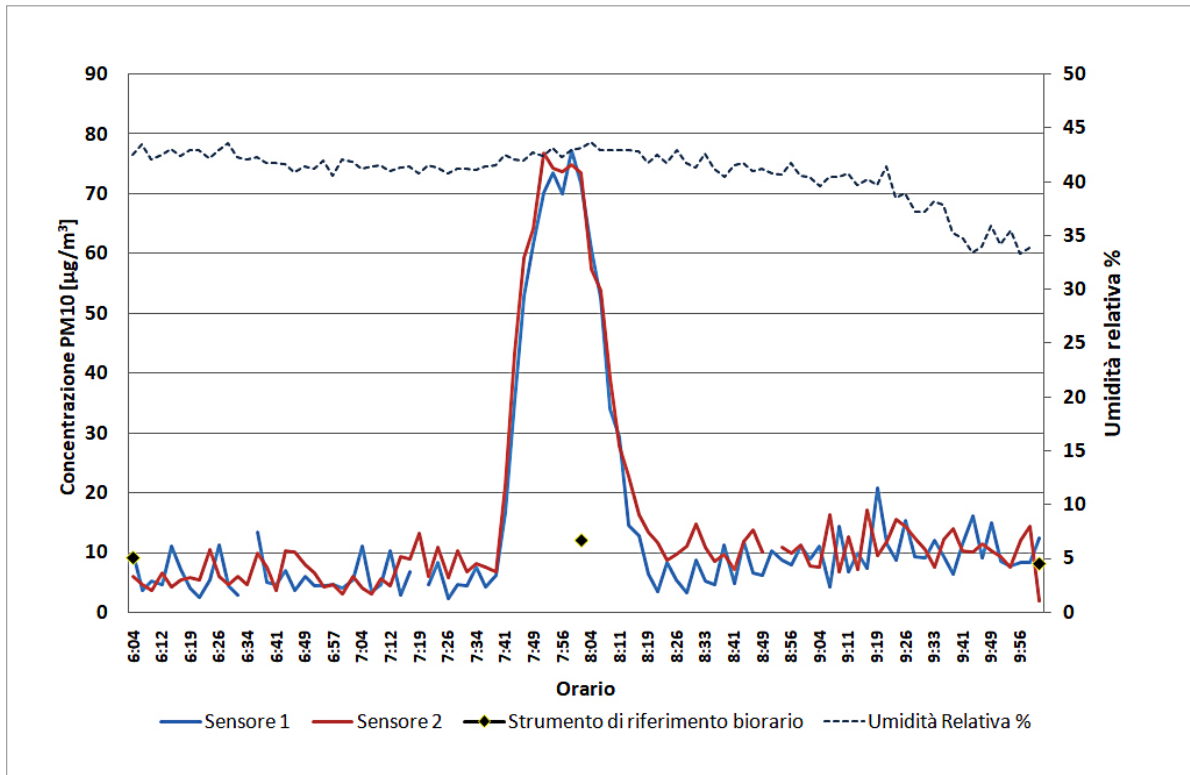


Figura 10: Risposta dei sensori in caso di evento emissivo di durata limitata nelle immediate vicinanze del sito di misura.

Si può osservare che i sensori hanno misurato durante l'evento concentrazioni di PM10 che si staccano nettamente dalla linea di base, attorno ai $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, raggiungendo concentrazioni di picco attorno ai $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tali livelli sono misurati esattamente in corrispondenza dello stazionamento dei mezzi, per ritornare poi in una decina di minuti dall'allontanamento dei veicoli al livello iniziale di concentrazione. La reazione dei sensori è stata piuttosto rapida, così come il ritorno alle concentrazioni iniziali, senza significativi fenomeni di *tailing*. Eventi come quello descritto sopra, che hanno portato per qualche minuto ad apprezzabili aumenti delle concentrazioni di PM10, se isolati, non portano a significative variazioni dei livelli medi orari di particolato, o, ancor più, di quelli giornalieri, per cui sono sostanzialmente ininfluenti per la valutazione della qualità dell'aria a fini normativi. Tuttavia va detto che in diverse occasioni può essere interessante avere un riscontro con risoluzioni temporali molto elevate di fenomeni che possono portare ad una variazione rapida delle concentrazioni di particolato atmosferico. In questi casi, fermo restando il rispetto delle condizioni di ottimale funzionamento dei sensori (in questo caso l'umidità relativa, come si vede dal grafico, era abbondantemente

al di sotto dei limiti imposti dal fabbricante), questi monitor possono fornire dei dati altrimenti non rilevabili. Infatti in questa occasione lo strumento di riferimento con migliore risoluzione temporale riesce a effettuare misure ogni due ore. Tuttavia, a causa della durata molto limitata del fenomeno, l'analizzatore non riesce in alcun modo a darne evidenza, poiché la misura fornita alle ore 8:00 è il risultato della mediazione delle letture dalle ore 6:00 alle ore 8:00, un periodo troppo lungo per fare emergere questo episodio.

Conclusioni

Lo studio realizzato tra settembre 2019 e gennaio 2020, che ha visto impiegati quattro sensori NOVA SDS011, appartenenti a due lotti diversi di produzione, ha permesso un primo confronto di questo tipo di monitor low-cost, basato sul principio del *light scattering* per la misura di particolato atmosferico, con due analizzatori automatici di PM10, conformi ai requisiti del D.Lgs.155/2010 e utilizzati da ARPAV per il monitoraggio istituzionale della qualità dell'aria da ARPAV. Durante le due campagne di misura, una condotta tra settembre e ottobre 2019 e una tra dicembre 2019 e gennaio 2020, i sensori low-cost hanno mostrato una buona precisione, cioè un buon accordo tra le misure dei diversi esemplari dello stesso modello, rilevando concentrazioni tra loro molto simili di particolato atmosferico: questo rende conto del fatto che questi sensori economici, anche se appartenenti a lotti diversi, mostrano una buona riproducibilità delle misure. Per quanto concerne invece l'accuratezza, cioè lo scostamento delle misure dei sensori low-cost rispetto agli analizzatori automatici di riferimento, i risultati sono stati più incerti. Infatti, soprattutto con livelli medio-bassi di particolato e condizioni meteorologiche di bassa umidità relativa, le misure si sono mostrate tutto sommato confrontabili con gli analizzatori di riferimento. D'altro canto in condizioni di elevata umidità relativa, specialmente con valori superiori all'80-90%, e in particolare in concomitanza con la presenza di foschia e nebbia, l'accuratezza dei sensori ha mostrato evidenti cali di performance. In questi casi le misure dei sensori hanno mostrato deviazioni per eccesso estremamente significative rispetto ai monitor di riferimento, rilevando concentrazioni di PM10 dalle 3 alle 5 volte superiori rispetto agli analizzatori automatici, rendendo poco attendibile qualsiasi tipo di valutazione in queste condizioni. Tale problema, evidenziato anche da altri dati di letteratura, è legato al fatto che gli elevati livelli di umidità relativa e la presenza di gocce di acqua in sospensione nell'aria interferiscono con la misura di *light scattering*. Questo problema è di grande impatto

per l'utilizzo dei sensori low-cost per il particolato in aria ambiente, poiché durante i mesi più freddi, in cui si raggiungono i livelli più critici di PM10, si verificano molto spesso, in Italia e in Europa, condizioni meteorologiche di elevata umidità relativa. Si deve sottolineare che la ditta produttrice del sensore ha evidenziato chiaramente nella scheda tecnica che in condizioni di lavoro il sensore non deve essere sottoposto a livelli di umidità relativa superiori al 70%, ma questa importante precisazione sembra essere diffusamente ignorata, poiché la maggior parte di questi monitor low-cost vengono impiegati outdoor. Probabilmente questo tipo di sensoristica, per quanto detto sopra, potrebbe essere maggiormente indicata per monitoraggi indoor, dove generalmente le condizioni di umidità relativa sono più controllate. Fermo restando quanto detto sopra, è importante evidenziare che, in condizioni di umidità relativa adeguate, questi sensori, grazie alla capacità di effettuare misure con frequenza molto alta, nell'ordine del minuto, si sono rivelati utili per misurare fenomeni di fluttuazione del particolato PM10 nel breve periodo. Tale aspetto risulta essere particolarmente interessante per il monitoraggio di sorgenti mobili o fisse con elevate fluttuazioni temporali delle concentrazioni di polveri, che presentano picchi di concentrazione molto brevi e che non possono essere rivelate dagli analizzatori standard, che hanno frequenza di misura nell'ordine dell'ora o dell'intera giornata. Infine è importante evidenziare che il costruttore garantisce il sensore NOVA SDS011, in maniera molto simile ad altri produttori, per circa 8000 ore di funzionamento. Le misure condotte durante lo studio hanno messo in luce una marginale perdita di prestazioni dei sensori già dopo qualche mese di misure. Per questo motivo, data la relativa economicità di tali dispositivi e l'impossibilità di effettuare operazioni di manutenzione e di taratura su questo tipo di sensori, è importante pianificare una periodica sostituzione per mantenere gli standard di misura.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dr. Paolo Canella e la Dr.ssa Maria Sansone, del Servizio Centro Meteorologico di Teolo di ARPAV, per la preziosa collaborazione nel fornire i dati meteorologici di umidità e di visibilità, che hanno contribuito ad una migliore interpretazione delle informazioni oggetto di studio.

Bibliografia

- [1] Nova Fitness Co., Ltd. <http://inovafitness.com/en/a/chanpinzhongxin/95.html>, 2015.
- [2] R. Jayaratne, X. Liu, P. Thai, M. Dunbabin, and L. Morawska, “The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog,” *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 11, no. 8, pp. 4883–4890, 2018.
- [3] M. Budde, T. Müller, N. Laquai, T. Streibl, A. Schwarz, G. Schindler, T. Riedel, M. Beigl, and A. Dittler, “Suitability of the low-cost sds011 particle sensor for urban pm monitoring,” *Scientific Research Abstracts*, vol. 8, p. 11, 2018.
- [4] B. Laquai and A. Saur, “Development of a calibration methodology for the sds011 low-cost pm-sensor with respect to professional reference instrumentation.” https://www.researchgate.net/publication/322628807_Development_of_a_Calibration_Methodology_for_the_SDS011_Low-Cost_PM-Sensor_with_respect_to_Professional_Reference_Instrumentation, 2017.
- [5] A. Manikonda, N. Zíková, P. Hopke, and A. Ferro, “Laboratory assessment of low-cost pm monitors,” *Journal of Aerosol Science*, vol. 102, 2016.
- [6] K. Kelly, J. Whitaker, A. Petty, C. Widmer, A. Dybwad, D. Sleeth, R. Martin, and A. Butterfield, “Ambient and laboratory evaluation of a low-cost particulate matter sensor,” *Environmental Pollution*, vol. 221, pp. 491 – 500, 2017.
- [7] Y. Wang, J. Li, H. Jing, Q. Zhang, J. Jiang, and P. Biswas, “Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement,” *Aerosol Science and Technology*, vol. 49, no. 11, pp. 1063–1077, 2015.
- [8] D. Holstius, A. Pillarisetti, K. Smith, and E. Seto, “Field calibrations of a low-cost aerosol sensor at a regulatory monitoring site in california,” *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 7, 2014.

Osservatorio Regionale Aria

Via Lissa 6

30171 Mestre – Venezia

Italy

Tel. +39 041 5445542

Fax +39 041 5445671

E-mail: orar@arpa.veneto.it

Novembre 2020



ARPAV

Agenzia Regionale
per la Prevenzione e
Protezione Ambientale
del Veneto

Direzione Generale

Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova

Italy

tel. +39 049 82 39 301

fax. +39 049 66 09 66

e-mail: urp@arpa.veneto.it

e-mail certificata: protocollo@arpa.veneto.it