



Progetto PULVIRUS

OBIETTIVO 3 - CARATTERIZZAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CHIMICA E DELLA DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE DEL PARTICOLATO

- ATTIVITÀ, TRATTAMENTO DATI E ANALISI ESEGUITE -



GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 3:

Abbate M., Liburdi P. (Arpa Lazio)

Algieri A., Colombi C., Cuccia E., Dal Santo U., Di Leo A., Lanzani G. (Arpa Lombardia)

Benassi A., Formenton G. (Arpa Veneto)

Bacco D., Scotto F., Trentini A., Ferrari S., Maccone C. (Arpae Emilia-Romagna)

Cremona G., La Torretta T., Malaguti A., Petralia E., Stracquadanio M. (ENEA)

Amoroso A., Cadoni F., Centioli D., Di Menno A., Marcheggiani G. (Ispra)

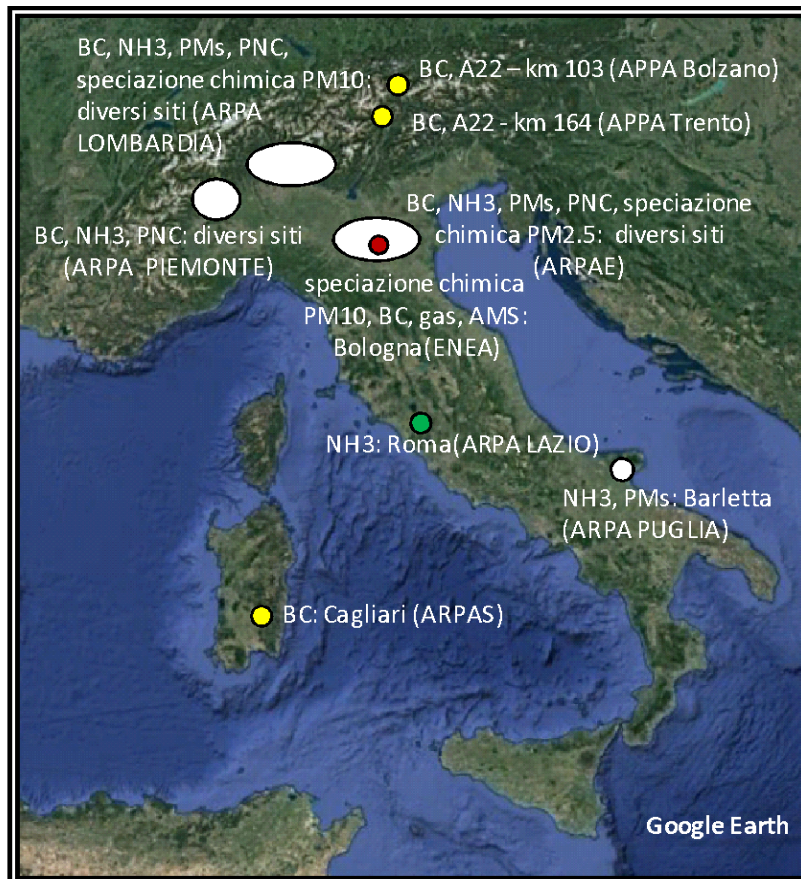
Inglessis M., Settimo G. (ISS)

Gualtieri M. (Università di Milano Bicocca)



Sommario

Attività 3.1: Raccolta dati	5
3.1.1 Composizione chimica del particolato	5
3.1.2 Misura oraria del black carbon	8
3.1.3 Misure orarie di ammoniaca	9
3.1.4 Distribuzione dimensionale del particolato	11
Attività 3.2: Campioni di particolato per analisi biologiche	12
Attività 3.3: Analisi dati	13
3.3.1 Analisi descrittive	13
3.3.2 Ripartizione delle sorgenti	14
3.3.3 Analisi dei trend temporali con metodi machine learning	14
3.3.3.1 Metodologia	14
3.3.3.2 Variabili esplicative	16
Attività 3.4: Campagne di approfondimento	18
3.4.1 Campagna inverno 2020	18
3.4.2 Campagna indoor primavera 2021	20
3.4.3 Sito di approfondimento ENEA-CR (BO)	22



Mapa dei siti per i diversi inquinanti

(PMs: particolato stimato da OPC; PNC: particolato numerico; AMS: Aerosol Mass Spectrometer)

Attività 3.1: Raccolta dati

3.1.1 Composizione chimica del particolato

Sono state raccolte le serie storiche di composizione chimica del particolato messe a disposizione dal 2013 da Arpa Lombardia e da Arpa Emilia-Romagna e, dal 2018, dal [Progetto Life-Prepair](#).

Caratterizzazione chimica PM10

Tabella 1: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile per il PM10.

Sito	Tipologia di sito	Analiti disponibili	Tecnica analitica	Serie storica	N° dati
Bologna via Gobetti	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)	01/04/2018 30/06/2020	> 20000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC		
		Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF		
		Levoglucoosano	IC		
Milano Pascal	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)	01/01/2013 31/12/2020	> 20000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC		
		Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF		
		Levoglucoosano	IC		
Milano Senato	Traffico Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)	01/01/2013 31/12/2020	> 20000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC		

		Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF		
		Levoglicosano	IC		
Torino Lingotto	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)	01/04/2018 30/06/2020	> 20000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC		
		Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF		
		Levoglicosano	IC		
Mantova Schivenoglia	Fondo Rurale	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)	01/04/2018 30/06/2020	> 20000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC		
		Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF		
		Levoglicosano	IC		

Caratterizzazione chimica PM2.5

Tabella 2: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile per il PM2.5.

Sito	Tipologia di sito	Analiti disponibili	Tecnica analitica	Serie storica	N° dati
Bologna via Gobetti	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo EUSAAR2)	01/04/2013 31/03/2021	ca. 70000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC	01/04/2013 31/03/2021	

		Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd, Pb, Sn, Sb, Ba, La	ICP-MS	01/04/2013 31/03/2021	
		Levoglucozano	ESI-MS	15/10/2015 31/03/2021	
Parma Cittadella	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo EUSAAR2)	01/04/2013 31/03/2021	> 25000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC	01/04/2013 31/03/2021	
		Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd, Pb, Sn, Sb, Ba, La	ICP-MS	01/04/2013 31/03/2021	
		Levoglucozano	ESI-MS	15/10/2015 31/03/2021	
Rimini Marecchia	Fondo Urbano	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo EUSAAR2)	01/04/2013 31/03/2021	> 25000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC	01/04/2013 31/03/2021	
		Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd, Pb, Sn, Sb, Ba, La	ICP-MS	01/04/2013 31/03/2021	
		Levoglucozano	ESI-MS	15/10/2015 31/03/2021	
Bologna S. Pietro Capofiume	Fondo Rurale	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo EUSAAR2)	01/04/2013 31/03/2021	> 25000
		Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC	01/04/2013 31/03/2021	
		Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd, Pb, Sn, Sb, Ba, La	ICP-MS	01/04/2013 31/03/2021	
		Levoglucozano	ESI-MS	15/10/2015 31/03/2021	



3.1.2 Misura oraria del black carbon

Le informazioni relative alle misure di black carbon sono state messe a disposizione da Arpa Bolzano, Arpa Trento (misure eseguite nell'ambito del [progetto BrennerLec](#)), Arpa Lombardia, Arpa Piemonte, Arpa Sardegna e Arpae Emilia-Romagna.

Tabella 3: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile.

Sito di misura	Tipologia del sito	Strumento	Parametri utilizzati/forniti	Periodo temporale disponibile	Ente
Isera (TN) progetto BrennerLec	Traffico autostradale	Aethalometer MAGEE AE33	880 λ + 7 λ , BCff e BCbb)	15/03/2017 31/12/2020	Appa Trento
Egna (BZ) progetto BrennerLec	Traffico autostradale	Aethalometer MAGEE AE33	Somma BCff e BCbb	25/11/2017-20/03/2018 17/05/2018-09/07/2020 30/08/2020-31/12/2020	Appa Bolzano
Domodossola (VB)	Fondo suburbano	Aethalometer MAGEE AE33	880 λ + BCff e BCbb	27/07/2018 31/12/2020	Arpa Piemonte
Torino Lingotto	Fondo urbano	Aethalometer MAGEE AE33	880 λ + BCff e BCbb	04/07/2018 31/12/2020	Arpa Piemonte
Cagliari	Traffico urbano	Aethalometer MAGEE AE22	880 λ	01/01/2014 31/12/2020	Arpa Sardegna
Milano Pascal	Fondo urbano	MAAP	670 λ	2013-2020	Arpa Lombardia
Milano Pascal	Fondo urbano	Aethalometer MAGEE AE22	BCff e BCbb	07/08/2018 11/04/2019	Arpa Lombardia
Milano Senato	Traffico urbano	Aethalometer	880 + 370 λ	15/04/2013 22/05/2019	Arpa Lombardia
Milano Senato	Traffico urbano	Aethalometer MAGEE AE22	880 λ + BCff e BCbb	13/06/2019 31/12/2020	Arpa Lombardia
Milano Marche	Traffico urbano	Aethalometer	880 + 370 λ	28/05/2013 31/12/2015	Arpa Lombardia
Milano Marche	Traffico urbano	Aethalometer MAGEE AE22	880 λ + BCff e BCbb	24/05/2019 31/12/2020	Arpa Lombardia
Bologna	Fondo urbano	MetONE	880 λ + BCff e BCbb	16/05/2018 30/06/2020	Arpae E.R.

3.1.3 Misure orarie di ammoniaca

Le informazioni relative alle concentrazioni dell'ammoniaca gassosa in ambiente sono state messe a disposizione da Arpa Lombardia, Arpa Lazio, Arpa Piemonte, Arpa Puglia e Arpa Emilia-Romagna.

Tabella 4: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile.

Sito di misura	Tipologia del sito	Strumento	Periodo temporale disponibile	Ente
San Pietro Capofiume (BO)	Fondo rurale	API T201	06/07/2017 31/12/2020	Arpa E.R.
Magna Grecia (RO)	Urbano traffico	API 201	01/01/2017 31/12/2020	Arpa Lazio
Fermi (RO)	Urbano traffico	API 201	01/01/2017 31/12/2020	Arpa Lazio
Torino Lingotto	Fondo urbano	API 201	01/01/2017 31/12/2020	Arpa Piemonte
Torino Staffarda	Fondo rurale	API 201	01/01/2017 27/03/2018	Arpa Piemonte
Bra (CN)	Fondo suburbano	API 201	28/03/2018 31/12/2020	Arpa Piemonte
Barletta	Fondo urbano	API 201	01/01/2015 31/12/2020	Arpa Puglia

Tabella 5: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile per i dati forniti da Arpa Lombardia.

Sito di misura (Arpa Lombardia)	Tipologia del sito	Strumento	Periodo temporale disponibile
Bertonico (LO)	Fondo rurale	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020
Corte de Cortesi (CR)	Fondo rurale	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020
Colico (LC)	Fondo suburbano	TEI 17i	01/01/2017 – 31/12/2020
Fatebenefratelli (CR)	Fondo urbano	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020
Gerre Borghi (CR)	Fondo rurale	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020
Milano Pascal	Fondo urbano	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020
Monza Parco (MB)	Fondo suburbano	TEI 17i	01/01/2017 - 24/04/2018 19/03/2019 - 09/07/2019
Folperti (PV)	Fondo urbano	TEI 17i	01/01/2017 – 03/12/2020
Sannazzaro (AGIP) (PV)	Fondo suburbano	ENVIRONNEMENT	17/01/2017 – 17/03 /2018 28/09/2018 - 1/12/2020
Schivenoglia (MN)	Fondo rurale	TEI 17i	01/01/2017 – 31/12/2020
Moggio (LC)	Fondo rurale in quota (1200 m.)	API 201	01/01/2017 – 31/12/2020

3.1.4 Distribuzione dimensionale del particolato

Le informazioni relative alla distribuzione dimensionale del particolato eseguita tramite metodi ottici, sono state messe a disposizione da Arpa Lombardia, Arpa Piemonte, Arpa Puglia, Arpat Toscana e Arpa Emilia-Romagna.

Tabella 6: siti di misura, tipologia di misura eseguita e periodo disponibile per i dati orari di distribuzione dimensionale.

Sito di misura	Tipologia del sito	Strumento OPC	Parametri utilizzati	Periodo temporale	Ente
San Pietro Capofiume (BO)	Fondo rurale	FAI	PNC, PMx stimato	01/01/2016 - 1/12/2020	Arpa E.R.
Bologna	Fondo urbano	FAI	PNC, PMx stimato	01/01/2016 - 31/12/2020	Arpa E.R.
Barletta	Fondo urbano	GRIMM	PMx stimato	01/01/2015 - 1/12/2020	Arpa Puglia
Milano Pascal	Fondo urbano	FAI	PNC, PMx stimato	26/10/2017 - 30/09/2018 20/03/2019 - 31/12/2019 07/04/2020 - 31/12/2020	Arpa Lombardia
Milano Verziere	Traffico urbano	ENVEA	PMx stimato	08/01/2019 - 22/03/2019 11/09/2019 - 05/11/2020	Arpa Lombardia
Livorno	diverse campagne nelle zone costiere e zona del Valdarno pisano e piana lucchese	GRIMM	PNC	diverse campagne nel periodo 10/05/2019 - 2008/2020	Arpat Toscana
Torino Lingotto	Fondo urbano	UPM 3031	20-1000 um	01/01/2017 - 6/10/2020	Arpa Piemonte



Attività 3.2: Campioni di particolato per analisi biologiche

Campioni di particolato PM10 riguardante i siti di fondo suburbano Meda (MB) e Casirate d'Adda (BG) per il periodo compreso tra ottobre 2020 e aprile 2021 sono stati messi a disposizione da Arpa Lombardia e forniti agli esperti dell'obiettivo 5 di Pulvirus per eventuali analisi tossicologiche. A corredo di tali campioni, Arpa Lombardia ha fornito anche tutte le informazioni relative al campionamento e alla caratterizzazione chimica disponibile (misure di IPA e metalli), necessarie alla contestualizzazione degli eventuali risultati ottenibili.

Quest'ultima era condizione necessaria alla possibile analisi da parte dell'obiettivo 5, ragione per cui non è stato possibile sottoporre ad analisi tossicologiche altri campioni messi a disposizione da altre Agenzie ma, purtroppo, privi di informazioni aggiuntive sufficienti che non sarebbe stato possibile ricavare retroattivamente.

Tabella 7: siti di misura, periodo disponibile e numero di filtri per i campioni messi a forniti da Arpa Lombardia.

Sito di campionamento	Periodo di campionamento	N° di filtri
Casirate d'Adda (BG)	01/10/2020 - 30/04/2021	104
Meda (MB)	29/01/2021 - 09/03/2021	11



Attività 3.3: Analisi dati

3.3.1 Analisi descrittive

Sui dati di composizione chimica del particolato sono state fatte analisi di confronto con la serie storica in modo simile a quanto fatto all'interno del progetto [Life-prepair](#) al fine di facilitare la confrontabilità dei risultati. Si è eseguita un'analisi di significatività delle differenze eventualmente presenti tramite test di Wilcoxon-Mann, assumendo significativi risultati con un *p-value* inferiore a 0.05.

Per rappresentazioni grafiche dei valori medi settimanali minimi, massimi e medi rispetto al periodo di confronto successivo alla diffusione del SarsCov2 sono state considerate le serie storiche massime disponibili.

Per le analisi di significatività invece si è deciso di prendere una serie storica più breve ma che fosse comunque rappresentativa di una buona variabilità interannuale in seguito a diverse condizioni meteorologiche. Arbitrariamente si è deciso di partire da quando fosse disponibile anche la concentrazione del levoglucosano nel PM2.5 (ottobre 2015). Sono quindi state considerate le sole giornate in cui fossero disponibili tutti gli analiti (seppure minori dei limiti di quantificazione).

I dati inferiori ai limiti di quantificazione sono stati sostituiti con metà del limite.

Un approccio analogo è stato seguito per l'analisi delle misure di black carbon, ammoniaca e particolato stimato, ma su un dataset orario e con una analisi eseguita non in compresenza (causa i diversi dataset a volte ridotti come numerosità temporale). I dati inferiori al limite sono stati sostituiti con metà del limite per black carbon e ammoniaca.

La maggior parte dei siti, per le misure del BC, non ha una serie storica ma solo uno o al massimo due anni di confronto rispetto al 2020. La stazione di Appa Trento ha circa 3 anni mentre i siti di Milano Pascal e Cagliari ne hanno più di 4 (Tabella 3). Quando non era presente l'informazione nell'anno 2020 o quando non erano presenti un numero di dati sufficienti per il confronto non si è inserito il parametro nell'analisi. Quasi tutti i siti, per i quali è stato possibile analizzare il contributo legato al traffico (BCff) e quello legato alla combustione di biomassa (BCbb), avevano l'informazione legata alla divisione nell'output dello strumento. Per lo strumento di Bologna le due componenti sono state calcolate a posteriori (usando "Aethalometer method" - Sandradewi et al., ES&T, 2008) partendo dal dataset al minuto, poi mediato, e utilizzando come riferimento la lunghezza d'onda 880 λ e come esponenti quelli presenti in letteratura.

Per quanto riguarda l'analisi dell'ammoniaca non sono stati inseriti nell'analisi i siti di Monza Parco e Staffarda, causa dati insufficienti nel periodo 2020. Il sito di Milano Pascal ha una serie limitata per il 2018 e il 2019.

Si è deciso infine, per la distribuzione dimensionale, di utilizzare il dato di PM stimato derivante dal numero di particelle, invece che il numero di particelle stesse, in quanto si è scelto di utilizzare il maggior numero di stazioni disponibili (per alcuni punti era disponibile il solo dato di PM o il solo dato di PNC; Tabella 6). Considerando infine alcune



problematiche legate alla stima di PM1 si è deciso di utilizzare il PM10 e il PM2.5 stimato. Per la stazione di Torino si sono invece utilizzati i dati di particelle in diversi range dimensionali in quanto lo strumento fornisce informazioni anche inferiori ai 100 nm e non era presente nel medesimo sito il dato derivante da un contatore ottico.

3.3.2 Ripartizione delle sorgenti

Sempre sui dati di composizione chimica del PM è stata eseguita una analisi di ripartizione delle sorgenti tramite *Positive Matrix Factorization* ([EPA PMF 5.0](#)), prendendo come metodologia di riferimento quanto fatto in [Scotto et al. 2021](#).

Volendo avere a disposizione tutti gli analiti disponibili ed essendo già stata analizzata e pubblicata nell'articolo citato una analisi relativa agli anni 2013-2017, si è deciso di utilizzare la serie storica da ottobre 2015 a marzo 2021, cioè da quando fossero disponibili anche i dati di levoglucosano.

Sono state considerate solo giornate in cui fossero disponibili le analisi di tutti gli analiti per un singolo sito e sono stati eliminati outlier e misure non validabili.

I dati inferiori al limite sono stati sostituiti con i dati restituiti dall'analisi di laboratorio, anche se non rappresentativi di una misura fisica della specie, per ottenere una variabilità non arbitraria.

Le incertezze sono state costruite come nell'analisi di riferimento pubblicata in [Scotto et al. 2021](#).

Su tutte le analisi non è stata considerata essenziale la compresenza delle specie misurate tra i siti ma solo intrasito, in quanto l'obiettivo non era di confrontare i diversi i siti tra loro ma i dati del 2020 con quelli precedenti all'introduzione delle azioni mirate a limitare la diffusione di Covid19.

3.3.3 Analisi dei trend temporali con metodi machine learning

Sulle serie storiche della composizione chimica del PM10 dei siti di Milano e del PM2.5 dei siti dell'Emilia-Romagna sono state applicate anche tecniche di machine learning al fine di valutare l'impatto della componente meteorologica sulla variabilità delle serie storiche, in modo simile a quanto fatto all'interno dell'obiettivo 1 di Pulvirus.

3.3.3.1 Metodologia

Il modello di *machine learning* (ML) utilizzato per effettuare la previsione dell'inquinamento *business as usual* (BAU) con le condizioni meteorologiche verificatesi durante il 2020 è la tecnica *Random Forest* (Breiman, 2001), già descritta dettagliatamente nel report dell'attività 4.2 dell'obiettivo 1. Per lo sviluppo è stata utilizzata la libreria *Ranger* ([Wright MN, Ziegler A \[2017\]](#)) di *R* (R Core Team [2021]).



Il modello è stato addestrato sul periodo 2013-2019 (o dal primo anno disponibile, per le stazioni che presentavano i primi dati in anni successivi al 2013). I dati del primo periodo del 2020, antecedente le prime misure messe in atto per contrastare il diffondersi della pandemia, sono stati utilizzati per validare la previsione del modello utilizzato per stimare il 2020.

Inoltre, per i dati di speciazione chimica, i dati dal 2013 al 2019 sono stati utilizzati per definire degli intervalli di variabilità della previsione. Per le stime giornaliere, gli intervalli di variabilità descritti nel report sono stati calcolati tenendo conto della stagionalità.

Dal momento che i residui tra dati previsti e osservati presentano una stagionalità molto marcata, con valori assoluti più elevati in presenza di concentrazioni più elevate (ad es. durante la stagione invernale) e valori più ridotti in presenza di concentrazioni più basse (ad es. durante la stagione estiva), sono stati calcolati 3 diversi intervalli per caratterizzare l'incertezza dei mesi più caldi (da maggio ad agosto), dei mesi più freddi (da novembre a febbraio) e per mesi di transizione (settembre, ottobre, marzo e aprile). Questa suddivisione in 3 periodi è stata effettuata osservando i *boxplot* mensili dei residui e cercando un compromesso tra il seguire la specificità di ogni mese e l'evitare un *overfitting*.

Sulle medie mensili invece gli intervalli di variabilità sono stati definiti diversamente: non essendo disponibile un numero di anni sufficiente per calcolare i percentili sulle medie mensili, si sono semplicemente considerato, per ogni mese, il valore più basso e più alto osservato negli anni come media mensile e questi hanno definito gli estremi dell'intervallo di variabilità.

Gli intervalli di variabilità così definiti sono stati utilizzati per definire l'incertezza della previsione nel corso dell'anno 2020. Il periodo dal 1 gennaio al 29 febbraio 2020 è stato utilizzato come periodo di validazione per verificare la bontà della previsione, mentre il periodo successivo è stato valutato per studiare gli effetti del *lockdown* e delle misure restrittive successive al *lockdown* che si sono messe in atto per tutto il 2020.

Per ogni anno, il dato previsto è stato calcolato escludendo l'anno stimato dal dataset di addestramento.

OC BO Anni 2013–2020

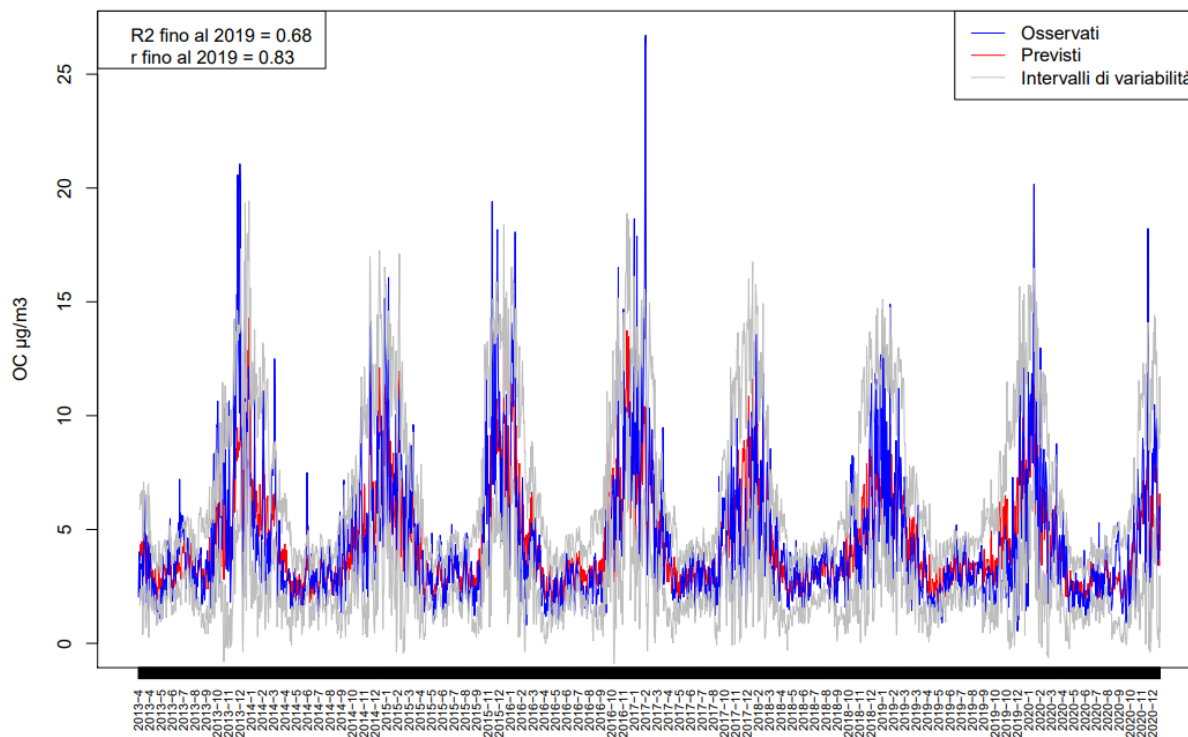


Figura 1: confronto, riportato a titolo esemplificativo, tra i dati giornalieri osservati e previsti di OC nel sito di Bologna e intervalli di variabilità della stima.

3.3.3.2 Variabili esplicative

Come variabili esplicative si sono utilizzate le seguenti variabili meteorologiche:

- temperatura media (solo per il sito di Bologna si è utilizzata la temperatura minima che portava ad un miglioramento nella previsione);
- media della temperatura (media) dei 3 giorni precedenti;
- differenza della temperatura media rispetto a quella osservata nel giorno precedente;
- precipitazione;
- precipitazione del giorno precedente;
- umidità relativa;
- radiazione solare;
- *Planet Boundary Layer* (PBL) minimo e massimo;
- direzione e velocità del vento;
- indice di ventilazione (definito come prodotto della velocità del vento moltiplicata per il PBL delle ore 12.00)



I dati meteorologici utilizzati nell'analisi fanno parte del dataset [ERA5](#) generato dal servizio Copernicus sui cambiamenti climatici e sono descritti in dettaglio nel report dell'attività 4.2 dell'obiettivo 1.

Per il solo sito di San Pietro Capofiume era disponibile anche un dato di nebbia, fornito dal [CNR ISAC](#) di Bologna ed espresso come numero di minuti in un giorno con condizioni di nebbia (in cui il *liquid water content* supera la baseline), che è stato utilizzato anche per il sito di Bologna.

Oltre alle variabili meteorologiche, sono stati utilizzati: un termine di tendenza sotto forma di data Unix (numero di secondi dal 1 gennaio 1970); due termini stagionali sotto forma di giorno giuliano (giorno dell'anno); una variabile categorica che classificava i giorni in feriali, sabato e festivi.



Attività 3.4: Campagne di approfondimento

All'interno dell'obiettivo 3 sono state svolte due campagne di approfondimento in supporto alle attività dell'obiettivo 5 di PulVirus.

3.4.1 Campagna inverno 2020

Nell'ambito della attività 3.4 del progetto PulVirus, in supporto all'obiettivo 5 del progetto, è stata predisposta una campagna di campionamento di aerosol atmosferico in un sito di fondo urbano di Bologna (Lat. 44.5190; Long. 11.3361 - WGS84, 30 m a.s.l.) con l'obiettivo di raccogliere campioni adatti ad approfondimenti tossicologici dei campioni ambientali di particolato e della caratterizzazione del viroma presente sull'aerosol. Inoltre sono stati raccolti campioni per fornire una caratterizzazione il più completa possibile della composizione chimica del PM raccolto che risultano essere informazioni necessarie a supporto delle analisi dell'obiettivo 5.

La campagna ha avuto la durata di 30 giorni (dal 14/11/2020 al 13/12/2020 compresi) e sono stati raccolti 120 campioni di PM10 e 150 campioni di PM2.5 giornalieri, oltre a 14 filtri di PM2.5 bi- o tri-giornalieri raccolti con campionamenti ad alto volume. Entrambi i tagli dimensionali sono stati caratterizzati dalle analisi sui campioni giornalieri di IPA, carbonio organico e elementare, levoglucosano, frazione ionica e elementi in tracce.

Le scelte per la progettazione della campagna si sono basate sulla disponibilità di dati raccolti in anni precedenti nello stesso sito e la procedura seguita, concordata con gli esperti dell'obiettivo 5 di PulVirus che si sarebbero occupati delle specifiche analisi dei campioni raccolti, è stata riportata in dettaglio in un [report prodotto dall'obiettivo 6 di PulVirus](#).

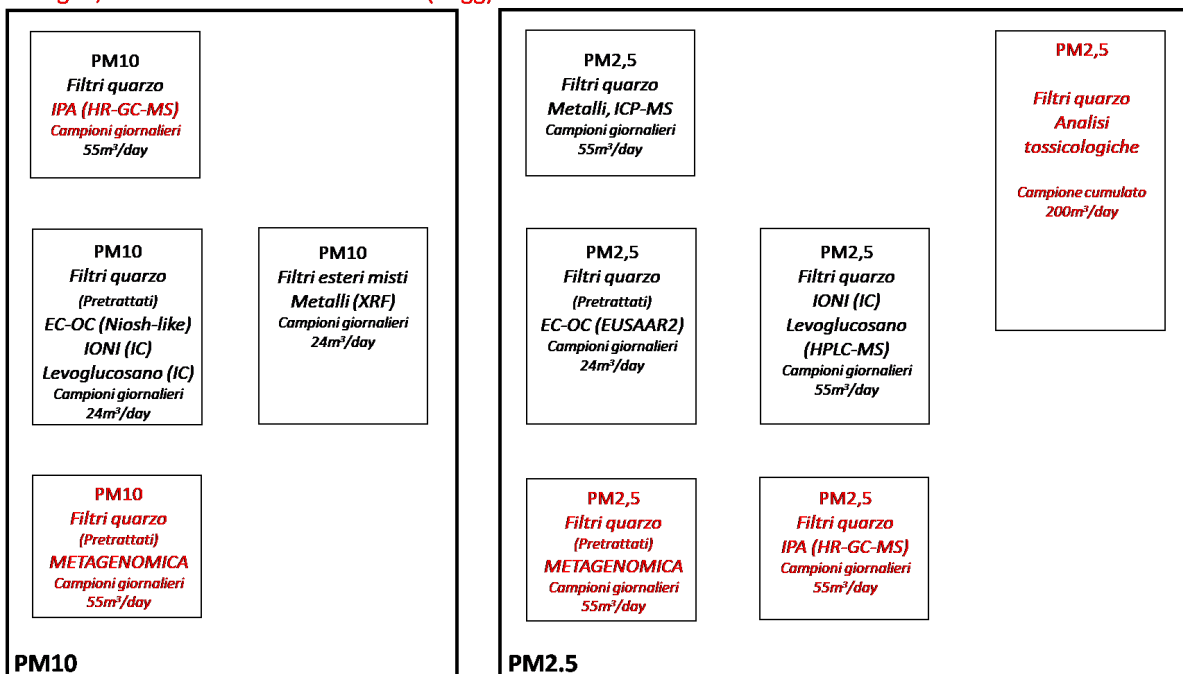
Tabella 8: specie individuate e metodologie analitiche utilizzate sui diversi tagli dimensionali di particolato raccolti nella campagna di approfondimento.

Taglio dimensionale	Analiti disponibili	Tecnica analitica
PM10	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo Niosh-like)
	Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC
	Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb	XRF
	Levoglucosano	IC
	IPA (Tab. XXX)	HR-GC-MS
PM2.5	EC, OC	Termo-ottica (Protocollo EUSAAR2)
	Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻	IC
	Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd, Pb, Sn, Sb, Ba, La	ICP-MS
	Levoglucosano	ESI-MS
	IPA (Tab. XXX)	HR-GC-MS

Tabella 9: IPA, nitro-IPA e ossi-IPA analizzati sui campioni PM2.5 e PM10 raccolti durante la campagna di approfondimento.

Specie quantificate con l'analisi HR-GC-MS		
Acenaftene Acenaftalene Antracene Benzo (a) antracene 7,12 dione Benzo (a) antracene Benzo (a) pirene Benzo (b)+(j) fluorantene Benzo (e) pirene Benzo (g,h,i) perilene Benzo (k) fluorantene Crisene Fenantrene Fluorantene Fluorene Indeno (1,2,3,c,d) pirene Naftalene	Pirene Perilene Dibenzo (a,l) pirene Dibenzo (a,i) pirene 1-Nitronaftalene 2-Nitronaftalene 2-Nitrofluorene 9-Nitro antracene 3-Nitro fluorantene 1-Nitro pirene 7-Nitro Benzo (a) antracene 6-Nitro crisene Dibenzo (a,e) fluorantene Dibenzo (a,c)+(a,h) antracene Ciclopenta (c,d) pirene 9-Nitro fenantrene	Xantone 1H-phenalen-1-one 1,8 Anidride naftalica 2,6 Dimetilnaftalene Dibenzofurano 1 Metil fluorene 9 Metilfenantrene 1 Metilfenantrene Retene Benzo (g,h,i) fluorantene Trifenilene 1 Metilcrisene Picene Coronene

Bologna, Via Gobetti – Novembre 2020 (30gg)



In **NERO** le misure in continuo eseguite nella cabina
 In **ROSSO** le misure aggiunte per la campagna PulVirus

Figura 2: schema riassuntivo dei campionamenti eseguiti durante la campagna di approfondimento.

3.4.2 Campagna indoor primavera 2021

Una campagna indoor di supporto all’obiettivo 5 è avvenuta nel maggio 2021 all’interno dell’Istituto di Istruzione Superiore Aldini Valeriani di Bologna.

L’obiettivo di questa seconda campagna era verificare la presenza di coppie virali di SarsCov2 all’interno degli spazi dell’istituto seguendo una metodica di campionamento concordata con Arpa Piemonte che l’ha sviluppata ([Robotto et al., 2021](#)), in punti che fossero rappresentativi delle diverse condizioni ambientali dell’istituto. I siti di campionamento sono stati scelti tra aule, laboratori (meccanica, elettronica, grafica), aree comuni (corridoi, aree ristoro, bar, palestra) e punti di accesso della scuola durante l’uscita degli studenti. A questo si aggiungono anche due “bianchi”, cioè sale convegni chiuse, a cui quindi non aveva accesso nessuno. In tutto sono stati raccolti 20 campioni nell’arco di 2 giorni (24-25/05/2021).

Nel dettaglio sono stati raccolti campioni di polveri totali (PTS) su filtri in fibra di vetro con campionatori ad alto volume (flusso = 500 l/min; durata = 20 min).

Tabella 10: Punti di campionamento all'interno dell'Istituto Aldini Valeriani. Alcuni punti sono stati ripetuti più volte in condizioni diverse di frequenza degli studenti.

Punto di campionamento	Tipologia di area	Piano	Data e ora
Bar (A)	Area comune	Piano terra	24/05/2021 09:00
Aula di grafica	Laboratorio	Piano terra	24/05/2021 09:20
Sala conferenze (A)	Bianco	Piano terra	24/05/2021 09:45
Aula meccanica	Laboratorio	Piano terra	24/05/2021 10:15
Sala elettronica	Laboratorio	Piano terra	24/05/2021 10:20
Corridoio aule	Area comune	Secondo piano	24/05/2021 11:00
Punto ristoro (A)	Area comune	Secondo piano	24/05/2021 11:00
Aula elettromeccanica	Laboratorio	Piano terra	24/05/2021 11:45
Bar (B)	Area comune	Piano terra	24/05/2021 12:00
Palestra	Area comune	Piano terra	24/05/2021 12:20
Uscita dalla scuola (A)	Area comune	Piano terra	24/05/2021 12:30
Uscita della scuola (B)	Area comune	Piano terra	24/05/2021 13:20
Uscita della scuola (C)	Area comune	Piano terra	24/05/2021 13:20
Aula 153	Aula	Primo piano	25/05/2021 08:30
Incrocio corridoi	Area comune	Secondo piano	25/05/2021 08:40
Punto ristoro (B)	Area comune	Secondo piano	25/05/2021 09:00
Aula 359	Aule	Terzo piano	25/05/2021 09:20
Sala conferenza (B)	Bianco	Piano terra	25/05/2021 10:00
Aula di grafica	Laboratorio	Piano terra	25/05/2021 10:45
Bar (C)	Area comune	Piano terra	25/05/2021 11:30

3.4.3 Sito di approfondimento ENEA-CR (BO)

Le attività ENEA nell'ambito dell'Obiettivo 3 si sono concentrate prevalentemente sulla composizione chimica del particolato atmosferico.

Il sito di campionamento identificato per la realizzazione dell'attività di ricerca è il Centro Ricerche ENEA-CR Bologna. Il sito di misura (44°31'30",63 N; 11°20'40",92 E) (Figura 1.22) è situato in una zona residenziale della città di Bologna e si trova a circa 500 metri

dal nodo autostradale e tangenziale e a circa 50 metri da un'arteria di traffico cittadino; può essere dunque considerato un sito di traffico-suburbano. Nel corso della campagna di misure sono stati effettuati campionamenti di 24 h di particolato PM10 su filtro per la determinazione della concentrazione in massa di PM10, dei metalli ed elementi in traccia, degli ioni idrosolubili, di levoglucosano, di carbonio elementare - EC e di carbonio organico - OC.

Sul particolato atmosferico fine, sono state effettuate misure orarie di carbonio elementare (EC) e organico (OC) con metodo termo-ottico e del Black Carbon (BC) con metodo ottico nel PM2.5 mediante lo strumento Sunset Model-4 Semi-Continuous OC-EC Field Analyzer, e misure (30 min., integrate ad 1 h) della frazione carboniosa non refrattaria a 600°C (OM) nel PM1 con Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM).

I dati sono stati integrati con misure ad elevata risoluzione temporale (5 minuti) di inquinanti in fase gas: Ozono (O₃), ossidi di Azoto (NO_x), Benzene (BEN) e Toluene (TOL).



Figura 3: localizzazione del Sito "ENEA-CR Bologna".

Sui dati sono state eseguite analisi descrittive, chiusura di massa per la composizione chimica del PM10 e di *source apportionment* sia sui dati riguardanti il particolato fine che *coarse*. I risultati sono stati confrontati con misure disponibili eseguite in anni precedenti.