

UTAQ, UN TOOL A SUPPORTO DELLA PREVISIONE E DELLA GESTIONE DEGLI EPISODI ACUTI DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Fabrizio Ferrari*, Roberta Gianfreda, Giuseppe Maffeis

TerrAria s.r.l., Milano.

Sommario – UTAQ (Urban Tool for Air Quality) è un progetto europeo finanziato dal CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) che prevede lo sviluppo di un applicativo Web per la previsione della qualità dell'aria a scala urbana ad alta risoluzione (10-50 m). UTAQ consente da un lato ai cittadini, funzionari tecnici ed epidemiologi di conoscere e quindi limitare l'esposizione agli inquinanti atmosferici sulla base della posizione (via GPS) e dall'altra ai pianificatori territoriali e ai decisori di valutare preventivamente l'effetto sul rientro del superamento dei limiti normativi di qualità dell'aria, delle limitazioni sul traffico e sui veicoli (ad es. riduzione del traffico, limitazione dei veicoli pesanti, costituzione di aree Low Emission Zone, etc.). UTAQ produce mappe di qualità dell'aria ad alta risoluzione, sia in tempo reale che come previsione fino a 4 giorni, con e senza la riduzione emissiva legata alle limitazioni decise. La previsione della concentrazione avviene con la "composizione" di (1) concentrazioni di fondo fornite da CAMS a scala europea grazie al modello ENSEMBLE, in tempo reale e previsionali, (2) la dispersione delle emissioni locali (in primis il traffico) attraverso l'utilizzo di funzioni sorgente-recettore secondo un approccio derivato dal progetto SHERPA-City sviluppati dal JRC, (3) i dati di qualità dell'aria misurati da centraline urbane di monitoraggio. UTAQ in sintesi supporta le autorità ad aumentare il grado di consapevolezza dei propri cittadini, diffondendo le previsioni sulla qualità dell'aria ed il beneficio ottenuto grazie alle strategie urbane adottate. Il sistema modellistico UTAQ è stato calibrato e validato utilizzando i dati misurati dalla stazione di qualità dell'aria di ARPA Lombardia di Meda (MB), su un dominio di calcolo di 10x10 km² centrato su 7 Comuni in provincia di Monza e Brianza (per un totale di circa 180'000 abitanti), soci dell'Agenzia INNOVA21, stakeholder del progetto UTAQ.

Parole chiave: inquinamento dell'aria, modelli previsionali di qualità dell'aria, CAMS, modelli sorgente-recettore, strategie di mitigazione.

UTAQ, A TOOL TO SUPPORT AND MANAGE THE SEVERE AIR POLLUTION EPISODES

Abstract – UTAQ (Urban Tool for Air Quality) is a European project funded by CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). UTAQ (Urban Tool for Air Quality) is a Web appli-

cation that allows to analyze current and forecasted air quality on an urban scale at high resolution (10-50 m). On the one hand UTAQ allows citizens, municipal technicians and epidemiologists to evaluate and then to limit air quality exposition thanks to the GPS position, on the other hand it allows urban planners and decisions makers to evaluate the impact of fleet and traffic limitations to manage emergency conditions of air quality exceedances. To support this process, UTAQ produces high-resolution maps of air quality both on the current situation and the forecast for the next 4 days. These maps are produced as the "composition" of (1) the background concentrations supplied by the European CAMS ENSEMBLE model in real time analysis and 4-day forecasts (2) the dispersion of local emissions (e.g. traffic) through an approach similar to SHERPA-City project (developed by JRC) like approach (3) observed air quality data monitored by urban stations. UTAQ in summary supports the authorities to increase the degree of awareness of its citizens communicating the air quality forecasts and the benefit obtained thanks to the urban strategies adopted UTAQ has been trained and validated with the air monitoring station of Meda (ARPA Lombardia) with a 10x10 km² including 7 Italian municipalities (for a total of 180 thousand of inhabitants), all partners of Agenzia INNOVA21 that is a UTAQ's stakeholder.

Keywords: air pollution, air pollution forecast modelling, CAMS, source-receptors models, mitigation strategy.

Ricevuto il 16-9-2019. Modifiche sostanziali richieste il 25-9-2019. Correzioni richieste il 8-10-2019. Accettazione il 9-10-2019.

1. INTRODUZIONE

1.1. Contesto

Nonostante negli ultimi decenni siano stati fatti importanti progressi in termini di qualità dell'aria in Europa, l'inquinamento atmosferico è tuttora responsabile di circa 400.000 morti premature ogni anno, di cui più di 81.000 solo in Italia (EEA, 2018). Mentre in passato i superamenti della qualità dell'aria erano molto diffusi in tutto il continente europeo, negli ultimi anni tendono ad essere limitati a specifiche aree densamente antropizzate come la Pianura Padana, l'area della Polonia meridionale o il Benelux per il particolato sottile e alle grandi città per il diossido di azoto (Kiesewetter

* Per contatti: Via Melchiorre Gioia 132, 20125 Milano.
Tel. 02.87085651, e-mail: f.ferrari@terraria.com

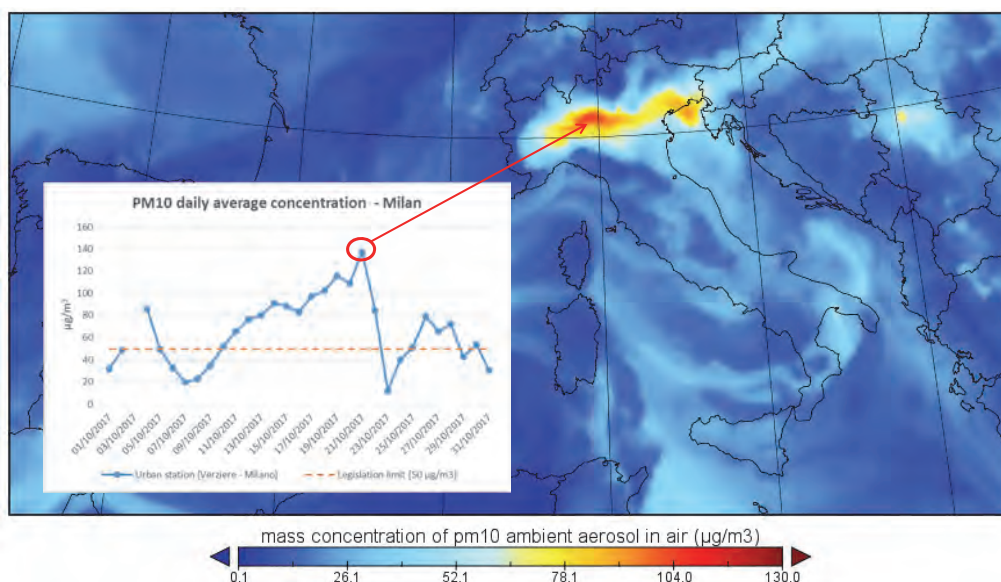


Figura 1 – Esempio di episodio acuto di PM10. Elaborazione di dati CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service: Ensemble analysis) del 21 ottobre 2017 ore 10 UTC. Nel grafico andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate nella stazione di Milano Verziere di ARPA Lombardia

et al., 2013). I trasporti contribuiscono significativamente all'emissione di molti inquinanti atmosferici e alla conseguente scarsa qualità dell'aria, in particolare nelle aree urbane con elevati volumi di traffico stradale. Il valore limite annuale dell'UE per la media annua di biossido di azoto ($40 \mu\text{g m}^{-3}$), uno dei principali inquinanti dell'aria che desta preoccupazione e che in genere è associato alle emissioni dei veicoli stradali, nel 2016 è stato ampiamente superato in Europa, con l'88% di tutti i superamenti riscontrati dalle centraline di monitoraggio a ridosso di infrastrutture stradali (EEA, 2018).

Il recente ricorso nel luglio 2019 (EC/C-573/19) alla Corte di giustizia dell'Unione Europea presentato dalla Commissione Europea contro l'Italia per i persistenti e continui superamenti dei valori limite di concentrazione di biossido di azoto e la procedura di infrazione di maggio 2018 (IP/18/3450) ad oggi aperta per il costante superamento dei valori limiti giornalieri di PM10 in numerose regioni, mettono in evidenza come in Italia il problema della qualità dell'aria sia tuttora grave.

Un esempio di questi episodi di elevato inquinamento dell'aria, si è verificato nell'ottobre 2017 nel Nord Italia (Figura 1). Le elevate emissioni antropogeniche, in combinazione con le frequenti condizioni atmosferiche stagnanti del periodo invernale e un persistente periodo con assenza di pioggia, hanno causato un'elevata concentrazione di polveri sottili (PM10). Nonostante la parziale ri-

duzione delle emissioni, la variazione del regime pluviometrico con la conseguente riduzione delle precipitazioni invernali che ci si attende nel prossimo futuro per effetto dei cambiamenti climatici in corso (ISPRA, 2019), renderà questi episodi sempre più frequenti in Pianura Padana in tale periodo.

Gli standard di qualità dell'aria dell'Unione Europea, adottati dagli Stati membri nel 2008 (EC/2008/50), prevedono che ciascun Stato elabori un piano d'azione in cui siano indicate le misure da adottare nel breve periodo al fine di ridurre la durata e il rischio di esposizione della popolazione a superamenti dei limiti di concentrazione per i principali inquinanti che colpiscono le aree urbane (ad esempio NO_2 , PM10 e O_3). I piani d'azione a breve termine devono prevedere misure efficaci per controllare e, se necessario, sospendere le attività antropiche che contribuiscono al rischio del superamento dei valori limite, dei valori obiettivo o delle soglie di allarme. Tali piani possono comprendere misure relative al traffico stradale, ai lavori di costruzione, alle navi all'ormeggio, all'uso di impianti o di prodotti industriali e al riscaldamento domestico.

Questo approccio mira a proteggere la popolazione dalle concentrazioni di picco e promuove la prevenzione di episodi gravi attraverso l'implementazione di sistemi di previsione della qualità dell'aria. Per rispettare i valori limite a breve termine stabiliti dalla legislazione e ridurre i pericolosi picchi di concentrazione, le azioni di riduzio-

ne delle emissioni devono essere pianificate con almeno uno o due giorni di anticipo. Inoltre, secondo le direttive dell'UE, le autorità locali devono fornire informazioni al pubblico sullo stato della qualità dell'aria e sulla tendenza prevista per i giorni seguenti.

Le misure di mitigazione sono spesso decise solo sulla base delle concentrazioni misurate e delle previsioni meteorologiche, quando ormai l'episodio di criticità della qualità dell'aria si è già verificato, con misure prestabilite, limitandone la possibile efficacia. La disponibilità di un sistema affidabile di previsione della qualità dell'aria urbana potrebbe aiutare i decisori a pianificare per tempo misure efficaci di abbattimento, evitando così sia i costi sanitari per gli episodi acuti non evitati sia i costi per restrizioni non necessarie alle attività economiche.

1.2. L'architettura di UTAQ

UTAQ è uno strumento web-based dotato di un'interfaccia user-friendly, che mette a disposizione: (1) una versione Web dedicata ai decisori politici in cui possono definire la migliore strategia per valutare l'impatto delle misure di limitazione del traffico per prevenire gli episodi di inquinamento atmosferico su scala comunale prima che questi si verifichino, (2) una versione pubblica Web in cui si possono visualizzare le mappe dello stato di qualità dell'aria attuale e prevista, (3) una versione pubblica Mobile nella quale attraverso la posizione GPS del dispositivo i cittadini possono informarsi sullo stato della qualità dell'aria e le eventuali previsioni.

UTAQ, sposando l'approccio "semplificato" che vede l'inquinamento atmosferico cittadino composto da tre componenti (Harrison, 2018) come rappresentato schematicamente nella Figura 2, integra pertanto 3 contributi:

- I) le concentrazioni del background regionale (parte in verde) attraverso le stime del modello a scala europea ENSEMBLE del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) che mette a disposizione quotidianamente 4 giorni di previsioni orarie di vari inquinanti tra cui in particolare il biossido di azoto (NO_2) ed il particolato sottile (PM10), – paragrafo 2.1.3;
- II) il contributo cittadino (parte in azzurro-lilla) attraverso i dati di una o più stazioni di quali-

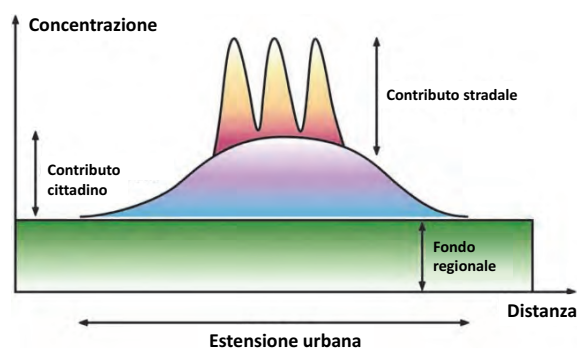


Figura 2 – Profilo dell'inquinamento generato dal traffico in una città (Harrison, 2018)

tà dell'aria attraverso cui tener conto dell'accumulo cittadino degli inquinanti (Maffei, 1999) – paragrafo 2.1.4;

- III) il contributo a livello stradale (parte rosso-gialla), in termini di media giornaliera di PM10 e della concentrazione oraria di NO_2 , calcolato dalle emissioni locali di traffico attraverso specifiche funzioni orarie sorgente-recettore (kernel orari), in modo da rendere il calcolo veloce e affidabile anche ad alta risoluzione (griglie di $20 \times 20 \text{ m}^2$). Questo approccio è mutuato, grazie al supporto dello stesso JRC di ISPRA, dal progetto SHERPA-City (Degraeuwe et al., 2018) dove i kernel annui sono stati utilizzati per calcolare la media annua di PM10 ed NO_2 – paragrafo 2.1.2.

L'integrazione dei contributi deve garantire da un lato validità scientifica e dall'altro tempi di calcolo che consentano un'"operatività Web", così come già evidenziato nella scelta dell'approccio SHERPA-City, soprattutto nella simulazione del contributo nel caso di specifiche politiche di limitazione scelte dal decisore. Come descritto con maggior dettaglio nel prossimo paragrafo (2.1.4.) la metodologia di integrazione consente di evitare "double-counting" del contributo emissivo incluso in CAMS.

Lo schema di funzionamento del sistema UTAQ è riportato in Figura 3: a partire dalla definizione di un dominio di calcolo, è possibile elaborare differenti scenari emissivi di traffico stradale che sulla base delle previsioni meteorologiche del modello IFS-ECMWF (Integrated Forecasting System) e le relative funzioni sorgente-recettore orarie (kernel), i dati di qualità dell'aria misurati e le previsioni di modello ENSEMBLE di CAMS, producono differenti scenari di qualità dell'aria che vengono messi a disposizione dei decisori politici e dei cittadini.

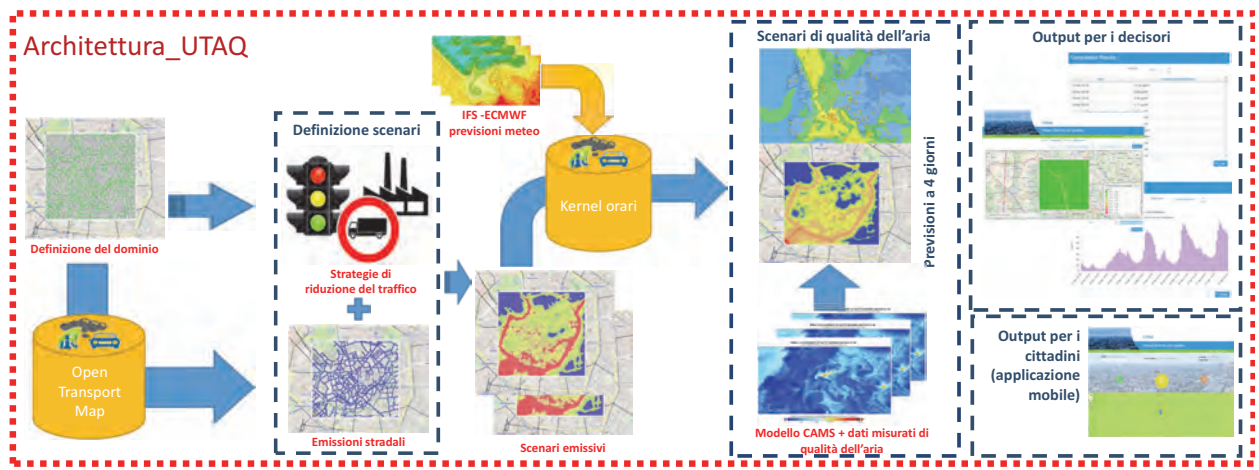


Figura 3 – L'architettura di UTAQ

2. MATERIALI E METODI

2.1. Metodo di calcolo

2.1.1. Calcolo delle emissioni

Le emissioni sono calcolate su una griglia con risoluzione $20 \times 20 \text{ m}^2$ sul dominio prescelto a partire dal grafo stradale e dai relativi flussi di traffico utilizzati per la stima che derivano da OpenTransportMaps (Jedlička et al., 2016) che fornisce la geolocalizzazione della rete stradale a cui sono associati i flussi di traffico attraverso il modello macroscopico OmniTRANS (2015). Le strade sono suddivise in 5 categorie: dalle autostrade alle strade di quartiere e per ogni arco stradale è indicato il flusso di traffico medio annuo giornaliero (AADT – Annual average daily traffic). La taratura del modello emissivo è stata effettuata assegnando alle strade di livello inferiore un flusso annuo medio giornaliero in modo che il bilancio emissivo sia coerente con la stima delle emissioni da traffico del territorio in esame, derivanti dall'inventario regionale (nel caso in esame INEMAR Lombardia).

La stima delle emissioni su griglia in UTAQ avviene utilizzando la distribuzione media per tipo di veicolo secondo la classificazione COPERT4 (Gkatzoflias et al., 2012) con i relativi fattori di emissione per tipo di strada (urbana, rurale e autostrade) e inquinante (PM, NO_x).

I dati derivano dal database del modello di traffico DIONE del JRC (Thiel et al., 2016) che incorpora i dati raccolti nel progetto europeo di ricerca TRACCS (Papadimitriou et al., 2013). La disaggregazione temporale su fascia oraria avviene sulla base di profili tipici giornalieri del territorio in esame.

2.1.2. Calcolo delle concentrazioni locali di traffico

Seguendo quanto già sperimentato all'interno del progetto SHERPA-City (in quel caso su base annua), per la stima delle concentrazioni locali di traffico si è deciso di utilizzare delle funzioni sorgente-recettore gaussiane orarie denominate *kernel*, in grado di garantire tempi di calcolo ridotti a partire da una griglia di emissione in input. Ogni kernel, corrispondente ad una diversa condizione meteorologica, rappresenta la matrice gaussiana delle concentrazioni ottenute simulando la dispersione di 1 kg/h di un determinato inquinante con il modello gaussiano IFDM (Lefebvre et al., 2013). Simulando differenti condizioni meteorologiche orarie è quindi possibile riprodurre l'andamento giornaliero delle concentrazioni di traffico a partire dalle emissioni orarie stimate secondo quanto descritto al paragrafo precedente. Le variabili meteo richieste dal modello sono: direzione e velocità del vento e temperatura. Tramite la data e l'ora e le coordinate di simulazione il modello stima la radiazione solare incidente.

In questo modo, UTAQ è in grado di calcolare l'incremento dovuto al contributo stradale alle concentrazioni di PM₁₀ e NO₂ (contributo III di Figura 2).

Per considerare la variabilità delle condizioni meteorologiche europee sui principali parametri che influenzano la dispersione atmosferica (velocità e direzione del vento, radiazione solare, temperatura) si è costruita una tabella di contingenza sui dati meteo del Progetto ERA-Interim (ECMWF, 2012) con risoluzione spaziale di 0.75° di latitudine e 0.75° di longitudine e una risoluzione temporale di sei ore, per le seguenti classi di parametri meteorologici:

- intensità del vento (0-1 m s⁻¹, 1-2 m s⁻¹, 2-3 m s⁻¹, 3-4 m s⁻¹, 4-5 m s⁻¹, 5-6 m s⁻¹, >6 m s⁻¹);
- direzione del vento (8 classi di direzione);
- radiazione solare (Night, <300 W m⁻², 300-600 W m⁻², >600 W m⁻²);
- temperatura (<-10°C, -10-0°C, 0-10°C, 10-20 °C, 20-30 °C, >30 °C).

Sono state inoltre considerate quattro aree europee:

- Europa settentrionale;
- Europa occidentale;
- Europa orientale;
- Europa meridionale.

Considerando la combinazione di tutte le classi meteorologiche prese in esame pari a 5376 (7 classi di velocità del vento, 8 classi di direzione del vento, 4 classi di radiazione solare, 6 classi di temperatura e 4 aree europee) sono stati addestrati 4510 kernel su base oraria che rappresentano le combinazioni con almeno 1 occorrenza. I kernel addestrati vengono utilizzati da UTAQ in funzione dell'area in cui si trova il dominio considerato e dei valori meteo orari previsti dal modello globale IFS-ECMWF.

2.1.3. Il contributo CAMS del background regionale

Come descritto in precedenza, UTAQ utilizza, come concentrazione di background regionale, il modello previsionale CAMS ENSEMBLE (Innes et al., 2019) che si basa sull'integrazione degli output di 7 modelli a scala europea (Tabella 1). L'utilizzo di previsioni basate su un insieme di modelli (ENSEMBLE) riduce l'incertezza dei risultati individuali e di conseguenza migliora i risultati finali in termini di affidabilità e prestazioni (Leutbecher e Palmer, 2007). I modelli hanno in comune i parametri meteo (che derivano dal modello globale IFS-ECMWF – lo stesso utilizzato da UTAQ), le condizioni al contorno dei composti chimici

Tabella 1 – Lista dei modelli considerati all'interno del modello CAMS Ensemble

Nome del modello	Istituto	Risoluzione spaziale (Europe)
CHIMERE	INERIS (France)	0.15°x0.1°
EMAP	MET Norway (Norway)	0.25°x0.125°
EURAD-IM	RIUUK (Germany)	15 km
LOTOS-EUROS	KNMI, TNO (The Netherlands)	0.25°x0.125°
MATCH	SMHI (Sweden)	0.2°
MOCAGE	METEO-FRANCE (France)	0.2°
SILAM	FMI (Finland)	0.1°

(modello globale CAMS IFS-MOZART) e le emissioni (modello CAMS). L'analisi ENSEMBLE dei prodotti CAMS produce mappe previsionali di concentrazione fino a 4 giorni con risoluzione pari a circa 10-20 km.

2.1.4. Calcolo della concentrazione finale

La concentrazione finale data dall'integrazione dei tre contributi (background regionale, incremento cittadino ed incremento stradale) di Figura 2 si ottiene dalla seguente formulazione:

$$C_{tot}^t = CAMS^t + C_{local}^t + \varepsilon$$

dove:

- C_{tot}^t è la concentrazione finale oraria all'ora t ;
- $CAMS^t$ è la concentrazione regionale oraria fornita dal CAMS (contributo I);
- C_{local}^t è l'incremento stradale (contributo III);
- ε è il coefficiente di aggiustamento che tiene conto del "contributo cittadino".

Per considerare gli effetti dell'accumulo, infatti, il contributo del traffico stradale è calcolato come somma pesata sulla base di coefficienti autoregressivi della concentrazione oraria da traffico stradale delle ultime 48 ore:

$$C_{local}^t = \sum_{s=1}^{48} (\alpha_s)^{t-1} (C_{traff}^s - \overline{C_{traff}^s})$$

dove:

- C_{traff}^t è la concentrazione da traffico calcolata attraverso i kernel (contributo III);
- $\overline{C_{traff}^s}$ è la concentrazione da traffico media sulla cella CAMS (in pratica la differenza rappresenta una ridistribuzione locale della concentrazione media CAMS utile sulla base dei contributi di traffico locale, finalizzata ad evitare un doppio conteggio dell'emissione già considerata nel calcolo della concentrazione regionale CAMS);
- $(\alpha_s)^{t-1}$ è il coefficiente autoregressivo di accumulo per la stagione s (per tener conto delle differenti condizioni di stabilità atmosferica che portano ad un accumulo differente degli inquinanti in aree urbane in estate ed inverno); trattandosi di una funzione di potenza, quanto più α è vicino ad 1 tanto più il peso delle ore precedenti sarà maggiore (condizione di forte accumulo), quando più α è invece vicino a 0, tanto più il contributo delle ore precedenti sarà trascurabile (condizione di accumulo trascurabile).

Ogni giorno il run viene inizializzato con i dati di osservazione della stazione di monitoraggio della

qualità dell'aria, caricati automaticamente dal sistema. Poiché il processo di validazione dei dati di qualità dell'aria ufficiali richiede quasi un giorno, cautelativamente si è addestrato e validato il modello sulla base della disponibilità della media giornaliera di due giorni prima (facendo pertanto previsioni orarie per il primo giorno a 25-48 ore e così via per i giorni successivi).

Sulla base dei dati di concentrazione per un periodo sufficiente di "taratura" modellistica è possibile stimare il coefficiente di aggiustamento, stagionale da applicare in fase predittiva:

$$\varepsilon = \overline{C_{OBS}^{t-25}} - \overline{CAMS^{t-25}} - \overline{C_{local}^{t-25}}$$

dove i diversi contributi si riferiscono alla media giornaliera di due giorni prima.

I coefficienti α sono stimati in modo da minimizzare l'errore tra la concentrazione media giornaliera e l'osservazione media giornaliera nel periodo di addestramento.

Nei paragrafi successivi si riportano i primi risultati ottenuti dalla calibrazione e successiva validazione del modello UTAQ per l'inquinante PM10 su un dominio di calcolo nel nord Italia; sono in corso le stesse valutazioni per gli inquinanti PM25 e NO₂.

2.2. Applicazione del tool nel dominio "Innova21": calibrazione modellistica

Il Sistema è stato addestrato per l'anno 2017 su un dominio di 10x10 km² centrato su 7 comuni in Ita-

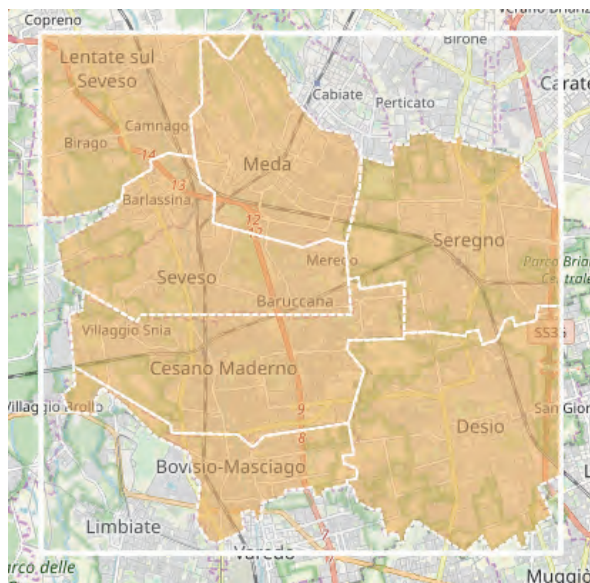


Figura 4 – Dominio utilizzato per l'addestramento del modello

Tabella 2 – Stima del coefficiente α

Semestre	Periodo	α
Inverno	15 ottobre – 15 aprile	0,8799
Estate	16 aprile – 14 ottobre	0,0010

lia del nord. I comuni sono Barlassina, Bovisio Masciago, Cesano Maderno, Desio, Lentate sul Seveso, Meda e Seveso, tutti localizzati in Provincia di Monza e della Brianza.

I dati osservati di PM10 sono stati ottenuti dalla stazione di Meda di monitoraggio della qualità dell'aria appartenente alla rete di ARPA Lombardia. Il coefficiente α è stato stimato per due semestri: inverno e estate (Tabella 2), da cui risulta evidente l'importanza dell'accumulo in inverno e la trascurabilità di tale termine in estate dove la concentrazione finale di fatto si limita alla concentrazione di background regionale sommata al contributo del traffico locale dell'ora t .

Sulla base di questi coefficienti α si è calcolata la concentrazione finale per tutte le ore del 2017. Le prestazioni di UTAQ sono riassunte nei seguenti grafici dove i dati di concentrazione di PM10 del modello sono stati aggregati su media giornaliera per essere confrontati con i dati misurati della centralina ARPA. Oltre alla stima del modello UTAQ, per confronto è stata inserita la previsione del modello europeo CAMS (per previsioni da 1 a 24 ore). In generale il sistema modellistico implementato in UTAQ riproduce meglio i risultati nel periodo estivo dove i picchi di concentrazione sono più limitati e dove il modello CAMS a scala regionale necessita una minore correzione (come testimoniato dal valore molto basso di α di Tabella 2). Nel periodo invernale invece l'apporto del contributo del sistema modellistico UTAQ rispetto al modello CAMS risulta determinante per meglio riprodurre i picchi di concentrazione caratteristici del periodo, anche se le prestazioni sono in assoluto peggiori.

A titolo di esempio in Figura 6 si riporta l'andamento della stima del modello UTAQ con il dettaglio dei diversi contributi descritti al paragrafo 2.1.4: concentrazione regionale dal modello CAMS, incremento dovuto alle emissioni stradali e contributo cittadino. Rispetto alla media annua i contributi pesano rispettivamente il 65%, 26% e 9%.

Per valutare le performance effettive in fase predittiva del sistema modellistico descritto, UTAQ è stato validato sullo stesso dominio della calibrazione utilizzando in modalità predittiva i dati misurati di

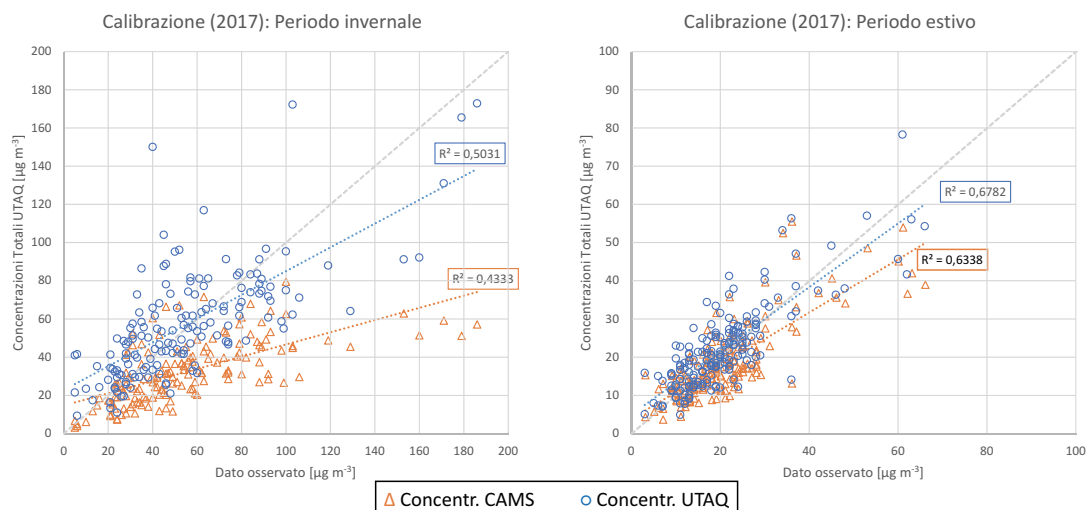


Figura 5 – Calibrazione: scatter plot tra la media giornaliera osservata di PM10 (dati della stazione di Meda di ARPA Lombardia. Anno 2017), i dati dei modelli UTAQ e CAMS per il periodo invernale a sinistra e il periodo estivo a destra

PM10 della stazione ARPA Lombardia di Meda per l'anno 2018, con i coefficienti α stimati nel 2017 per il semestre invernale ed estivo. Come per la fase di calibrazione (Figura 5) per confronto sono state valutate anche le prestazioni del modello CAMS (Tabella 3 e Figura 7). In generale il contributo delle concentrazioni locali stimate attraverso il tool UTAQ migliora le prestazioni del modello CAMS che essendo a scala continentale non riesce a descrivere in modo appropriato gli eventi estremi di accumulo locale degli inquinanti soprattutto nel periodo invernale. Il modello CAMS sottostima, infatti, le concentrazioni di PM10 nell'intero periodo di simulazione (BIAS medio pari a $-5,4 \mu\text{g m}^{-3}$ e RSME pari a $15,2 \mu\text{g m}^{-3}$) e più marcatamente nel

periodo invernale (BIAS medio pari a $-13,3 \mu\text{g m}^{-3}$ e RSME pari a $19,4 \mu\text{g m}^{-3}$). UTAQ migliora le previsioni del modello CAMS andando a sommare il contributo locale dovuto al traffico e considerando l'accumulo degli inquinanti legato alle condizioni meteo delle precedenti 48 ore. Come già per la calibrazione il miglioramento più significativo si evidenzia nel periodo invernale quando il modello a scala regionale CAMS non riesce a riprodurre i massimi locali di concentrazione (BIAS medio pari a $2,8 \mu\text{g m}^{-3}$ e RSME pari a $15,6 \mu\text{g m}^{-3}$). Nel periodo estivo, invece quando l'effetto di accumulo è trascurabile UTAQ tende a sovrastimare le concentrazioni di particolato (BIAS di $5,1 \mu\text{g m}^{-3}$). Il contributo locale dovuto al traffico risulta comun-

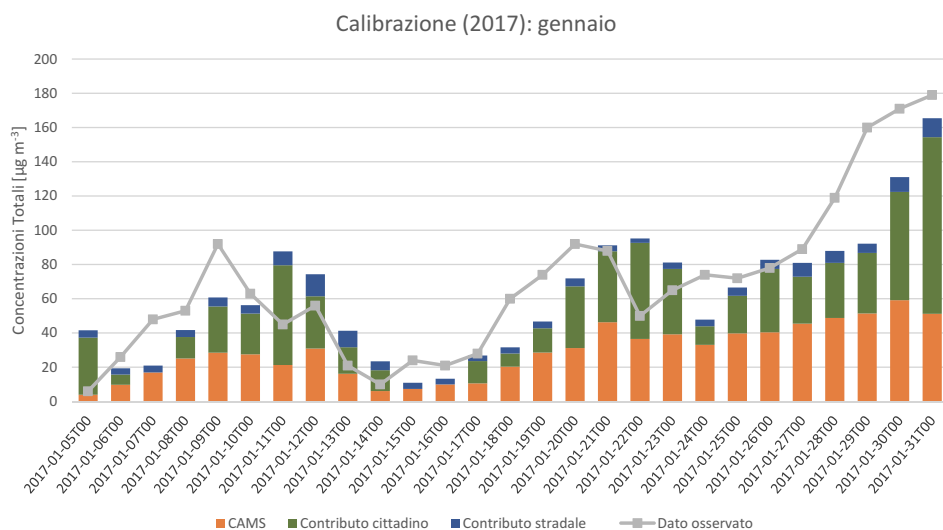


Figura 6 – Calibrazione: andamento della media giornaliera osservata di PM10 (dati della stazione di Meda di ARPA Lombardia. Anno 2017), e i dati del modello UTAQ con l'indicazione dei diversi contributi (CAMS, cittadino e stradale). Applicazione del tool nel dominio "Innova21": calibrazione modellistica

Tabella 3 – Performance del modello UTAQ per le concentrazioni di PM10 e confronto con il modello CAMS

Stagione	Periodo	BIAS [$\mu\text{g m}^{-3}$]		RSME [$\mu\text{g m}^{-3}$]		R ²	
		UTAQ	CAMS	UTAQ	CAMS	UTAQ	CAMS
Inverno	15 ottobre 2018 – 15 aprile 2018	2,3	-13,3	15,3	19,4	0,546	0,611
Estate	16 aprile 2018 – 14 ottobre 2018	5,0	2,2	10,4	9,4	0,449	0,378
Intero Periodo	1 gennaio 2018 – 31 dicembre 2018	3,6	-5,4	13,1	15,2	0,614	0,471

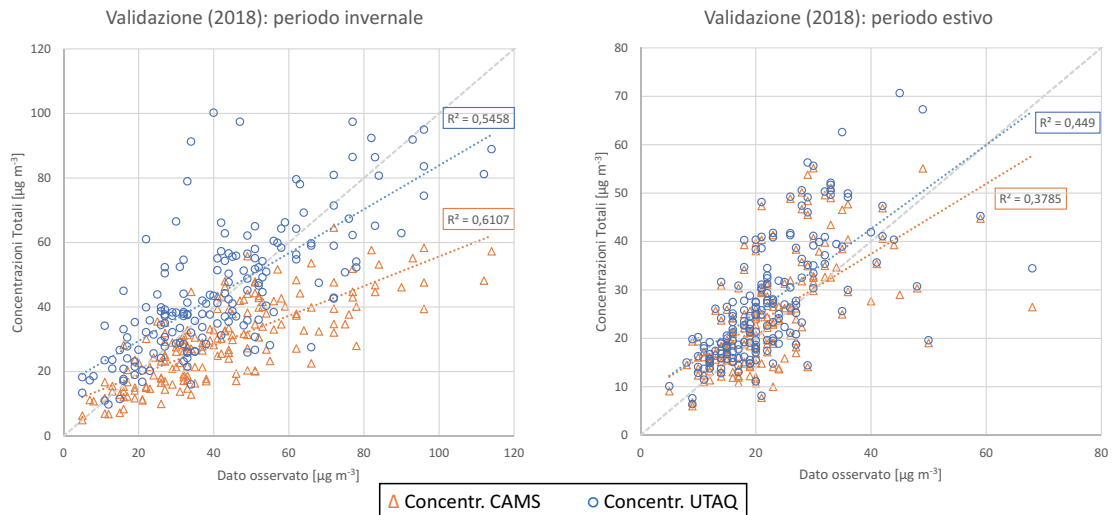


Figura 7 – Validazione: scatter plot tra la media giornaliera osservata di PM10 (dati della stazione di Meda di ARPA Lombardia. Anno 2018), i dati dei modelli UTAQ e CAMS per il periodo invernale a sinistra e il periodo estivo a destra

que molto limitato grazie al coefficiente di accumulo α prossimo allo zero (Tabella 2) e di conseguenza i valori finali di concentrazione di PM10, in ogni caso non risultano troppo elevati e comunque al di sotto della concentrazione limite giornaliera di $50 \mu\text{g m}^{-3}$. È vero inoltre che l'utilizzo in calibrazione e validazione della media della concentrazione di PM10 del giorno precedente (fattibile come tempistica da un punto di vista applicativo) migliorerebbe le performance di UTAQ.

In Figura 8 vengono visualizzati gli andamenti mensili di luglio e dicembre delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 dei modelli UTAQ e CAMS confrontati con i dati osservati: nel grafico di sinistra si può notare che i due modelli hanno andamenti simili e non sono necessari i contributi delle concentrazioni locali perché il modello CAMS riproduce bene i valori di concentrazioni di PM10 misurati. Al contrario nel grafico di destra il contributo locale delle concentrazioni da traffico

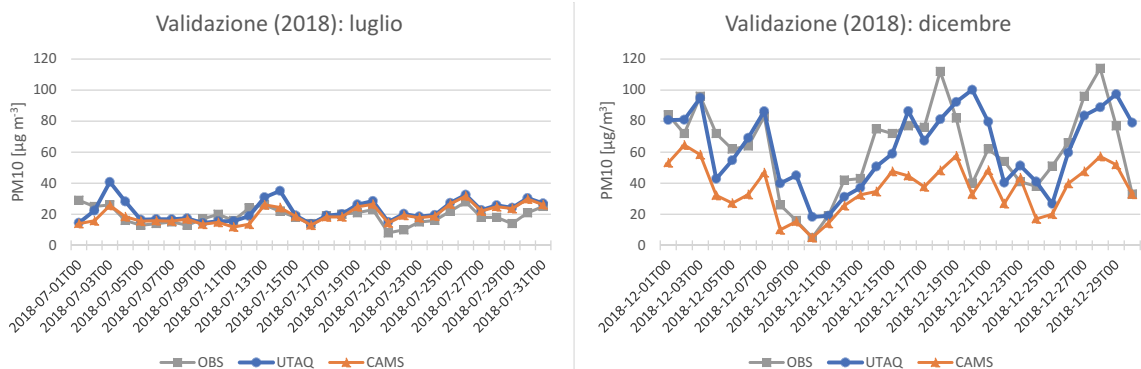


Figura 8 – Validazione: grafici di comparazione tra la media giornaliera osservata di PM10 (dati della stazione di Meda di ARPA Lombardia. Anno 2018), i dati dei modelli UTAQ e CAMS per il mese di luglio a sinistra e il mese di dicembre a destra

Tabella 4 – Tabella di contingenza tra i superamenti del limite di legge di $50 \mu\text{g m}^{-3}$ dei dati osservati della media giornaliera di PM10 (dati della stazione di Meda di ARPA Lombardia. Anno 2018) e i valori stimati dal modello UTAQ

Media giornaliera PM10		Modello UTAQ	
		Superamento	Non superamento
Dati osservati	Superamento	42 (74%)	15 (26%)
	Non superamento	35 (12%)	263 (88%)

risulta necessario per poter riprodurre i picchi di concentrazione di PM10.

Infine in Tabella 4 viene presentata una tabella di contingenza in cui sono riportate le percentuali di successo o insuccesso nel predire un superamento del limite di legge per il PM10 ($50 \mu\text{g m}^{-3}$) da parte del modello. Come si può notare il modello prevede correttamente un superamento nel 74% dei casi e un non superamento nell'88% dei casi.

3. IL TOOL UTAQ

Intorno al sistema modellistico descritto nel precedente paragrafo si è sviluppata un'applicazione Web disponibile in forma prototipale sul sito www.utaq.eu e accessibile dagli utenti abilitati.

3.1. Applicazione Web

L'applicativo UTAQ è uno strumento accessibile online con un'interfaccia user-friendly (cioè pensata per utenti non specialisti) ed è stato interamente sviluppato con tecnologie open source.

Il tool incorpora: un web GIS (*Geographical Information System*) con le più comuni funzioni di visualizzazione (Zoom, Un-zoom, Pan ...) in modo da aiutare l'utente nella selezione degli input e nella visualizzazione degli output. Le mappe mostrano le concentrazioni orarie e le serie temporali attraverso grafici e diagrammi (per la previsione a 4 giorni, 96 ore).

L'applicazione web UTAQ è composta da:

- il modulo di login che consente all'utente "decisore/pianificatore" di accedere all'applicazione UTAQ e definire ed applicare le politiche di limitazione del traffico;
- il modulo per definire nuovi scenari di emissione e nuove politiche (ad esempio: limitazione di alcune categorie di veicoli come i diesel, i mezzi pesanti, gli Euro1/2/3 o la chiusura di alcune aree della città per creare le cosiddette zone *Low Emission Zone*);
- il modulo per visualizzare gli output attraverso mappe su griglia (mappe di emissione e mappa

dell'indice di qualità dell'aria), tabelle e grafici a barre.

Il tool è stato realizzato in modo da facilitare l'utilizzo dello stesso all'utente decisore, a cui sarà messo a disposizione, il grafo stradale per l'area urbana di interesse con i volumi di traffico e le emissioni correlate, e lo scenario di base (con le previsioni a 96 ore) calcolato come descritto nei paragrafi precedenti. La fase di calibrazione necessaria per stimare i parametri α stagionali e la procedura necessaria per incorporare i dati misurati dalla centralina di monitoraggio vengono effettuate nella fase di configurazione dall'amministratore di sistema prima di abilitare l'utente all'utilizzo del tool nell'area urbana di interesse.

Nelle figure in appendice sono riportate alcune schermate raffiguranti l'applicativo web UTAQ.

3.2. Applicazione Mobile

L'applicazione *mobile* pubblica di UTAQ consente agli utenti di valutare la stima della qualità dell'aria prevista per i successivi 4 giorni con un'interfaccia intuitiva e facile da usare. Il servizio è accessibile gratuitamente e fornisce concentrazioni di qualità dell'aria accurate (risoluzione di $20 \times 20 \text{ m}^2$) e in tempo reale, localizzate in base alla posizione dell'utente ottenute direttamente tramite il dispositivo GPS dello smartphone.

4. CONCLUSIONI

In questo studio è stato presentato un nuovo modello per la stima degli episodi acuti di inquinamento atmosferico in ambiente urbano ad alta risoluzione. Questo nuovo sistema modellistico denominato UTAQ (Urban Tool for Air Quality) è stato implementato in un'applicazione Web e Mobile prototipali con l'obiettivo di supportare i decisori politici e le Amministrazioni Comunali a valutare e stabilire quali sono le migliori strategie di limitazione al traffico da attuare nel breve periodo per soddisfare i requisiti normativi ed eventualmente mettere in atto tali politiche di limitazione

prima che le condizioni di qualità dell'aria diventino critiche. UTAQ inoltre può supportare le Amministrazioni ad aumentare il grado di consapevolezza dei propri cittadini, diffondendo le previsioni sulla qualità dell'aria ed il beneficio ottenuto grazie alle strategie urbane adottate.

Gli attuali modelli previsionali a scala regionale/europea infatti, come il modello ENSEMBLE di CAMS messo a disposizione dall'ECMWF, a causa della minor risoluzione spaziale e della mancanza di informazioni locali, non riescono a riprodurre gli eventi di picco soprattutto legati ad episodi di accumulo invernale che si verificano in ambito urbano. La risoluzione spaziale a livello stradale e la parte relativa alla valutazione delle politiche sul traffico di UTAQ, sono i due valori aggiunti di tale strumento rispetto alle previsioni a scala europea e quelle su scala nazionale e regionale.

La prima valutazione delle prestazioni, effettuata per l'inquinante PM10, è incoraggiante e stimola lo sviluppo di miglioramenti sullo strumento modellistico, oltre che sull'applicazione Web e Mobile.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Degraeuwe B., Peduzzi E., Pisoni E., Thunis P. (2018) SHERPA and SHERPA-city: screening tools for air quality modelling in Europe. The European Commission's science and knowledge service (JRC). Presentazione disponibile su: https://www.feem.it/m/events_pages/2018-04-12-pisoni.pdf
- EC/2008/50. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (No. 152 Official Journal).
- EC/C-573/19. Ricorso C-573/19 del 26 luglio 2019 alla Corte di Giustizia dell'Unione Europea presentato dalla Commissione Europea contro la Repubblica Italiana.
- EEA. (2018) Air quality in Europe 2018 report. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- ECMWF (2012): ERA-Interim Project, Single Parameter 6-Hourly Surface Analysis and Surface Forecast Time Series. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. Dataset. <https://doi.org/10.5065/D64747WN>.
- Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z. (2012). COPERT IV: Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport. User Manual (Version 9.0). Disponibile su: <http://www.emisia.com>
- Harrison R.M. (2018). Urban atmospheric chemistry: a very special case for study. *Climate and Atmospheric Science*. 10.1038/s41612-017-0010-8.
- Inness A., Ades M., Agustí-Panareda A., Barré J., Benedictow A., Blechschmidt A., Dominguez J. J., Engelen R., Eskes H., Flemming J., Huijnen V., Jones L., Kipling Z., Massart S., Parrington M., Peuch V., Razinger M., Remy S., Schulz M., Suttie M. (2019) The CAMS reanalysis of atmospheric composition. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Volume 19, Pages 3515-3556.
- IP/18/3450. Qualità dell'aria: la Commissione interviene per proteggere i cittadini dall'inquinamento atmosferico. Comunicato stampa disponibile su: https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_it.htm
- ISPRA (2019) Gli indicatori del clima in Italia nel 2018. Anno XIV. Rapporto ISPRA. Stato dell'ambiente 88/2019.
- Jedlička K., Ježek J., Kolovský F. et al. (2016) Open Transport Map: Open Harmonized Dataset or Road Network. International Symposium on Computer-Assisted Cartography. AutoCarto 2016.
- Kiesewetter G., Borken-Kleefeld J., Schöpp W., Heyes C., Bertok I., Thunis P., Bessagnet B., Terrenoire E., Amann M. (2013) Modelling compliance with NO2 and PM10 air quality limit values in the GAINS model. TSAP Report #9, IIASA, Laxenburg.
- Lefebvre W., Van Poppel M., Maiheu B., Janssen S., Dons E. (2013) Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain. *Atmospheric Environment*. Volume 77, 2013. Pages 325-337.
- Leutbecher M., Palmer T.N. (2007) Ensemble forecasting. ECMWF. Technical Memorandum 514.
- Maffei G. (1999) Prediction of carbon monoxide acute air pollution episodes. Model formulation and first application in Lombardy. *Atmospheric Environment*, Volume 33, Issue 23. 1999. Pages 3859-3872.
- OmniTRANS (2015). OmniTRANS (2015) the traffic engineering software, information. Disponibile su: <http://www.omnitrans-international.com/>
- Papadimitriou G., Ntziachristos L., Wüthrich P., Notter B., Keller M., Fridell E., Winnes H., Styhre L., Sjödin A. (2013). TRACCS. Final report. Transport data collection supporting the quantitative analysis of measures relating to transport and climate change (TRACCS). EMISIA SA Report No: 13.RE.025.V1 Disponibile su: <https://traccs.emisia.com/index.php>
- Thiel, C., Drossinos, Y., Krause, J., Harrison, G., Gkatzoflias, D., Donati, A. V. (2016). Modelling electro-mobility: An integrated modelling platform for assessing European policies. *Transportation Research Procedia*, 14, 2544-2553. Transport Research Arena TRA2016.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano: Bart Degraeuwe e Enrico Pisoni del JRC di ISPRA per le discussioni scientifiche sulla metodologia e il calcolo dei kernel; Angeliki Tsapatsari e Johannes Flemming dell'ECMWF per i preziosi suggerimenti nell'utilizzo degli strumenti CAMS e nei miglioramenti all'interfaccia grafica di UTAQ; Simone Paleari e tutto lo staff dell'agenzia INNOVA21 per la facilitazione nelle discussioni con gli stakeholder e i preziosi commenti nell'individuare il valore aggiunto per le amministrazioni comunali di uno strumenti come UTAQ.

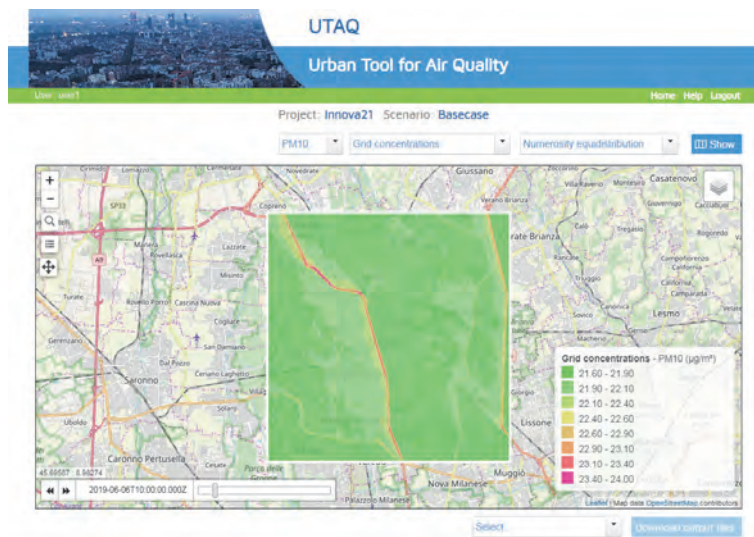


Figura 9 – Mappa di concentrazione di PM10 (applicazione web UTAQ)



Figura 10 – Modulo per la definizione di nuovi scenari per l'utente decisore (applicazione web UTAQ)

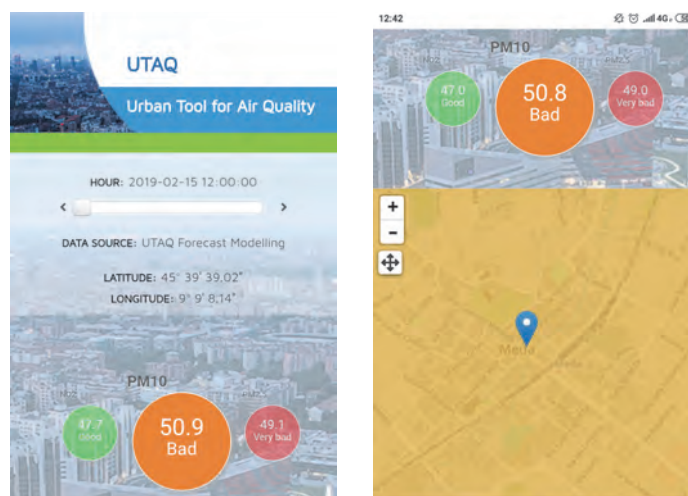


Figura 11 – Visualizzazione dell'applicazione mobile UTAQ



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2019 è sostenuta da:

