



Valutazione modellistica dello stato della qualità dell'aria nel comune di Barletta

Anno 2021

ARPA Puglia
Centro Regionale Aria

Rev.	Redazione	Verifica	Data
0	Ing. Ilenia Schipa	Dott.ssa Angela Morabito	22/11/2022



INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. Normativa di riferimento	
1.2. La rete di monitoraggio della qualità dell'aria	
1.3. Il sistema modellistico per la valutazione della qualità dell'aria di ARPA Puglia	
1.3.1. Input emissivo	
1.3.2. Condizioni al contorno	
1.3.3. Validazione dei risultati e integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico	
2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE	16
3. LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	21
3.1. PM ₁₀	
3.2. PM _{2,5}	
3.3. BIOSSIDO DI AZOTO (NO ₂)	
3.4. OZONO (O ₃)	
3.5. BENZENE (C ₆ H ₆)	
3.6. MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)	
3.7. BIOSSIDO DI ZOLFO (SO ₂)	
3.8. Benzo(a)Pirene nel PM ₁₀	
3.9. Metalli nel PM ₁₀	
4. CONCLUSIONI	38



1. PREMESSA

La presente relazione riporta gli esiti della simulazione modellistica svolta, come previsto dalla Convenzione sottoscritta con il Comune di Barletta in data 29/06/2022 (Delibera di presa d'atto DG N. 426/2022), relativamente all'anno 2021 al fine di valutare secondo gli indicatori prescritti dal D.Lgs. N.155/2010 lo stato della qualità dell'aria sull'intero comune di Barletta ad una risoluzione spaziale pari ad 1kmx1km.

La simulazione è stata condotta con il sistema modellistico per la previsione e valutazione dello stato della qualità dell'aria di ARPA Puglia, incentrato sul codice euleriano di tipo fotochimico FARM.

Come indicato nella Appendice III del D.Lgs. N.155/2010, i modelli di chimica e trasporto di tipo euleriano rappresentano gli strumenti più idonei a trattare il contesto pugliese, caratterizzato da una elevata complessità meteorologica ed emissiva. Il sistema di ARPA Puglia è attualmente installato ed implementato sul datacenter di calcolo ReCaS, realizzato dall'Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), che garantisce le caratteristiche computazionali (potenza di calcolo, storage e parallelizzazione dei run) necessarie all'esecuzione in tempi ragionevoli delle catene modellistiche meteorologiche e di qualità dell'aria. Tale sistema è stato messo a punto nel triennio 2015-2017 ed è utilizzato correntemente per lo svolgimento delle attività ordinarie¹ previste dal D.Lgs. N.155/2010.

La simulazione modellistica è stata condotta su un sistema di due griglie, tra loro innestate, che comprendono rispettivamente l'intera Regione Puglia, ad una risoluzione spaziale pari a 4km, e le province di Bari, Barletta Andria e Trani ad una risoluzione di 1km.

Si precisa, inoltre, che i campi di concentrazione, ricostruiti sul territorio di Barletta con il modello fotochimico, sono stati combinati/integrati con le misure fornite dalle postazioni di monitoraggio fisse e mobili, disponibili sullo stesso territorio comunale, la cui copertura dati su base annuale non sia risultata inferiore al 75%. L'integrazione tra i dati modellati e misurati, raccomandata dal D.Lgs. N.155/2010, consente di ottenere una migliore e più realistica rappresentazione dello stato della qualità dell'aria sul territorio sia in termini di entità dei livelli di concentrazione che di distribuzione spaziale. Il risultato di tale integrazione verrà indicato nella relazione anche con il termine di "analisi" dello stato della qualità dell'aria.

Dopo una sezione introduttiva, dedicata all'inquadramento normativo del monitoraggio della qualità dell'aria e all'illustrazione del sistema modellistico utilizzato, vengono analizzate le condizioni meteorologiche

¹ Sul sito <http://arpa.puglia.it/web/guest/modellistica> sono disponibili le relazioni che riportano i risultati delle valutazioni modellistiche dello stato della qualità dell'aria sulla regione Puglia condotte negli anni passati. All'indirizzo <http://cloud.arpa.puglia.it/previsioniqualitadellaria/index.html> sono inoltre disponibili giornalmente le previsioni a +72 ore, prodotte dallo stesso sistema, dello stato della qualità dell'aria (sia sull'intera regione che sull'area di Taranto con un migliore dettaglio spaziale) e la ricostruzione (soprannominata "analisi") dello stato della qualità dell'aria relativa al giorno precedente (ieri), ottenuta mediante assimilazione dei dati misurati.

osservate nel corso del 2021, con particolare riferimento alle variabili (vento, temperatura, radiazione solare e precipitazione) che influenzano la dispersione, l'abbattimento delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e la formazione di inquinanti secondari. Per valutare la conformità dello stato della qualità dell'aria, ricostruita dalla integrazione degli output modellistici e delle misure ove disponibili, i campi di concentrazione simulati vengono successivamente elaborati per ottenere gli indicatori prescritti dal D.Lgs. N.155/2010, così da confrontarli con i corrispondenti valori limite previsti per la protezione della salute umana.

Nella relazione è, inoltre, riportata una scheda relativa gli esiti della valutazione dell'affidabilità² della simulazione modellistica "tal quale" (ossia senza alcuna assimilazione di misure di qualità dell'aria), ottenuta con l'ausilio dell'applicativo statistico DELTA TOOL, che consente di valutare il grado di affidabilità delle stime modellistiche attraverso il confronto tra i risultati della sola simulazione e le corrispondenti misure fornite dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

1.1 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento per il monitoraggio della qualità dell'aria è il D.Lgs. N.155/2010 di "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", entrato in vigore il 13 agosto 2010 e modificato dal D. Lgs. N. 250 del 24 dicembre 2012.

Oltre alla definizione di zonizzazione (art. 3) e classificazione (art. 4) del territorio, il Decreto definisce le tecniche ed i criteri per la valutazione della qualità dell'aria ambiente (art. 5). Le prime comprendono le misurazioni in siti fissi, le tecniche di valutazione modellistica e/o di stima obiettiva; i criteri sono invece definiti dai commi 2, 3 e 4 dello stesso articolo, che definiscono le situazioni in cui devono essere utilizzate obbligatoriamente le misure, le misure in combinazione con i modelli o solo le tecniche modellistiche. E' utile, inoltre, aggiungere che secondo la norma le tecniche di modellizzazione possono essere sempre utilizzate ad integrazione delle misure puntuali, fornite dalle reti di monitoraggio, poichè consentono di valutare la qualità dell'aria in zone del territorio dove non sono presenti siti di monitoraggio o dove alcuni inquinanti non sono rilevati.

Il Decreto, inoltre, definisce le modalità per la redazione di Piani e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei valori obiettivo (art. 9) di seguito riportati.

² Il controllo di qualità costituisce la prima delle raccomandazioni formulate dal Forum for Air Quality Modelling (FAIRMODE) nel documento "Recommendations for the revision of the ambient air quality directives (AAQDs) regarding modelling applications" – Anno 2022 nel quale si raccomanda l'utilizzo di obiettivi di qualità standardizzati (MQO) per valutare se un'applicazione modellistica è di qualità sufficiente per essere applicata nel contesto delle Direttive della qualità dell'aria.

Inquinante	Tipo di limite	Parametro statistico e periodo di mediazione	Valore
PM10 Particolato con diametro < 10 µm	Limite di 24h per la protezione della salute umana (da non superare più di 35 volte in 1 anno civile)	Media giornaliera	50 µg/m ³
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
PM 2.5 Particolato con diametro <2,5 µm	Limite annuale	Media annuale	25 µg/m ³
NO2 Biossido di azoto	Limite orario per la protezione della salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	Media oraria	200 µg/m ³
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	400 µg/m ³
O3 - Ozono	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero di 24 medie mobili su 8 ore	120 µg/m ³
	Soglia di informazione	Media oraria	180 µg/m ³
	Soglia di allarme	Media oraria	240 µg/m ³
	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40 calcolato su valori medi orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ * h
CO - Monossido di carbonio	Limite per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero di 24 medie mobili su 8 ore	10 mg/m ³
C6H6 - Benzene	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	5 µg/m ³
SO2 Biossido di zolfo	Limite orario per la protezione della salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	Media oraria	350 µg/m ³
	Limite di 24h per la protezione della salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	Media giornaliera	125 µg/m ³
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	500 µg/m ³
Pb - Piombo	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	0,5 µg/m ³
B(α)P - Benzo(α)pirene	Valore obiettivo	Media annuale	1,0 ng/m ³
Ni - Nichel	Valore obiettivo	Media annuale	20,0 ng/m ³
As - Arsenico	Valore obiettivo	Media annuale	6,0 ng/m ³
Cd - Cadmio	Valore obiettivo	Media annuale	5,0 ng/m ³

Il Decreto infine stabilisce tempi e modalità di informazione al pubblico (art. 18) e di trasmissione alle Autorità nazionali dei dati di qualità dell'aria (art. 19).

Il Decreto d'altro canto non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio delle tecniche modellistiche, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D.Lgs N.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piani di risanamento. Tale quesito, pertanto, è stato rivolto dalla Regione Puglia e successivamente inoltrato al MITE. Allo stato attuale si è in attesa del riscontro.

1.2 La rete di monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Barletta

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Barletta è costituita da:

- una stazione fissa, sita in via Casardi;
- due laboratori mobili, di proprietà del comune di Barletta, posizionati rispettivamente all'interno dell'area di parcheggio del Centro Commerciale IperCoop di Barletta e all'interno della scuola "Renato Moro" in via Dimiccoli. Quest'ultimo laboratorio mobile è stato attivo sino al 19 luglio 2021.



Figura 1: Siti di monitoraggio.

Tabella 1 – Inquinanti monitorati nei presidi di monitoraggio presenti a Barletta

	PM10	PM2.5	NOx	Benzene	Ozono	CO	SO2	H2S
Stazione fissa -via Casardi	X	X	X	X	X			
Mezzo Mobile Ipercoop	X	X	X		X	X	X	X
Mezzo mobile Scuola "Renato Moro"	X		X	X	X			X

1.3 Il sistema modellistico per la valutazione della qualità dell'aria di Arpa Puglia

ARPA Puglia si è dotata da alcuni anni di un sistema modellistico atto a simulare le concentrazioni di inquinanti gassosi e di particolato. Tale sistema è incentrato sul modello euleriano tridimensionale di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM³ (Flexible Air quality Regional Model) in grado, a partire dalle

³ Più precisamente è stata utilizzata la versione più recente del modello di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM (versione 4.7), che implementa versioni aggiornate del meccanismo chimico SAPRC99 e del modulo di aerosol Aero3. Tali versioni trattano la chimica dei quattro IPA: B[a]P, B[b]F, B[k]F, indeno[1,2,3-cd]pyrene (sia in fase gassosa che in

emissioni di inquinanti delle varie sorgenti presenti sul territorio (naturali ed antropiche) e dallo stato fisico dell'atmosfera (campi di vento, di temperatura, di umidità, di turbolenza, ecc.), di fornire i campi tridimensionali orari di concentrazione per diversi inquinanti. Tale modello implementa meccanismi chimici di varia complessità per il trattamento della fotochimica e del particolato, trattando la chimica in fase acquosa ed eterogenea, oltre ai processi di deposizione secca ed umida.

Nella figura 2 viene riportato lo schema del sistema modellistico, implementato sulla piattaforma computazionale ReCaS⁴.

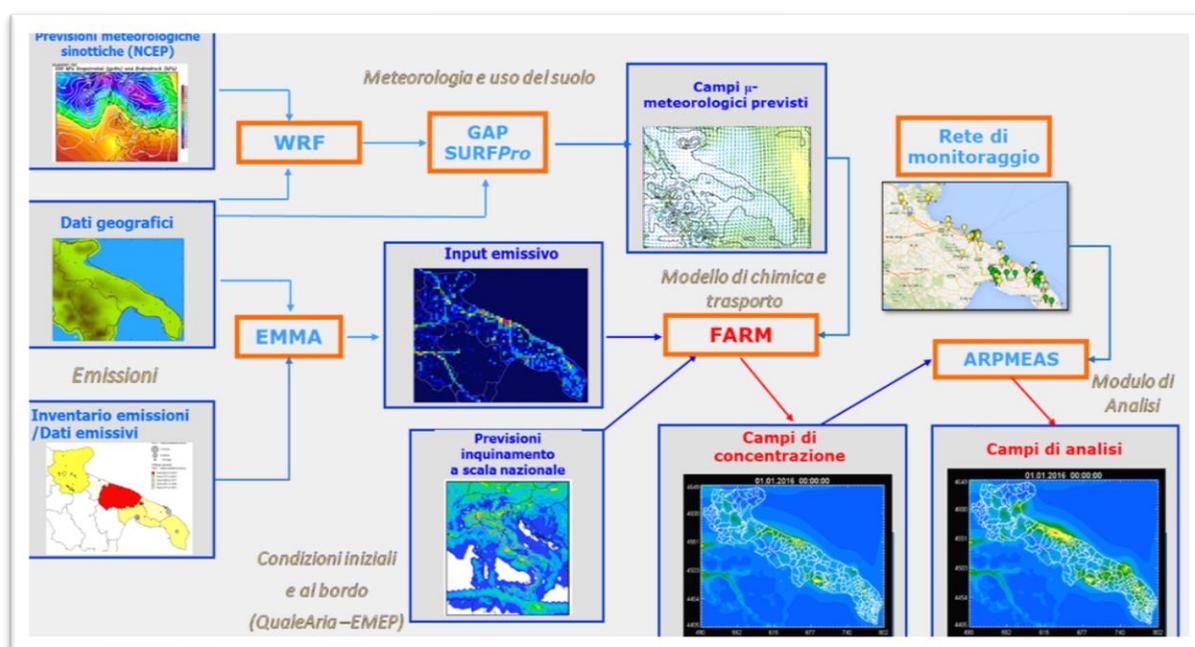


Figura 2: Sistema modellistico utilizzato per la Valutazione annuale della Qualità dell'aria.

Il sistema modellistico utilizza in ingresso molteplici *dataset* che vengono elaborati opportunamente dai pre-processor EMMA, GAP e SURFPRO in modo da produrre, sui domini di simulazione, tutti i dati necessari al modello chimico di qualità dell'aria FARM. In particolare, per lo svolgimento della simulazione relativa all'anno 2021, FARM è stato alimentato con:

- i campi meteorologici di analisi, elaborati per il 2021 dal Servizio Agenti Fisici di ARPA Puglia (www.arpa.puglia.it/web/guest/servizio_meteo) e prodotti con il modello meteorologico prognostico WRF (Weather Research and Forecasting);

fase particellare – modi di Aitken e accumulazione) e del mercurio (elementare – Hg - e ossidato – HgO - in fase gassosa e particellare – modi di Aitken e accumulazione).

⁴ ReCaS comprende un cluster HPC (High Performance Computing) costituito da 6 server, ciascuno con 256 core. La simulazione è stata condotta su un solo nodo del quale sono stati utilizzati 64 core.

- gli inventari delle emissioni, INEMAR per la regione Puglia e ISPRA per le regioni limitrofe, opportunamente integrati ed aggiornati con le informazioni disponibili;
- le condizioni al contorno per il 2021, derivate dai sistemi modellistici previsionali operativi come QualeAria (per gli inquinanti in fase omogenea, gassosa e particellare, su base temporale tri-oraria). Per i metalli pesanti, le diossine e i furani sono state utilizzate le elaborazioni climatologiche prodotte dai modelli EMEP-MSCE.

Tale sistema è stato applicato simultaneamente su un dominio comprendente la regione Puglia (Figura 3 - Griglia 1) e su un dominio (Figura 3 - Griglia 2) comprendente le province di Bari e Barletta – Andria – Trani ed innestato sul precedente.

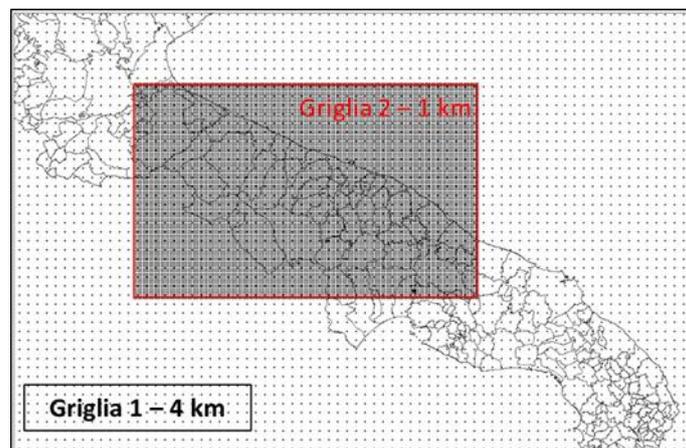


Figura 3 - Domini di calcolo del sistema modellistico

La discesa di scala è effettuata tramite la tecnica *two way nesting*, che consente di simulare le dinamiche di dispersione, trasporto e trasformazione degli inquinanti nel dominio a risoluzione migliore, tenendo conto sia degli effetti delle sorgenti emissive esterne e dei processi dominati dalle scale spaziali più grandi di quella urbana (come lo smog fotochimico), sia dei fenomeni locali di accumulo. Nella tabella successiva si riportano le caratteristiche spaziali dei due domini.

Tabella 2 - Caratteristiche spaziali dei domini di simulazione

Dominio	Denominazione	Estensione	Risoluzione spaziale
Griglia 1	Regione Puglia	316 x 248 km ²	4km x 4km
Griglia 2	Bari-BAT	152 x 96 km ²	1km x 1km

L'estensione verticale dei due domini è pari a 9050 m, con i seguenti 16 livelli di calcolo espressi in metri sopra l'orografia: 10, 35, 70, 120, 195, 305, 465, 695, 1025, 1505, 2200, 3205, 4550, 6050, 7550, 9050.

1.4.1 Input emissivo

L'input emissivo che ha alimentato la simulazione modellistica relativa al 2021 è sostanzialmente analogo a quello utilizzato per la valutazione modellistica condotta da ARPA Puglia per gli anni precedenti. Nello specifico il database emissivo utilizzato è stato realizzato partendo dall'inventario regionale INEMAR di ARPA Puglia su base comunale al 2010 e dall'inventario nazionale ISPRA su base provinciale al 2010. La base dati regionale è stata aggiornata al 2013 secondo i trend nazionali estrapolati dai dati annuali ISPRA⁵ per i settori della combustione non industriale (riscaldamento civile e commerciale-istituzionale, macrosettore 2), del trasporto su strada (macrosettore 7) e rispetto ai principali insediamenti industriali, per i quali i dati di partenza sono quelli utilizzati nelle VDS condotte ai sensi della L.R. 21/2012 per gli impianti indicati dal Regolamento Regionale n. 24 del 3 ottobre 2012.

Rispetto all'input emissivo utilizzato nelle valutazioni precedenti, il database regionale considerato nella presente valutazione è stato aggiornato per le sole emissioni (eoliche e da movimentazione), prodotte dai parchi a servizio di Acciaierie d'Italia nella configurazione al 31/12/2019.

Per una descrizione dettagliata dell'input emissivo si rimanda, quindi, alla relazione "Valutazione modellistica della Qualità dell'Aria nella regione Puglia con focus sul Salento - Anno 2016", pubblicata sul sito di ARPA al link <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>.

1.4.2 Condizioni al contorno

Lo stato della qualità dell'aria può essere influenzato anche dagli inquinanti prodotti da sorgenti esterne al dominio di simulazione o da processi dominati da scale spaziali più ampie di quella urbana (come lo smog fotochimico). Questi effetti possono essere opportunamente considerati attraverso le cosiddette "condizioni al contorno", che rappresentano dei campi in concentrazione generalmente determinati da un sistema modellistico di previsione della qualità dell'aria a scala nazionale.

Per stimare il flusso di inquinanti, che entra nel dominio regionale a risoluzione 4km, a ogni ora di simulazione per tutti i livelli, compreso il *top*, devono essere, quindi, fornite al modello FARM le condizioni al contorno, che sono costruite a partire dall'output di un altro modello fotochimico, che opera su una scala spaziale più vasta e con risoluzione peggiore. A tal fine sono stati utilizzati i campi tridimensionali prodotti dai sistemi modellistici QualeAria, che opera a livello nazionale, per gli inquinanti in fase omogenea gassosa e particellare (Figura 4), ed EMEP-MSCE per metalli pesanti, diossine e furani. I primi sono riferiti all'anno 2021 e sono disponibili su base temporale trioraria⁶; i secondi sono di tipo climatologico (giorno tipo mensile su base

⁵ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni>

⁶ Tali campi sono successivamente interpolati su base oraria nel corso della simulazione.

temporale trioraria) e sono stati pertanto opportunamente interpolati nel tempo al fine di produrre campi giornalieri per ciascun giorno dell'anno in esame.

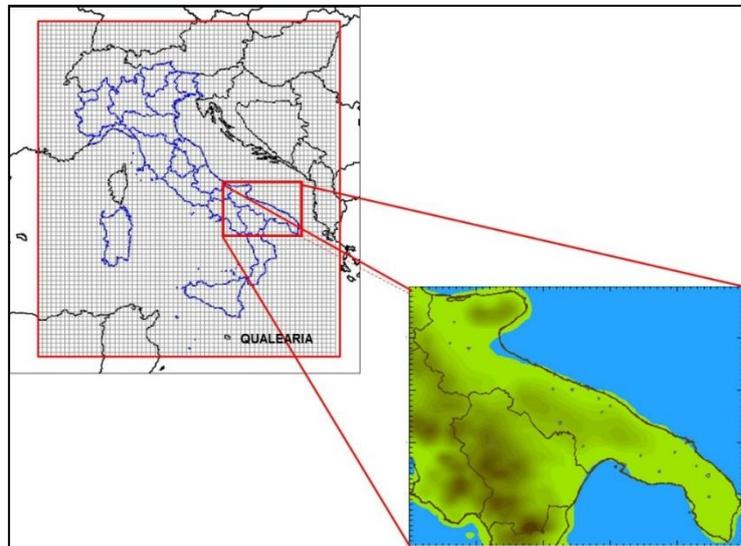


Figura 4: Schematizzazione della griglia di calcolo utilizzata dal sistema modellistico Quale Aria e dalla griglia di FARM.

1.4.3 Validazione dei risultati e Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico

Per garantire un uso corretto e adeguato dei modelli, l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e il Centro di ricerca della Commissione europea (JRC) hanno costituito il gruppo di lavoro FAIRMODE con lo scopo di identificare e promuovere l'utilizzo di buone pratiche nelle attività di modellizzazione della qualità dell'aria. Per la valutazione dello stato della qualità tramite i modelli, il FAIRMODE raccomanda l'utilizzo di obiettivi di qualità standardizzati, da utilizzare per valutare la qualità di una data applicazione modellistica condotta nell'ambito delle direttive europee sulla qualità dell'aria. A tal fine il FAIRMODE promuove l'utilizzo del DELTA TOOL, un software *free* di analisi statistica realizzato per valutare la performance del modello in applicazioni specifiche condotte proprio ai sensi del D.Lgs N.155/2010. Tale software, ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica e dalle ARPA, si basa sul confronto statistico tra dati modellati e misurati dalle postazioni di monitoraggio della qualità dell'aria e offre una rapida valutazione delle prestazioni del modello in termini di vari indicatori e diagrammi statistici. Il DELTA TOOL tratta gli inquinanti PM₁₀, NO₂, O₃ e PM_{2.5}.

Nella scheda di approfondimento successiva si riporta la sintesi degli esiti della valutazione della performance della simulazione modellistica "tal quale" condotta per il 2021 e valutata con l'applicativo DELTA TOOL.

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE DEL SISTEMA MODELLISTICO

A cura di Annalisa Tanzarella e Ilenia Schipa - Ufficio di Modellistica - CRA

Il DELTA TOOL definisce un criterio di performance del modello (MQO) quale livello minimo di qualità che deve essere raggiunto dal modello per *policy use*. Questo criterio è definito sulla base dell'incertezza delle misure. Partendo dall'assunzione che il modello ha una buona performance quando ha un grado di incertezza confrontabile con quello delle corrispondenti misure, l'obiettivo di qualità del modello è raggiunto se l'indicatore di qualità del modello (MQI) risulta ≤ 1 per almeno il 90% delle stazioni disponibili. L'MQO è quindi espresso come $MQI_{90\% \text{ perc}} \leq 1$.

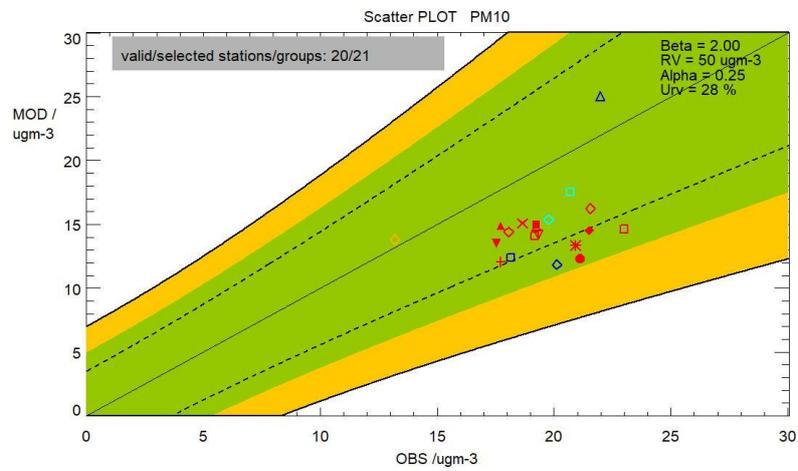
Tale criterio di performance è attivato per O₃ (relativamente alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore), NO₂ (relativamente alla concentrazione oraria), PM₁₀ (relativamente alla concentrazione media giornaliera) e PM_{2.5} (relativamente alla concentrazione media giornaliera) sull'anno. Riguardo alle stazioni di monitoraggio, da considerare nel confronto, è importante osservare che nella stessa appendice del D.Lgs N.155/2010 si precisa l'opportunità di considerare solo le centraline aventi una rappresentatività confrontabile con la risoluzione spaziale adottata dal modello, poiché il modello non è in grado di riprodurre fenomeni che avvengono a scale inferiori alla risoluzione spaziale adottata. Si precisa, inoltre, che, affinché i dati di una centralina di monitoraggio siano utilizzati dal DELTA TOOL, è necessario che la centralina disponga di una percentuale di dati validi pari almeno al 75% del periodo temporale selezionato per il calcolo statistico. Quindi, la variabilità del numero di stazioni da considerare nel confronto per ogni inquinante è legata sia al raggiungimento della suddetta soglia di dati validi, che alla rappresentatività della centralina rispetto alla risoluzione spaziale adottata.

Si fa presente infine che, poiché il modello FARM non è in grado di ricostruire il contributo sul PM₁₀ prodotto dalle avvezioni desertiche, dal set di dati modellati e misurati presso le stazioni di monitoraggio sono stati eliminati i dati corrispondenti ai giorni in cui si sono verificati superamenti dovuti a tali intrusioni. Di seguito si riportano, quindi, i risultati del confronto in termini di scatter plot tra le concentrazioni modellate e misurate sul dominio di simulazione ad 1km in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio.

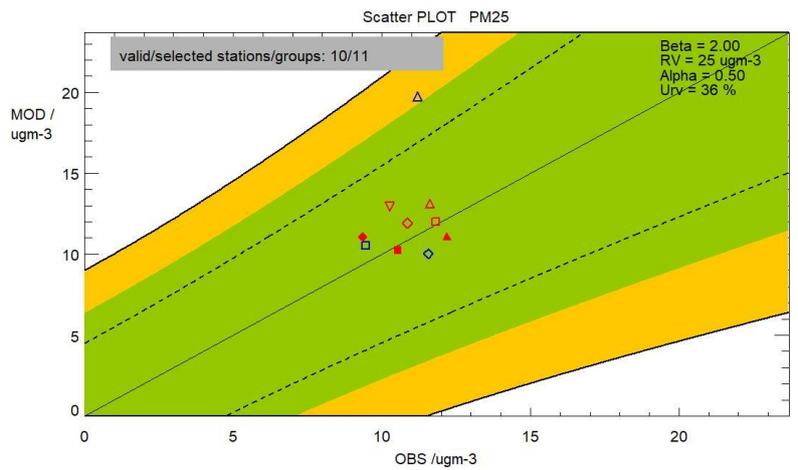
Per una più rapida interpretazione dei risultati, si precisa che:

- le centraline di qualità dell'aria sono distinte per provincia di appartenenza tramite colori diversi; nello specifico le centraline della provincia di Bari-BAT sono indicate col colore blu;
- quando il simbolo relativo ad una centralina rientra nelle aree colorate (arancione o verde) del grafico si verifica il soddisfacimento dell'indice di qualità del modello.

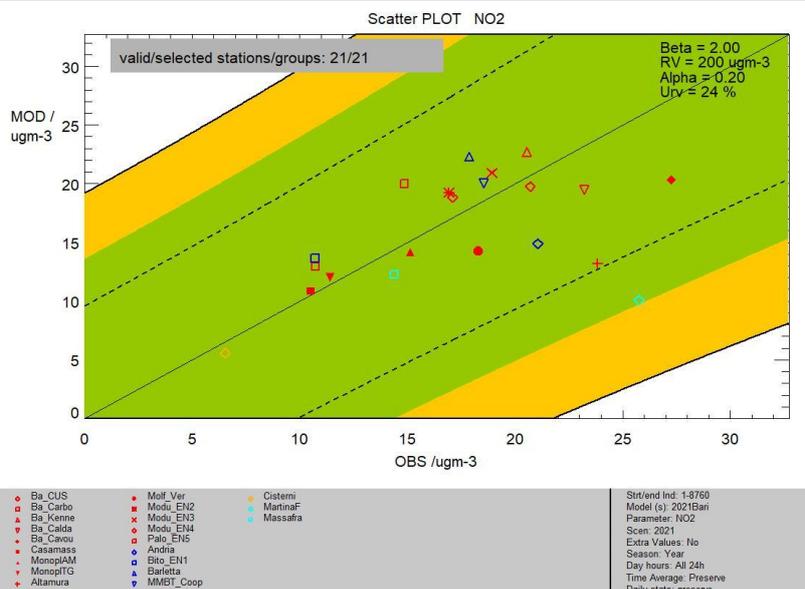
I grafici seguenti mostrano il soddisfacimento dell'obiettivo di qualità per tutte le specie indicate, essendo il valore dell'MQO (riportato nella didascalia del singolo scatter plot) sempre minore di 1.



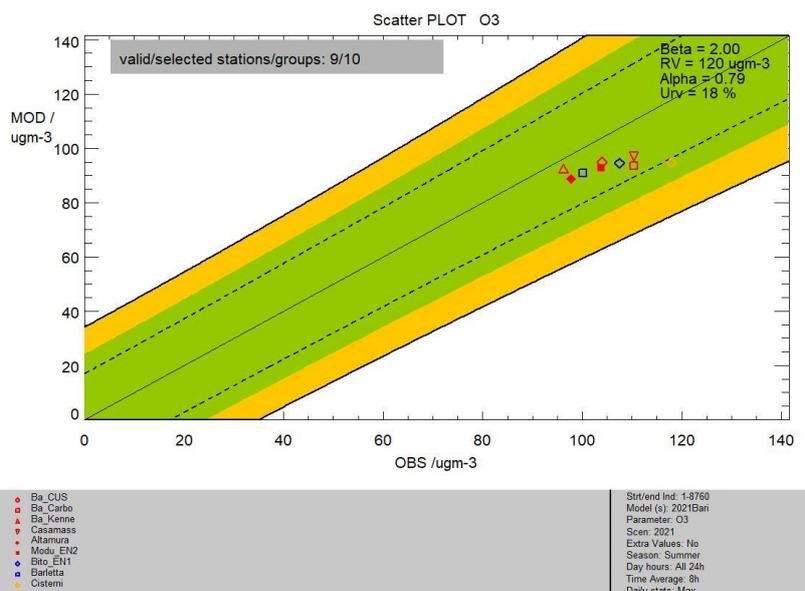
Scatter plot relativo al PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MQO=0.782.



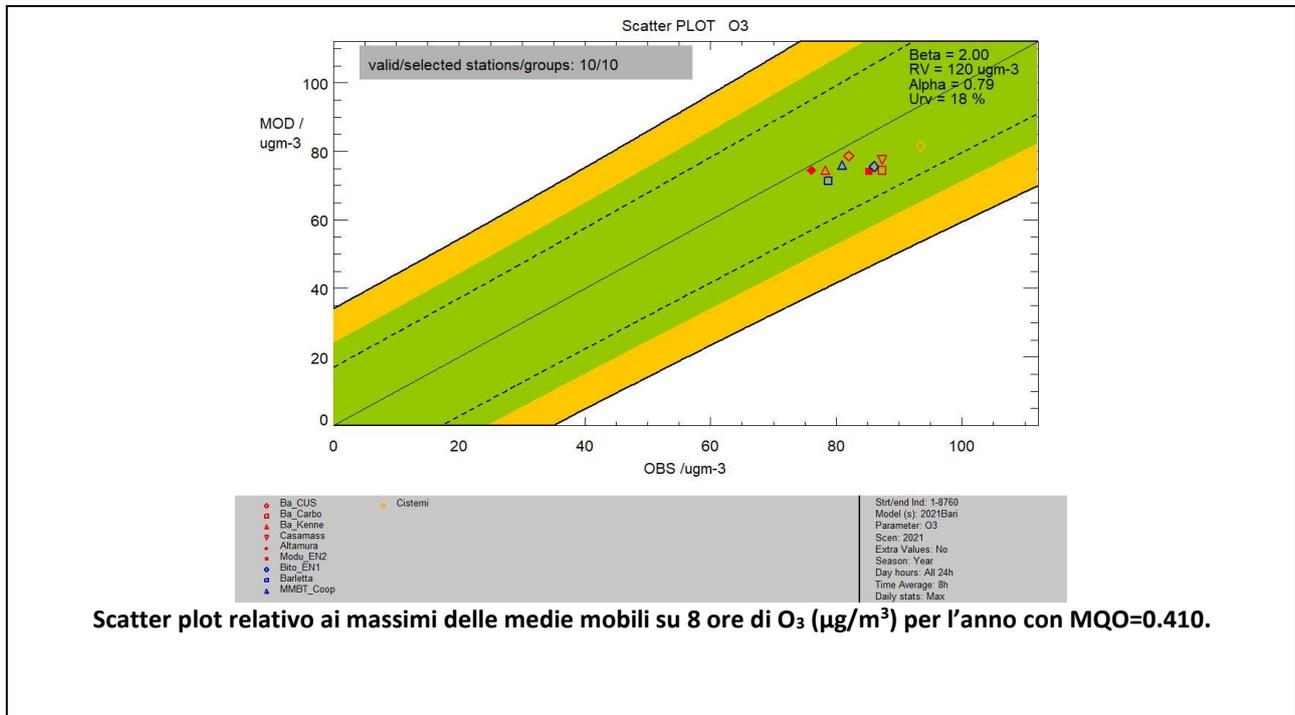
Scatter plot relativo al PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MQO=0.555.



Scatter plot relativo all'NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MQO=0.762.



Scatter plot relativo ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), per la sola stagione estiva (G-L-A) con MQO=0.480.



La valutazione statistica condotta con il DELTA TOOL ha evidenziato per gli inquinanti PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ e O₃ la capacità del solo modello di ricostruire adeguatamente a scala urbana le concentrazioni misurate sulle province Bari e BAT poiché il criterio di qualità risulta essere sempre soddisfatto. Ciononostante, al fine di migliorare la ricostruzione modellistica dei livelli di concentrazione e la relativa distribuzione spaziale, il D.Lgs. N.155/2010 prevede che le simulazioni modellistiche siano comunque combinate con i dati misurati. Tale integrazione, denominata assimilazione, rappresenta la modalità migliore per giungere ad una valutazione realistica dello stato di qualità dell'aria, valorizzando al massimo ogni tipo di misura o stima, ciascuno col proprio grado di precisione e di affidabilità.

Nelle tecniche di assimilazione il campo bidimensionale di concentrazione, prodotto dal modello chimico, rappresenta il campo di *background* con il quale viene inizializzata la procedura di interpolazione; tale campo viene successivamente modificato con l'introduzione delle osservazioni nella griglia del modello attraverso uno specifico schema di interpolazione.

Nel presente lavoro l'assimilazione dei dati misurati dalle stazioni di monitoraggio della rete, gestita da ARPA, nei campi di concentrazione al suolo prodotti dal modello FARM, è stata effettuata mediante l'utilizzo del modulo ARpMEAS (ARchive plus MEASurements), sviluppato da Arianet, che implementa metodi basati sia su tecniche cosiddette di "observational nudging" (Stauffer e Seaman, 1990) che di "objective analysis" (es. "Optimal Interpolation").

Nello specifico per questa valutazione è stato utilizzato lo schema ODA (Observational Data Assimilation); si tratta di un procedimento di analisi oggettiva mediante il quale il campo prodotto da un modello numerico, detto campo di background, viene modificato sommando ad esso i cosiddetti “analysis increments”. Il campo ottenuto viene detto campo di analisi. Tali incrementi vengono calcolati per ogni punto griglia, anche in regioni prive di dati, sulla base del contenuto delle osservazioni.

L’assimilazione ha coinvolto gli inquinanti NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO e C₆H₆, monitorati dalle reti di monitoraggio della qualità dell’aria gestite da ARPA nel territorio barese. In particolare, l’assimilazione è avvenuta su base oraria per le specie NO₂, SO₂, O₃, CO e C₆H₆, mentre per le specie PM₁₀ e PM_{2.5} è avvenuta su base giornaliera. Dal processo di assimilazione sono state escluse solo le misure di PM₁₀ e PM_{2.5} acquisite nei giorni in cui si sono registrati superamenti del valore limite per effetto delle avvezioni desertiche, dal momento che la normativa prevede lo scorporo di tali superamenti ai fini della valutazione della conformità dello stato della qualità dell’aria per il valore limite giornaliero prescritto per il PM₁₀.

Nella successiva Tabella 3 si indicano con il simbolo “x” le specie chimiche assimilate per ciascuna centralina.

Tabella 3 - Elenco delle stazioni di monitoraggio e delle specie assimilate.

Provincia	stazione	Tipo zona	tipo stazione	PM2.5	PM10	NO2	O3	CO	C6H6	SO2
BAT	Andria	Urbana	Traffico	X	X	X		X	X	
BAT	Via Casardi - C. Sportivo	Urbana	fondo	X	X	X	X			X
BAT	Biton_EN1	Suburbana	industriale	X	X	X	X	X		
BA	CUS	Suburbana	Traffico		X	X	X			
BA	Carbonara	Suburbana	Fondo		X	X				
BA	Piazza Kennedy	urbana	Fondo		X	X	X			
BA	Casamassima	Suburbana	Fondo	X	X	X	X			
BA	Monopoli	Suburbana	Traffico	X	X	X		X	X	
BA	Altamura	Suburbana	Fondo	X	X	X	X			
BA	Monopoli ItalGreen	Suburbana	Traffico	X	X	X			X	
BA	Caldarola	urbana	traffico	X	X	X		X	X	
BA	Corso Cavour	urbana	traffico	X	X	X		X	X	
BA	Modug_EN2	Suburbana	industriale	X	X	X	X	X		
BA	Modug_EN3	urbana	industriale		X	X		X		
BA	Modug_EN4	Suburbana	industriale		X	X		X		
BA	PaloC_EN5	Suburbana	industriale		X	X		X		
BT	MM_Coop-BT	Suburbana		X	X	X	X	X	X	X
TA	Martina Franca	Urbana	Traffico		X	X			X	
TA	Massafra (TA) Via Frappietri	Urbana	industriale		X	X			X	X
BR	Cisternino	Suburbana	Fondo		X	X	X			X

2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE

Nel presente paragrafo si riporta un’analisi delle condizioni meteorologiche che hanno interessato la provincia BAT nell’anno 2021. L’attenzione sarà dedicata ai parametri atmosferici vento, temperatura e precipitazione, che possono influenzare la dispersione e la rimozione degli inquinanti o determinare condizioni favorevoli alla formazione di inquinanti secondari.

A tale scopo sono stati elaborati i dati meteorologici acquisiti nel 2021 dalla stazione meteo più vicina. ARPA Puglia non dispone infatti di una postazione meteorologica a Barletta, sono stati pertanto considerati i dati

di una stazione meteorologica facente parte della rete in telemisura della Protezione Civile della Regione Puglia⁷, posizionata presso il comune di Andria.

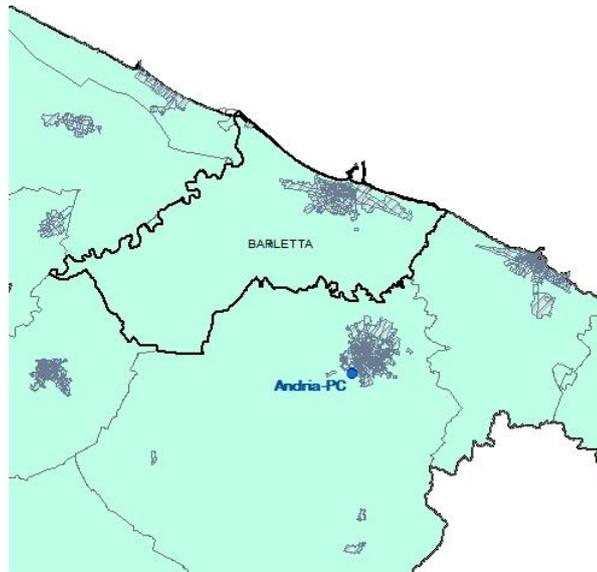


Figura 5: Localizzazione della centralina considerata di Andria, appartenente alla rete in telemisura della Protezione Civile della Regione Puglia, utilizzata per la caratterizzazione della situazione meteorologica su Barletta per l’anno 2021.

La stazione di Andria è posizionata a sud-ovest del relativo centro abitato, in una zona periferica dell’area comunale, ad una distanza di circa 11 km dalla costa e di circa 9 km dal centro abitato di Barletta. Di tale stazione sono stati utilizzati i dati di intensità e direzione del vento, i dati di precipitazione e quelli di temperatura. Nella Tabella 4 si specificano le caratteristiche della suddetta centralina. Nella Tabella 5, invece, si riportano per ciascun parametro le percentuali di validità dei dati misurati nel corso del 2021.

Tabella 4 - Caratteristiche della centralina meteorologica

STAZIONE	PROV.	COORDINATE WGS84-UTM33		ALTEZZA sensori <i>m</i>	PARAMETRI MISURATI
		<i>X_UTM (km)</i>	<i>Y_UTM (km)</i>		
ANDRIA (Protezione Civile)	BT	607,645	4563,759	30	velocità e direzione del vento (ogni 10 minuti), temperatura (ogni 30 minuti), precipitazione (ogni 30 minuti)

Tabella 5 - Percentuali di dati validi per la centralina di Andria

⁷ <http://93.57.89.4:8081/temporeale/meteo/stazioni?codstaz=33> I dati meteorologici della centralina di Andria, sono stati forniti dal Servizio Protezione Civile della Regione Puglia.

	2021			
	Temperatura	Precipitazione	Vel. vento	Dir. vento
ANDRIA	100%	100%	100%	100%

Intensità e direzione del vento

Le immagini seguenti mostrano la rosa dei venti annuale, calcolata a partire dai dati orari di intensità e direzione del vento misurati presso la stazione di Andria, e le rose dei venti stagionali per l'anno 2021.

Si nota una scarsa ventilazione dell'area in esame con una velocità media annuale pari a 1,2 m/s ed una percentuale di calme di vento pari al 21,7%. Sia dalla rosa annuale che da quelle stagionali si nota la presenza di due componenti prevalenti da Sud Ovest e da Sud.

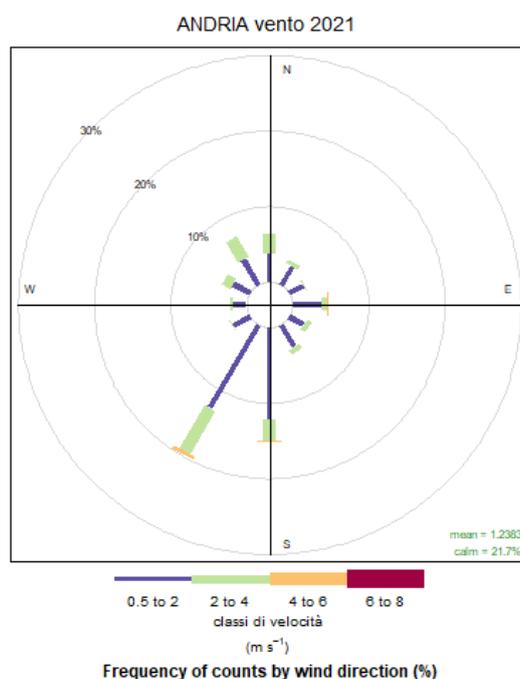


Figura 6: Rosa dei venti annuale relativa all'anno 2021 - stazione Andria.

Nella rosa dei venti corrispondente alla stagione estiva del 2021 si nota anche la presenza di una componente da nord-ovest che nelle altre stagioni risulta meno significativa. La stagione più ventilata è risultata la primavera con una intensità media del vento pari a 1,4 m/s ed una percentuale di calme di vento pari a 18,6%, mentre la stagione meno ventilata è risultata essere l'autunno con una intensità media del vento pari a 1,1 m/s ed una percentuale di calme di vento pari a 25,7%.

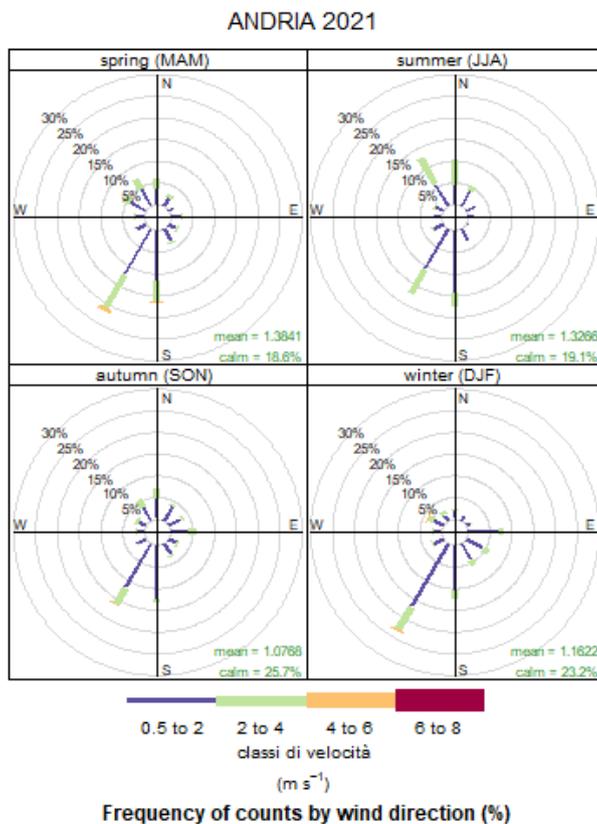


Figura 7: Rosa dei venti stagionale relativa all'anno 2021 – stazione Andria.

Temperatura

Nella figura seguente si mostra l'andamento delle temperature medie mensili misurate dalla stazione meteorologica di Andria per l'anno in esame.

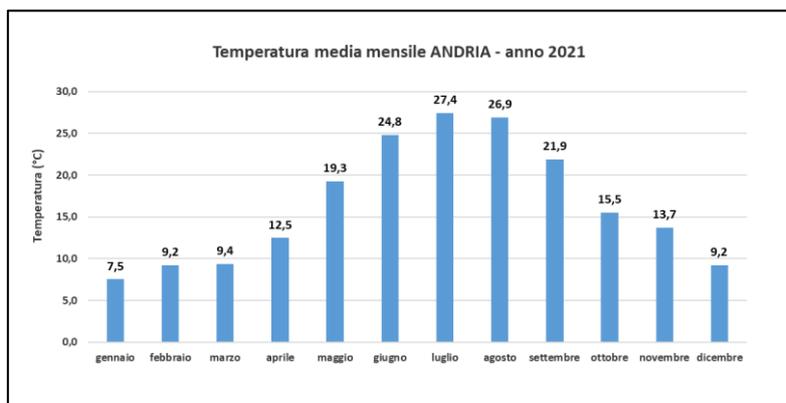


Figura 8: Temperature medie mensili relative al 2021.

Il mese più freddo è risultato gennaio (con un valore medio della temperatura pari a 7.5°C), seguito da febbraio, marzo e dicembre con valori comparabili fra loro e poco superiori a 9°C. Il mese più caldo è risultato luglio con una media pari a 27.4 °C.

Precipitazione

Nelle figure seguenti si mostrano, per la centralina considerata, le precipitazioni cumulate mensili e stagionali (Fig. 9) ed il numero di giorni piovosi⁸ per mese e per stagione (Fig. 10).

Si osserva che i mesi più piovosi nel 2021 sono risultati essere ottobre, novembre e gennaio. Il fatto che il numero di giorni piovosi ad ottobre (n.5) sia più basso che a novembre (n.14) e a gennaio (n.13) induce a pensare che gli eventi piovosi occorsi ad ottobre siano stati piuttosto intensi, mentre quelli di novembre e gennaio siano stati meno intensi (ovvero con una cumulata giornaliera più bassa), ma più frequenti.

I mesi caratterizzati da una minore piovosità, sia in termini di cumulata mensile che in termini di numero di giorni piovosi, sono stati maggio, giugno e settembre.

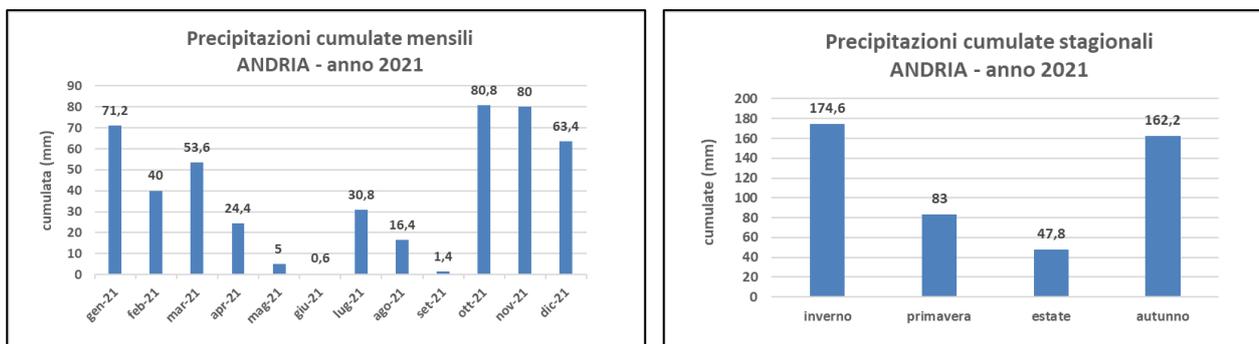


Figura 9: Precipitazioni cumulate mensili (a sinistra) e stagionali (a destra) relativi all'anno 2021.

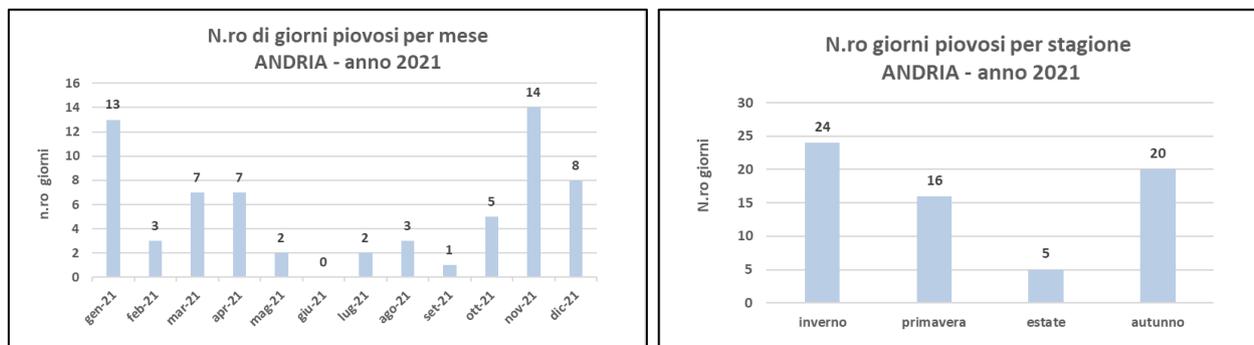


Figura 10: Numero di giorni piovosi per mese (a sinistra) e per stagione (a destra) relativi all'anno 2021.

⁸ Per giorno piovoso si intende un giorno in cui il pluviometro di riferimento ha misurato precipitazioni maggiori o uguali a 1.0 mm nell'arco delle 24 ore.

3 LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Al fine di stabilire la conformità dello stato della qualità dell'aria del territorio di Barletta rispetto ai valori limite previsti per la protezione della salute umana dal D.Lgs. N.155/2010, in questo paragrafo si mostrano, per gli inquinanti e gli indicatori statistici prescritti, le mappe ottenute dalla integrazione degli output modellistici e delle misure, ove disponibili. Pertanto, per ogni inquinante trattato e per ogni indicatore, verranno mostrate tre mappe:

- la mappa che riporta sull'intero territorio di Barletta, con un dettaglio di 1kmx1km, i valori spazializzati dell'indicatore statistico, interpolati a partire dai valori delle celle di calcolo;
- la mappa che riporta con analogo dettaglio i valori dell'indicatore nelle celle di calcolo dell'area urbana di Barletta;
- la mappa che riporta i valori interpolati sull'area urbana di Barletta.

3.1 PM₁₀

Il PM₁₀ è l'insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (10⁻⁶ m). Il PM₁₀ può penetrare nell'apparato respiratorio, generando impatti sanitari la cui gravità dipende, oltre che dalla quantità, dalla tipologia delle particelle: numerose sostanze chimiche, come gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i metalli (quali piombo, nichel, cadmio, arsenico, vanadio, cromo) possono aderire alla superficie delle polveri sottili e con esse essere veicolate all'interno dell'organismo della popolazione esposta. Il PM₁₀, in base all'origine, si distingue in primario, generato direttamente da una fonte emissiva (antropica o naturale), e secondario, derivante cioè da altri inquinanti presenti in atmosfera attraverso reazioni chimiche. Il D.Lgs N.155/2010 fissa due valori limite per il PM₁₀: la media annua di 40 µg/m³ e la media giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte nell'anno solare.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE D. Lgs N.155/2010
Anno civile	40 µg/m ³
1 giorno	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile

Nella figura successiva si mostra la mappa della concentrazione media annuale di PM₁₀ sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenuta integrando i dati modellati con le misure giornaliere disponibili. Il modello non stima alcun superamento per il limite annuale di concentrazione sul comune di Barletta. Il valore massimo si rileva in corrispondenza dell'area urbana del comune ed è pari a 32 µg/m³.

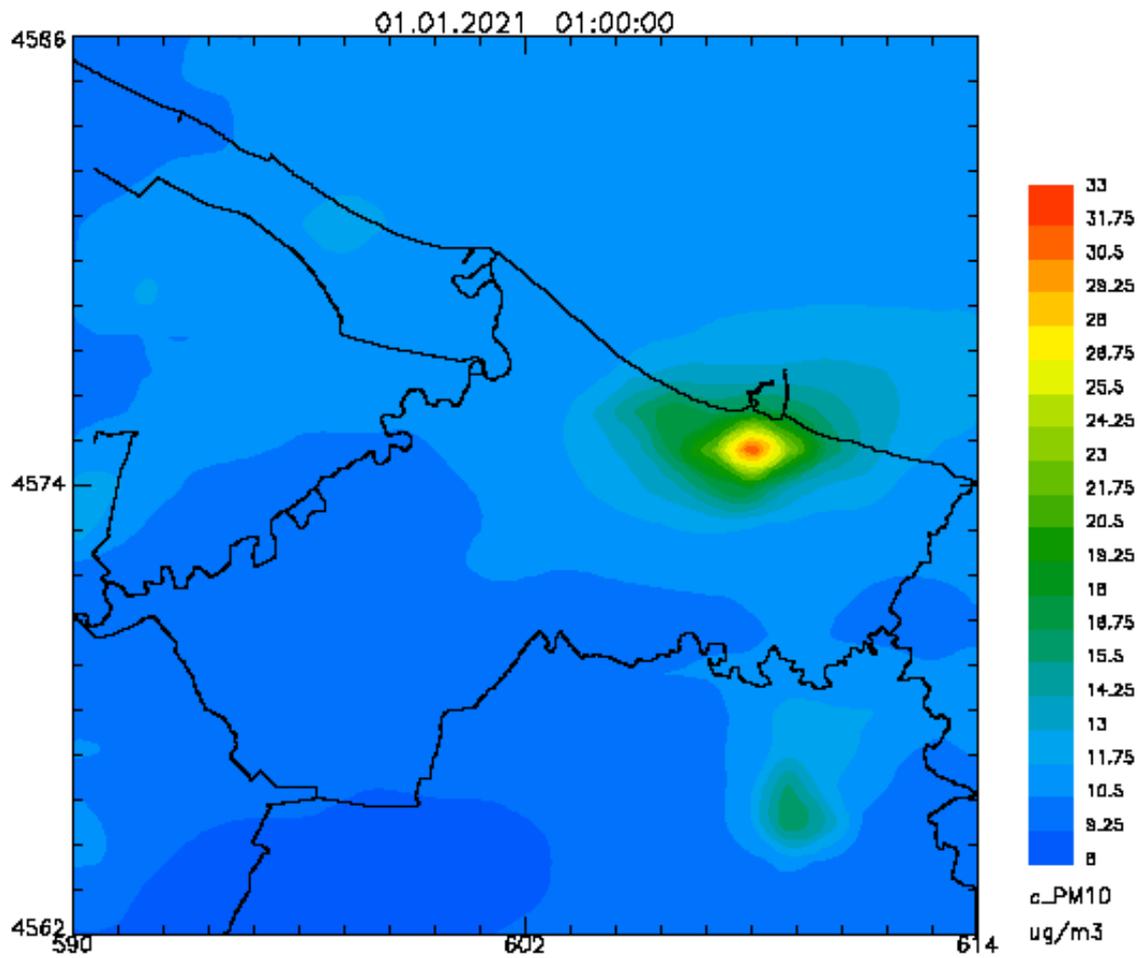
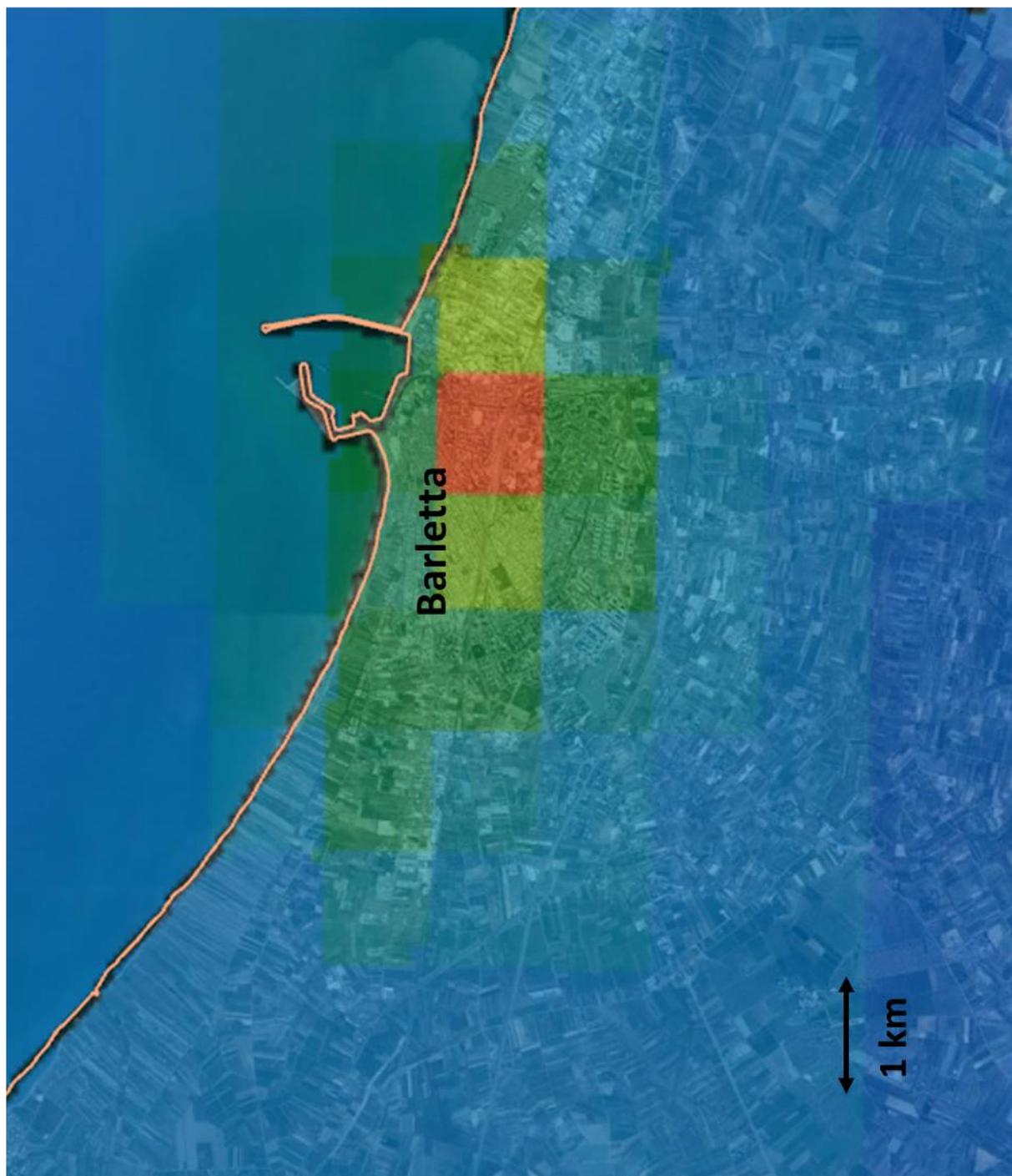
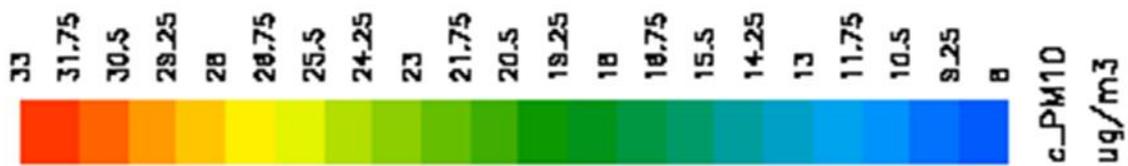
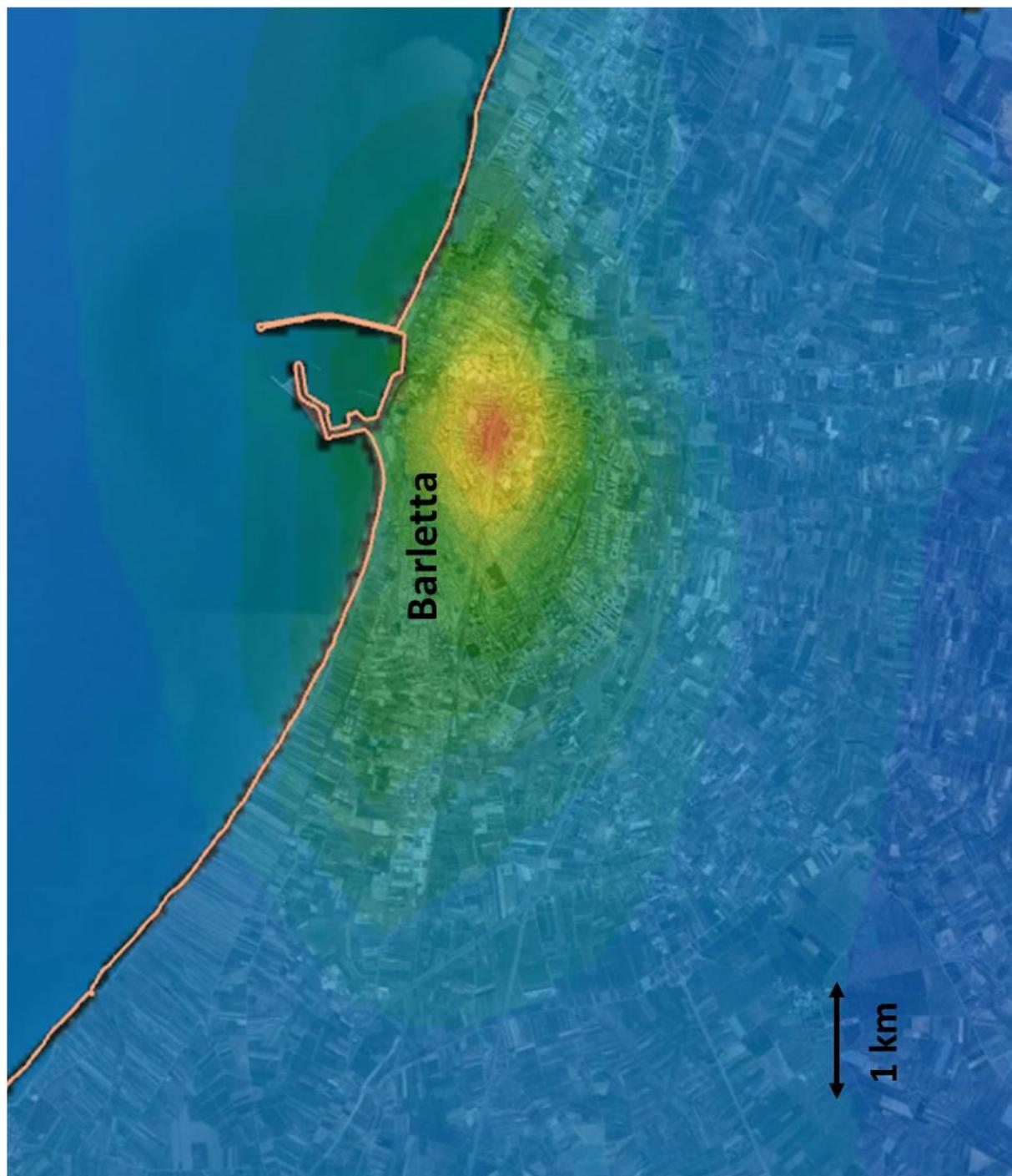


Figura 11: Mappa della concentrazione media annuale di PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), ottenuta tramite l'assimilazione.





Riguardo al valore limite giornaliero per il PM₁₀, da non superare per più di 35 volte all'anno, la mappa di analisi sul territorio di Barletta, relativa all'indicatore del 90.4° percentile⁹, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere (Figura 12), non mostra alcuna non conformità. Il valore più alto stimato presso il comune risulta infatti pari a 47 µg/m³, mentre il numero più elevato di superamenti del valore limite sulla media giornaliera è pari a 17 (Figura 13).

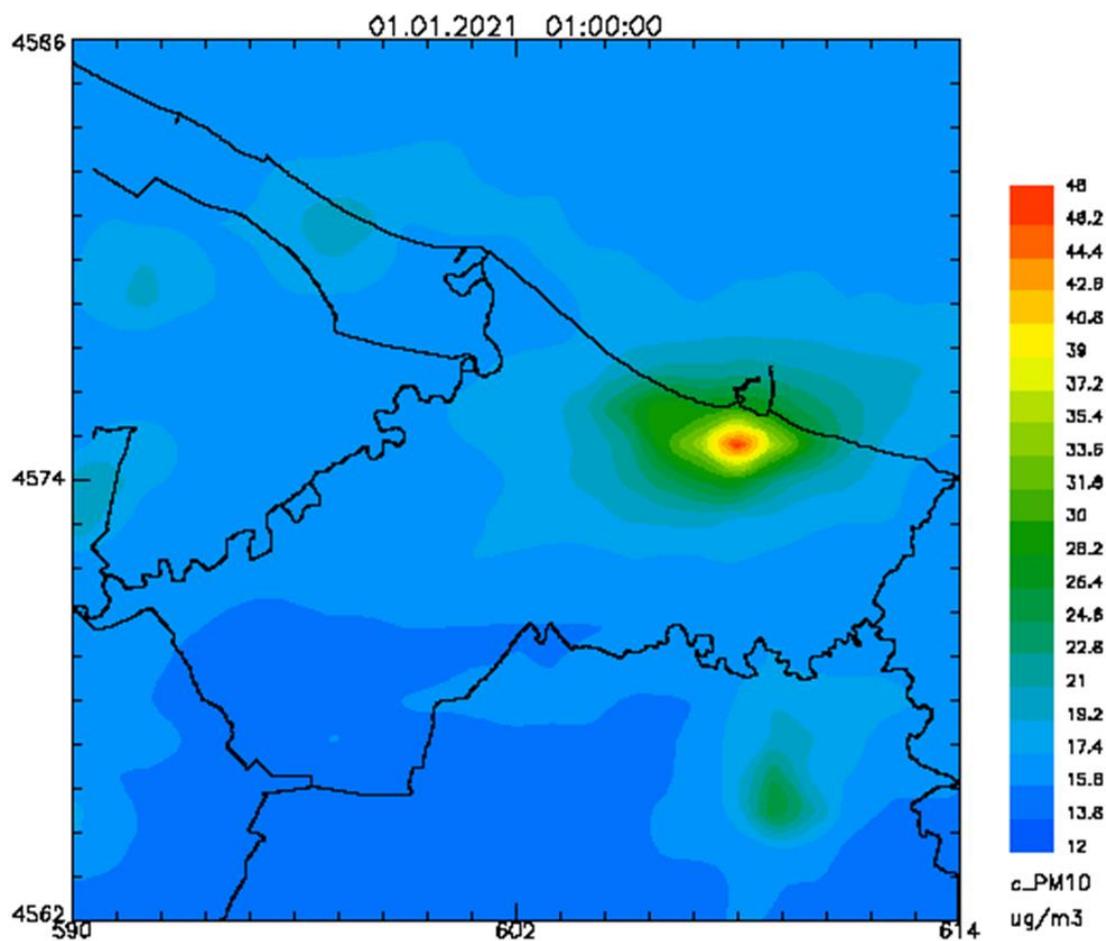
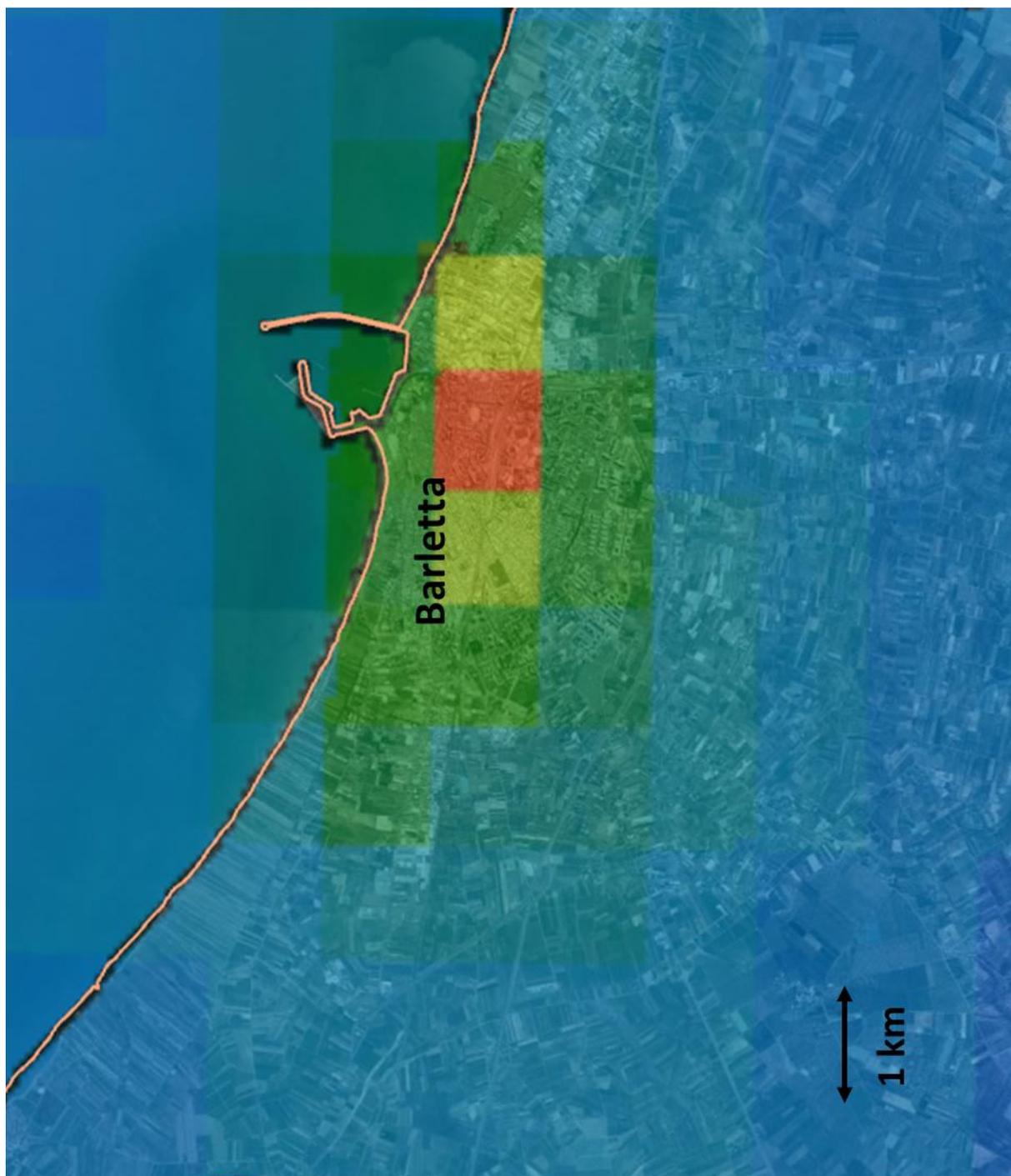
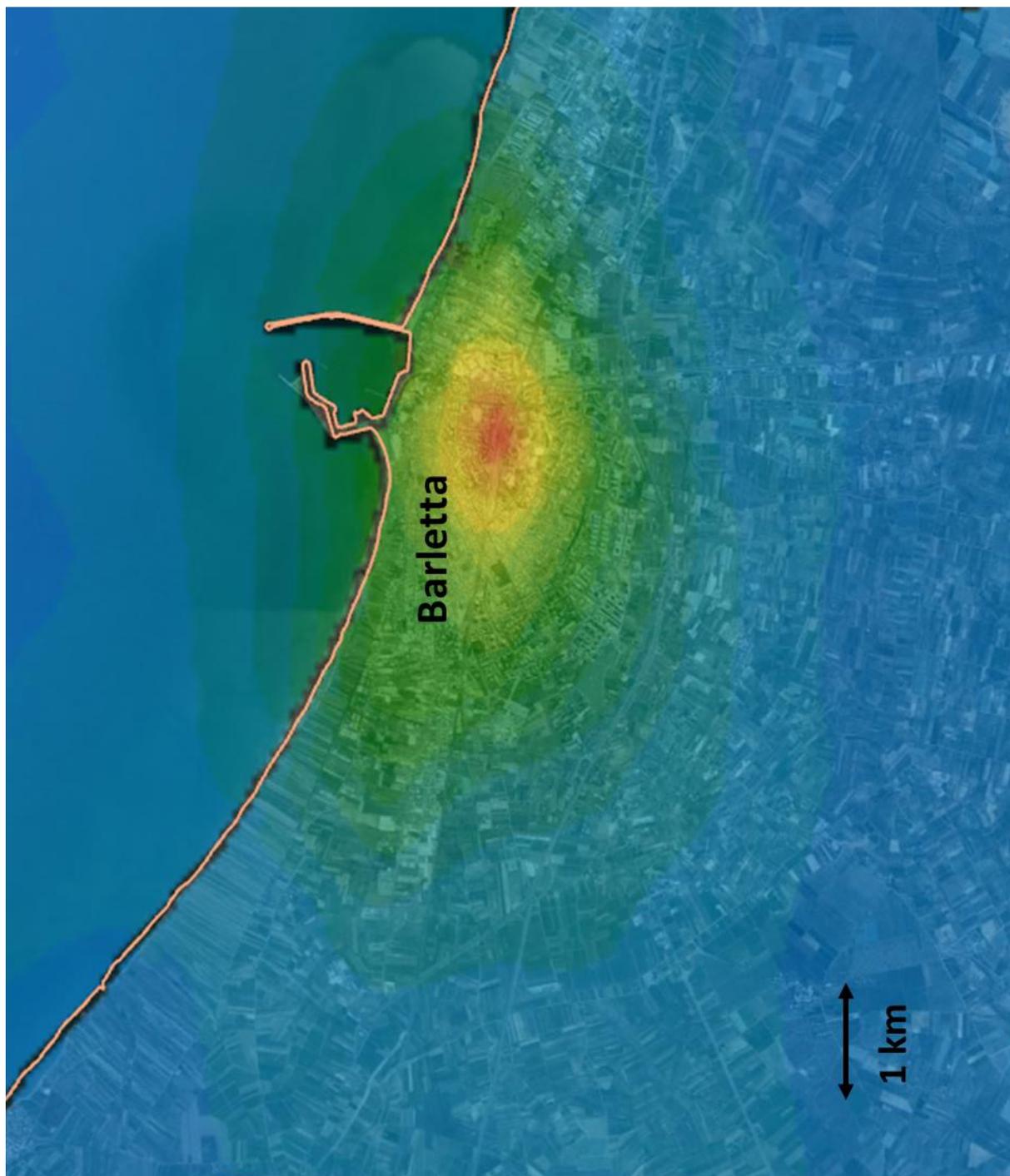


Figura 12: Mappa del 90.4° percentile di PM₁₀ (µg/m³), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, ottenuta tramite l'assimilazione.

⁹ I valori limite ed obiettivo, prescritti dal D.Lgs N.155/2010, possono essere espressi dal punto di vista statistico sia come numero massimo di superamenti che come percentili. Di seguito si riporta la tabella di associazione per tipologia di inquinante e media temporale:

Inquinante	Periodo temporale di mediazione	Numero massimo di superamenti	Percentile
SO ₂	giorno	3	99.2°
	ora	24	99.73°
NO ₂	ora	18	99.79°
PM ₁₀	giorno	35	90.4°
O ₃	giorno	25	93.2°





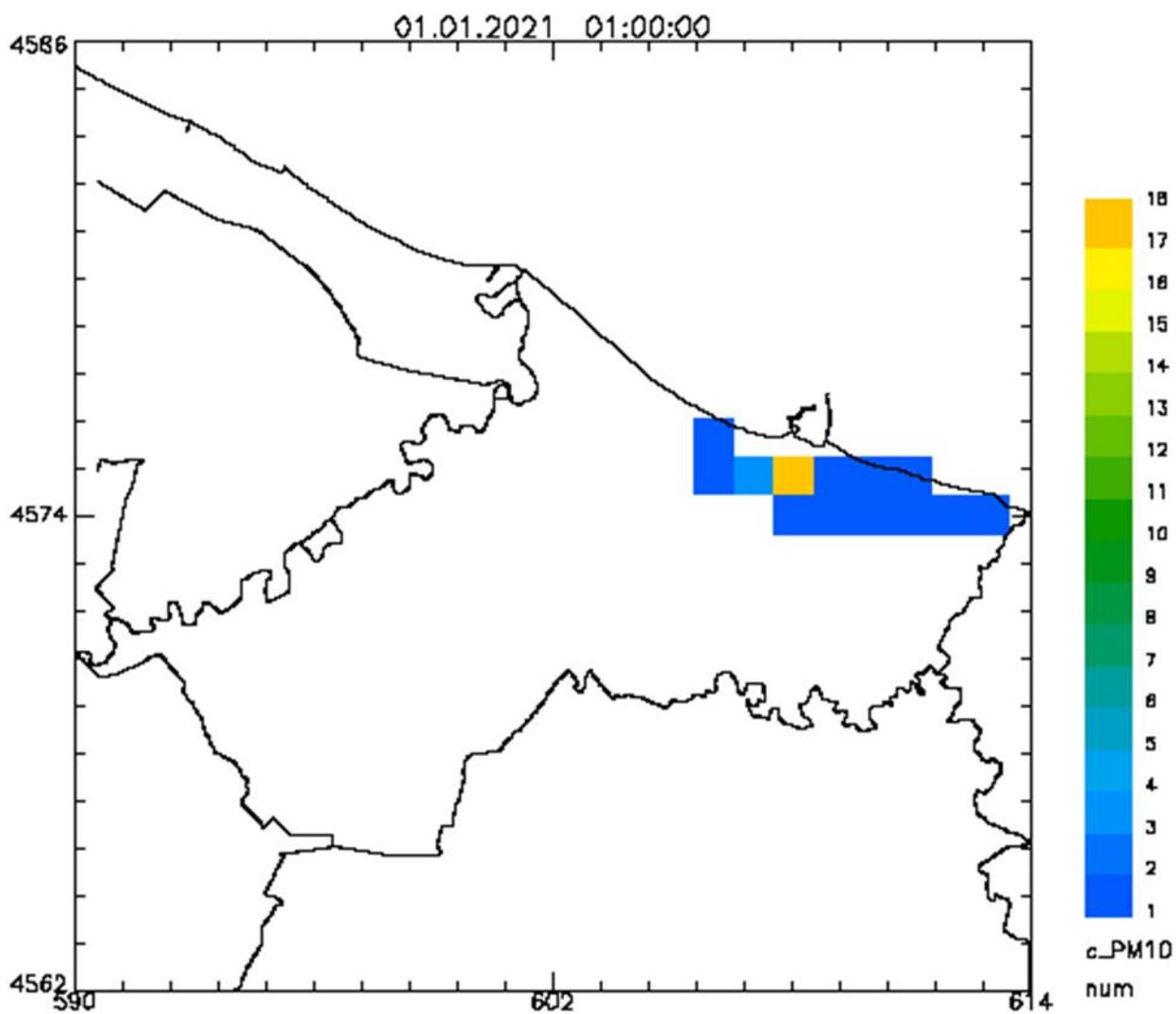
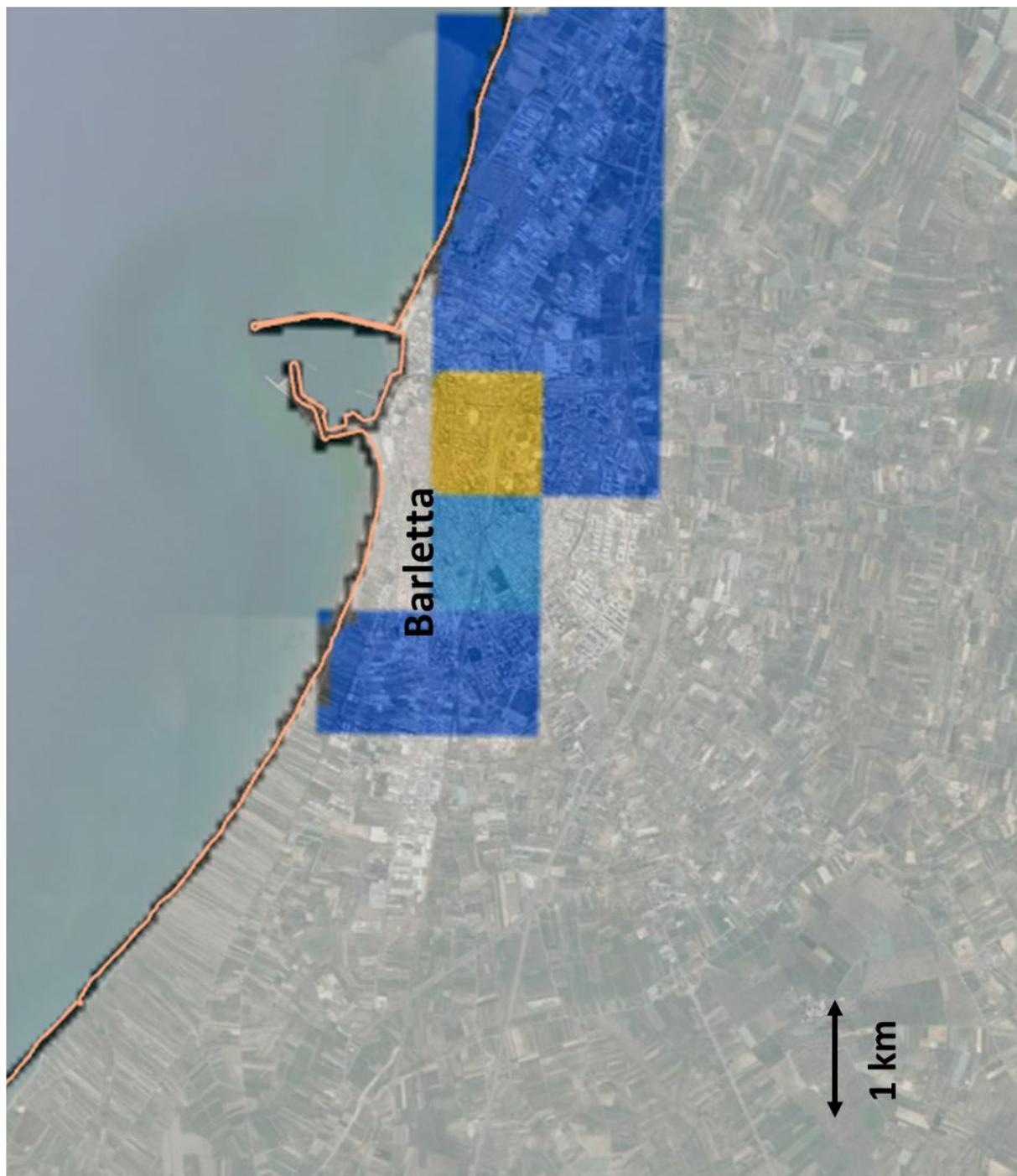
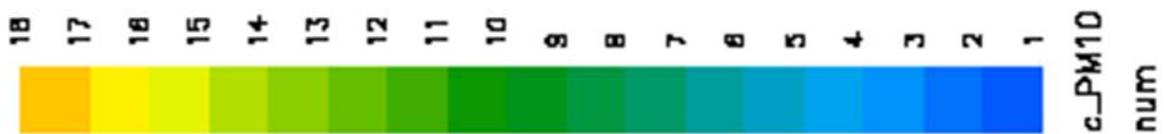
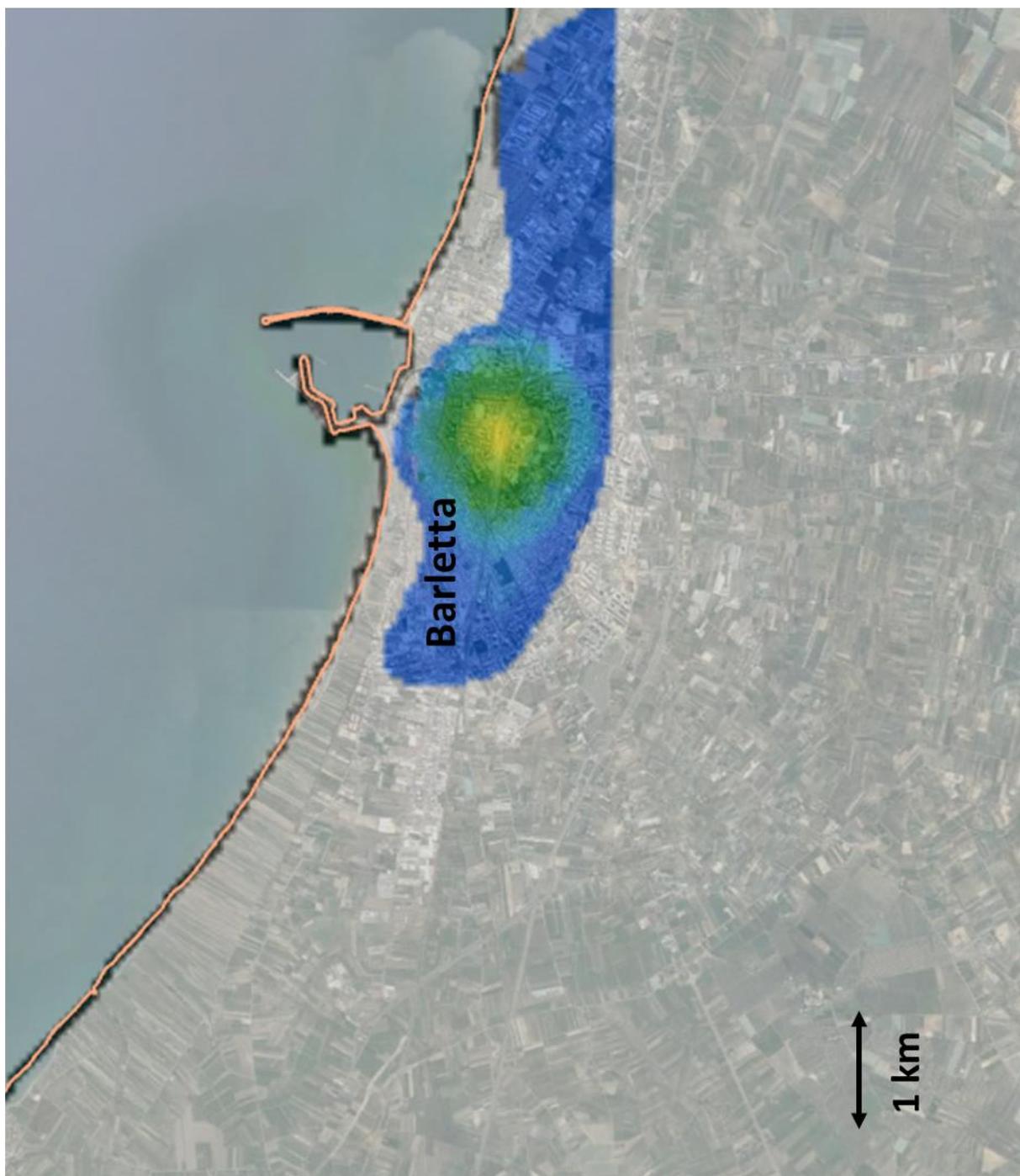


Figura 13: Mappa del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM₁₀, ottenuta tramite l'assimilazione.





3.2 PM_{2.5}

Il PM_{2.5} è l'insieme di particelle solide e liquide con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm (10⁻⁶ m). Analogamente al PM₁₀, il PM_{2.5} può avere origine naturale o antropica e può penetrare nell'apparato respiratorio raggiungendone il tratto inferiore (trachea e polmoni). A partire dal 2015 il D.Lgs. N.155/2010 prevede un valore limite di 25 µg/m³.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE D. Lgs. N.155/2010
Anno civile	25 µg/m ³

Nella figura successiva si mostra la mappa della concentrazione media annuale di PM_{2.5} sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenuta integrando i dati modellati con le misure giornaliere disponibili.

Il sistema modellistico non prevede il superamento del limite annuale per il PM_{2.5} nell'area del comune di Barletta. Il valore massimo si rileva in corrispondenza dell'area urbana del comune ed è pari a 21 µg/m³.

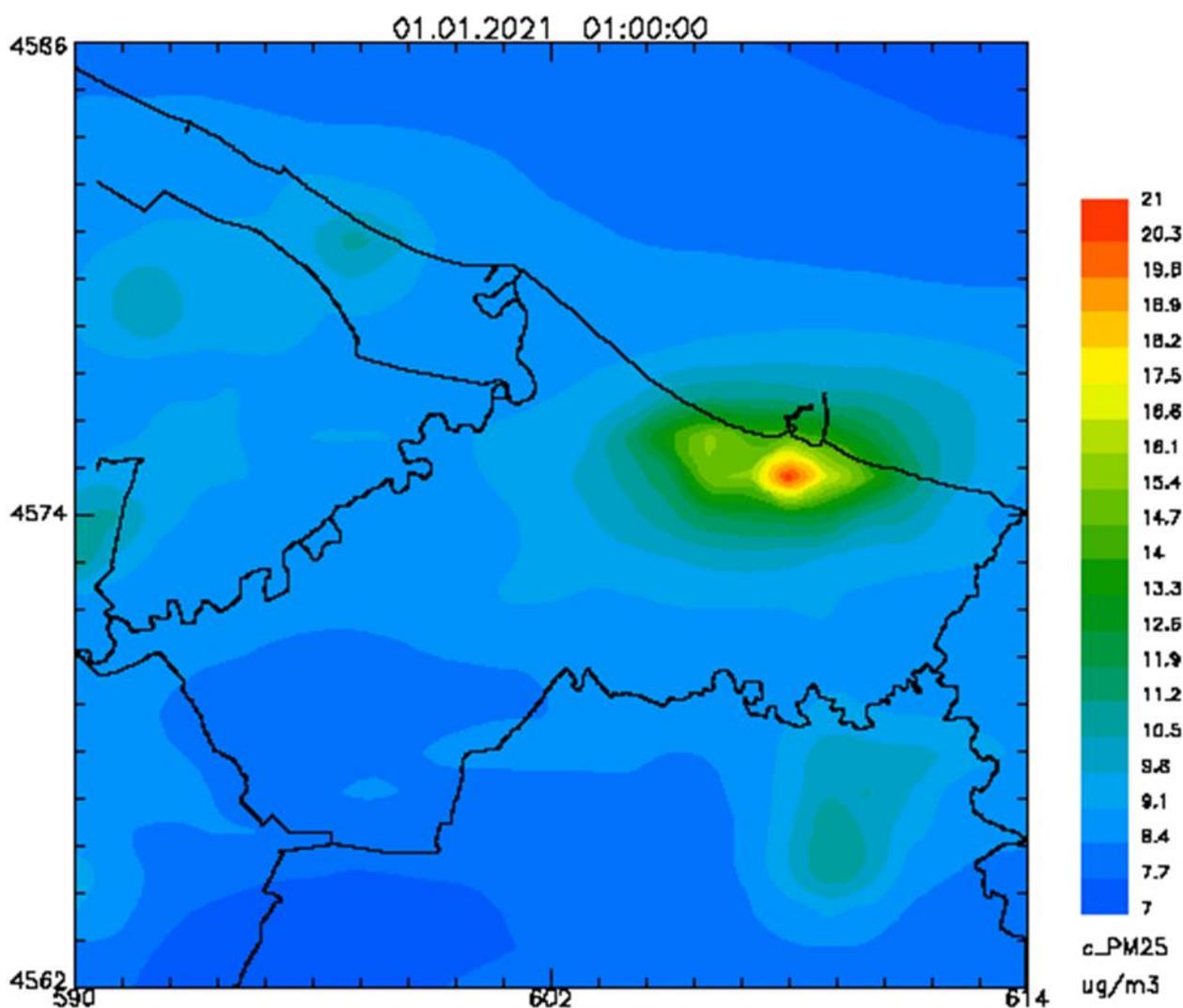
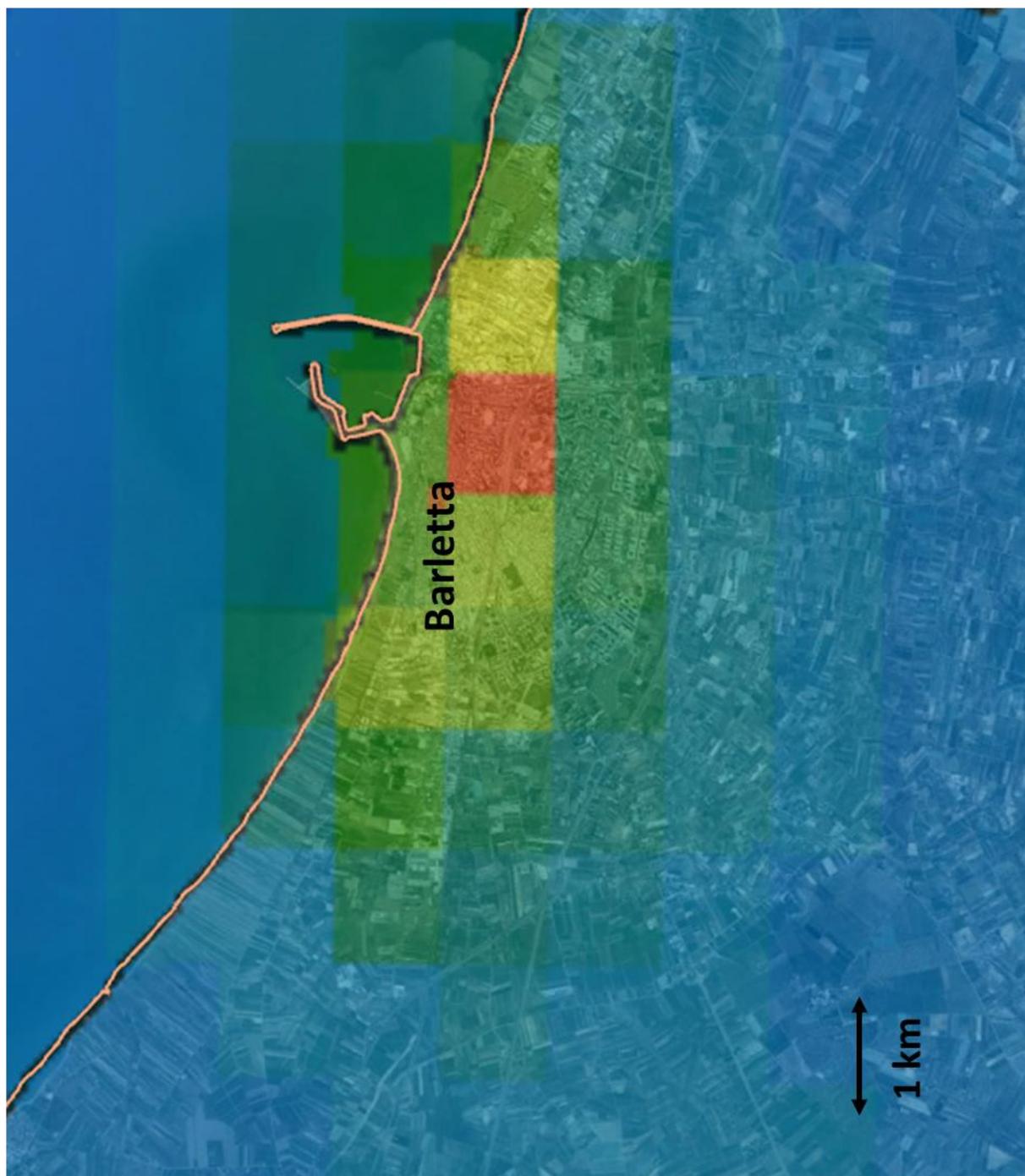
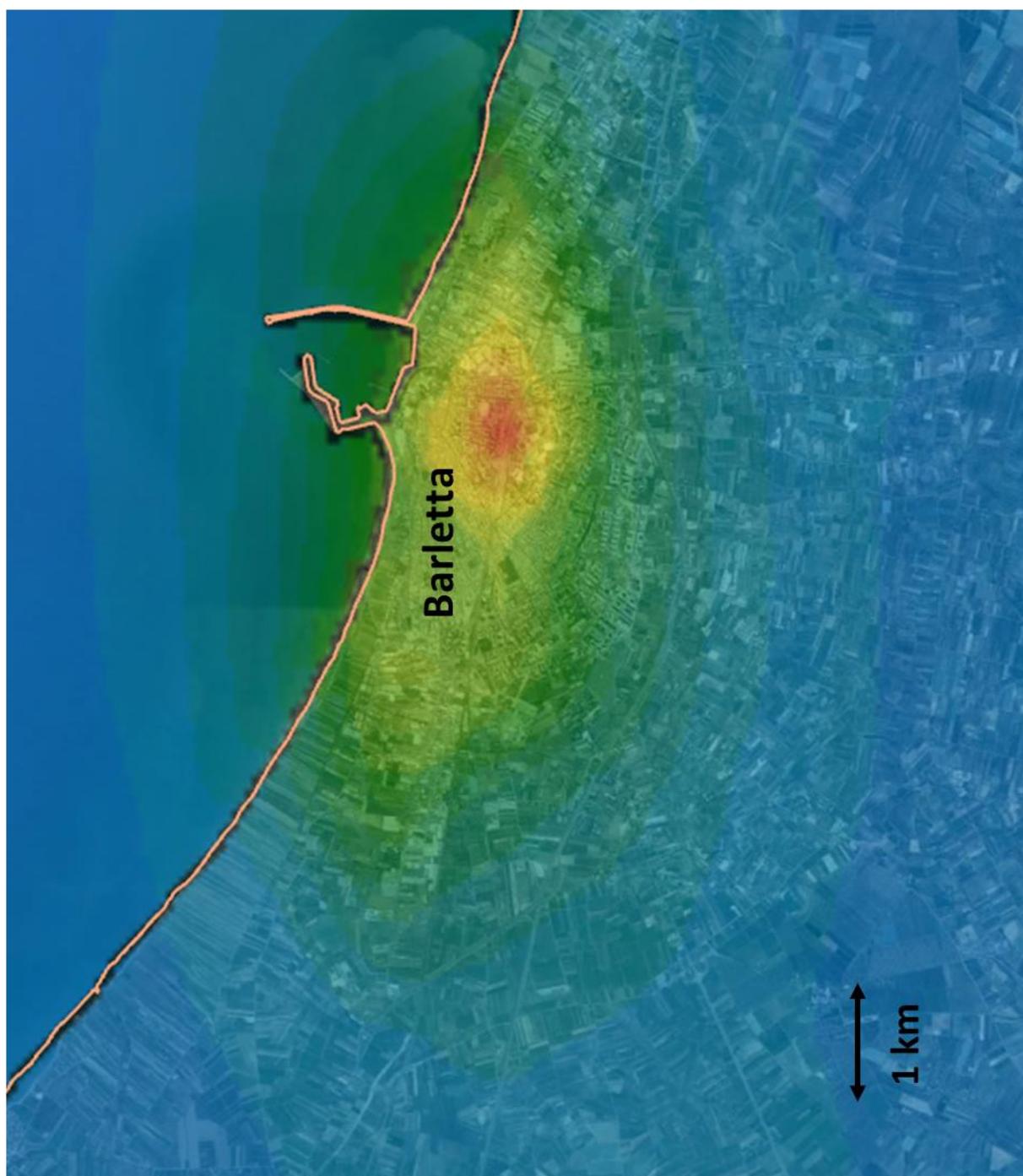


Figura 14: Mappa della concentrazione media annuale di PM_{2.5} (µg/m³), ottenuta tramite assimilazione.





3.3 BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

Gli Ossidi di Azoto, NO, NO₂, N₂O etc, sono generati nei processi di combustione. Tra tutti, il Biossido di Azoto (NO₂), è il più pericoloso perché costituisce il precursore di una serie di reazioni di tipo fotochimico che portano alla formazione del cosiddetto “smog fotochimico”. In ambito urbano, un contributo rilevante all’inquinamento da NO₂ è dovuto alle emissioni dagli autoveicoli. L’entità di queste emissioni può variare in base sia alle caratteristiche e allo stato del motore del veicolo, che in base alla modalità di utilizzo dello stesso. In generale, l’emissione di Ossidi di Azoto è maggiore quando il motore funziona a elevato numero di giri e cioè in arterie urbane non a scorrimento veloce che impongono continui cambi di velocità.

I limiti previsti dal D.Lgs. N.155/2010 per l’NO₂ sono la media oraria di 200 µg/m³ da non superare più di 18 volte nel corso dell’anno e la media annua di 40 µg/m³.

PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE LIMITE D. Lgs. N.155/2010
Anno civile	40 µg/m ³
Media oraria	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nel corso dell’anno

Il sistema modellistico non prevede superamenti dei valori limite prescritti per l’NO₂. Le mappe di analisi presentate evidenziano come le concentrazioni di NO₂ più elevate si verificano in corrispondenza delle aree urbane; inoltre emergono chiaramente anche le strade caratterizzate da importanti volumi di traffico, come la strada statale SS16 e l’autostrada E55. Il valore massimo si rileva sempre in corrispondenza dell’area urbana del comune di Barletta; nello specifico si ha che:

- il valore più elevato della media annuale risulta pari a 22 µg/m³.
- Il valore più elevato del 99.8° percentile calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie è pari a 104 µg/m³;
- il valore più elevato su base annuale della concentrazione oraria pari a 139 µg/m³.

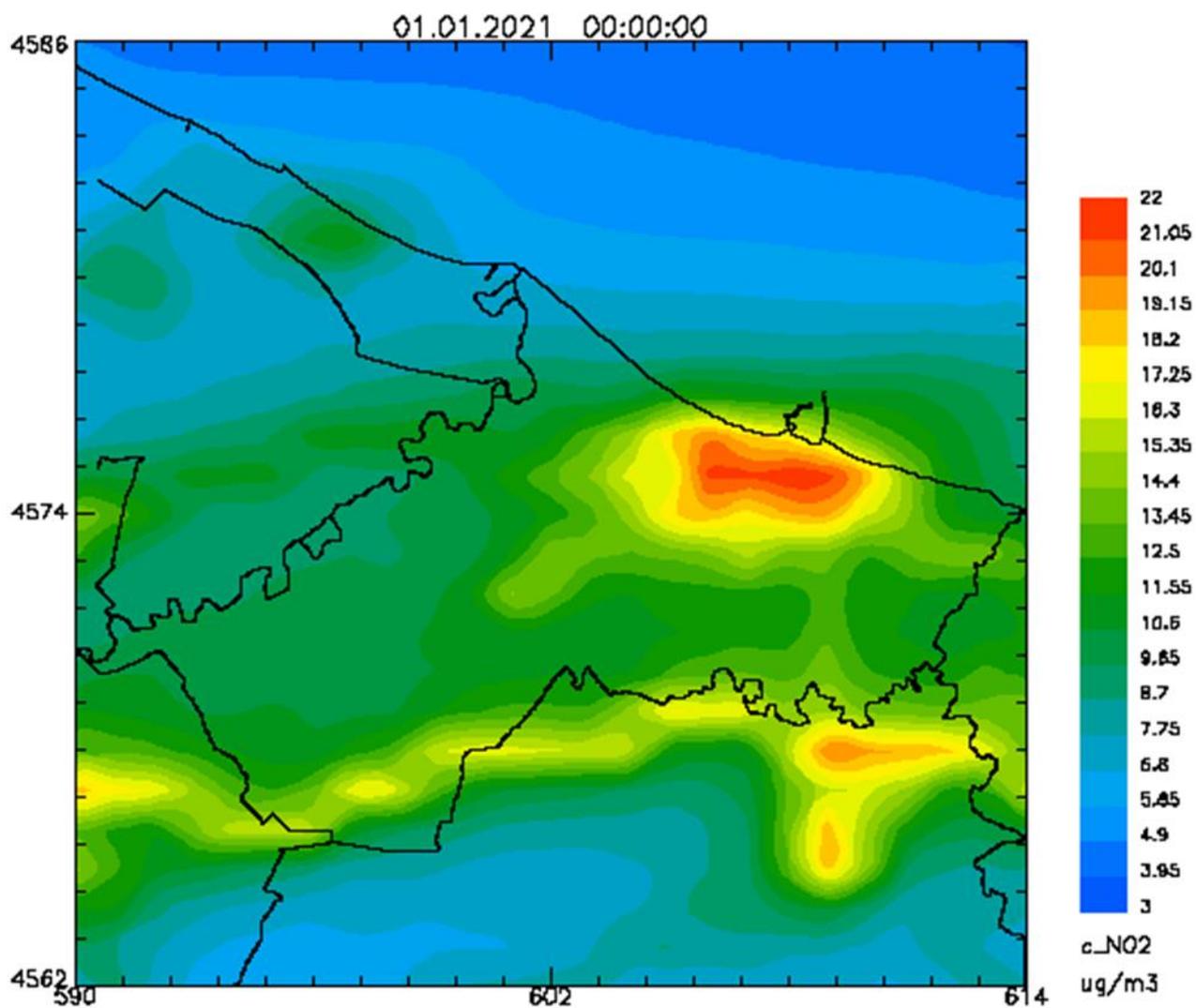
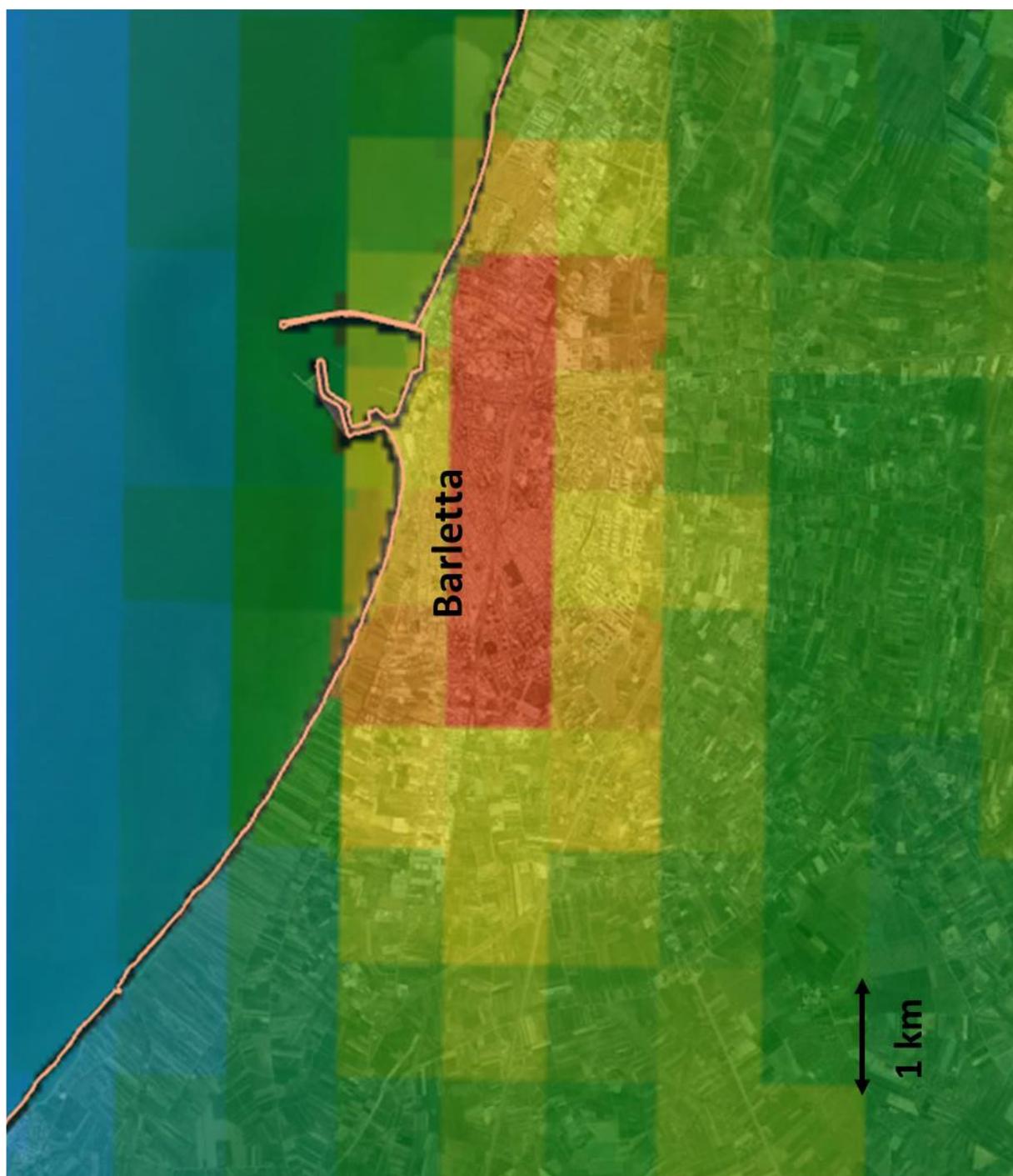
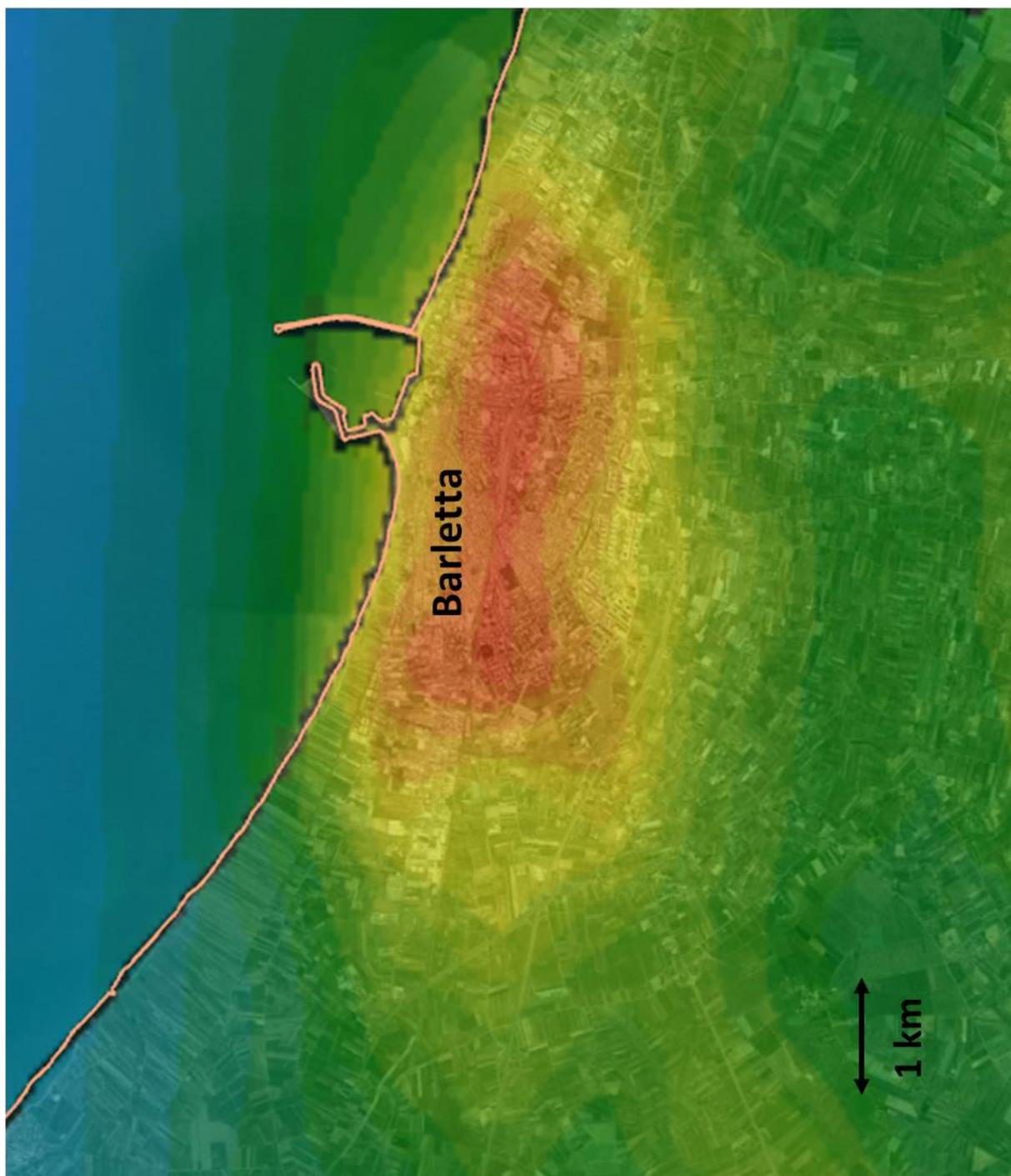


Figura 15: Mappa della concentrazione media annuale di NO₂, ottenuta tramite l'assimilazione.





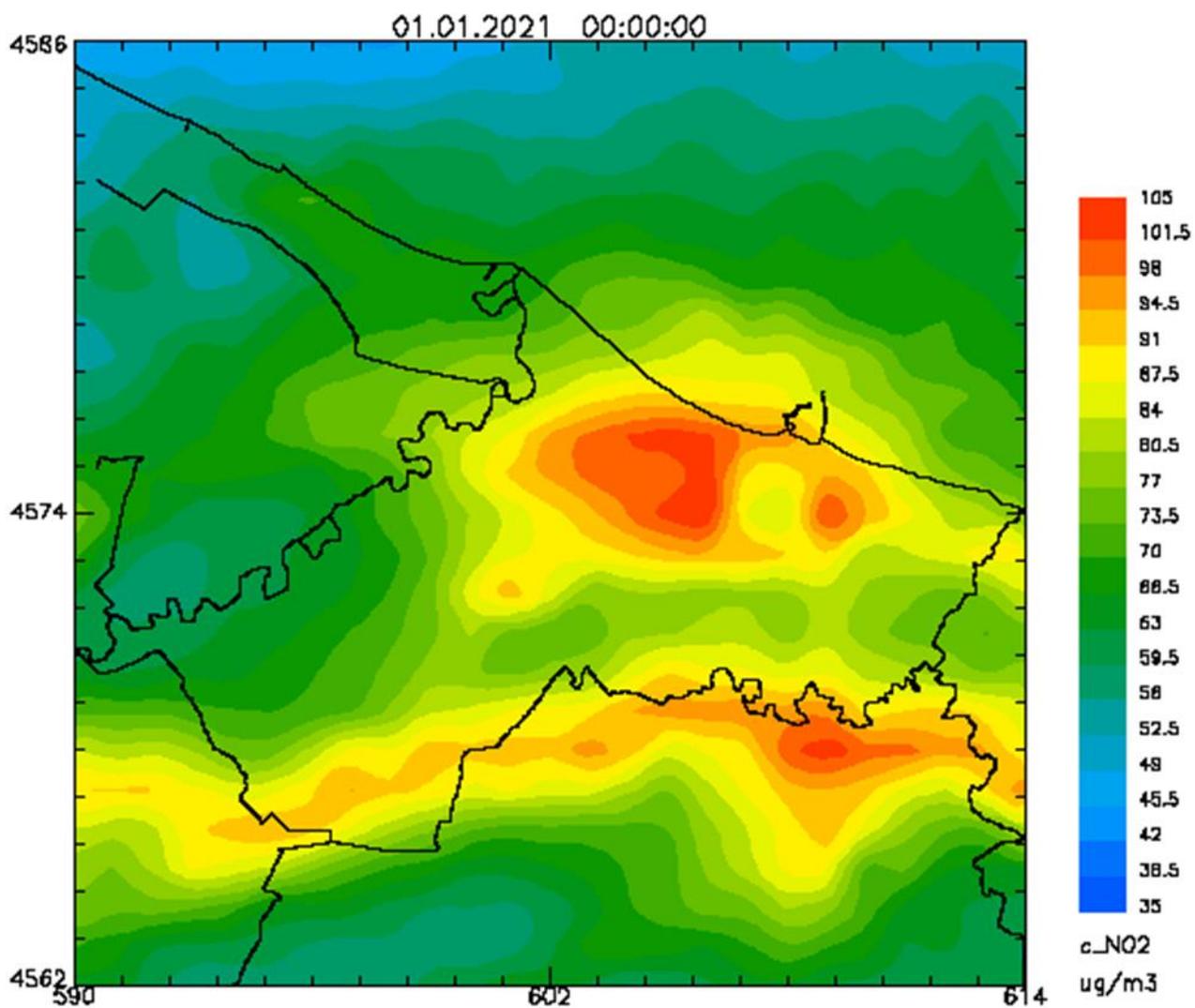
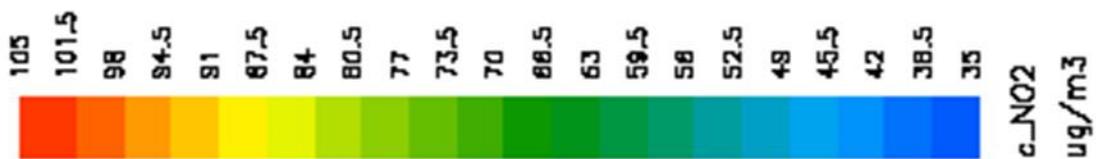
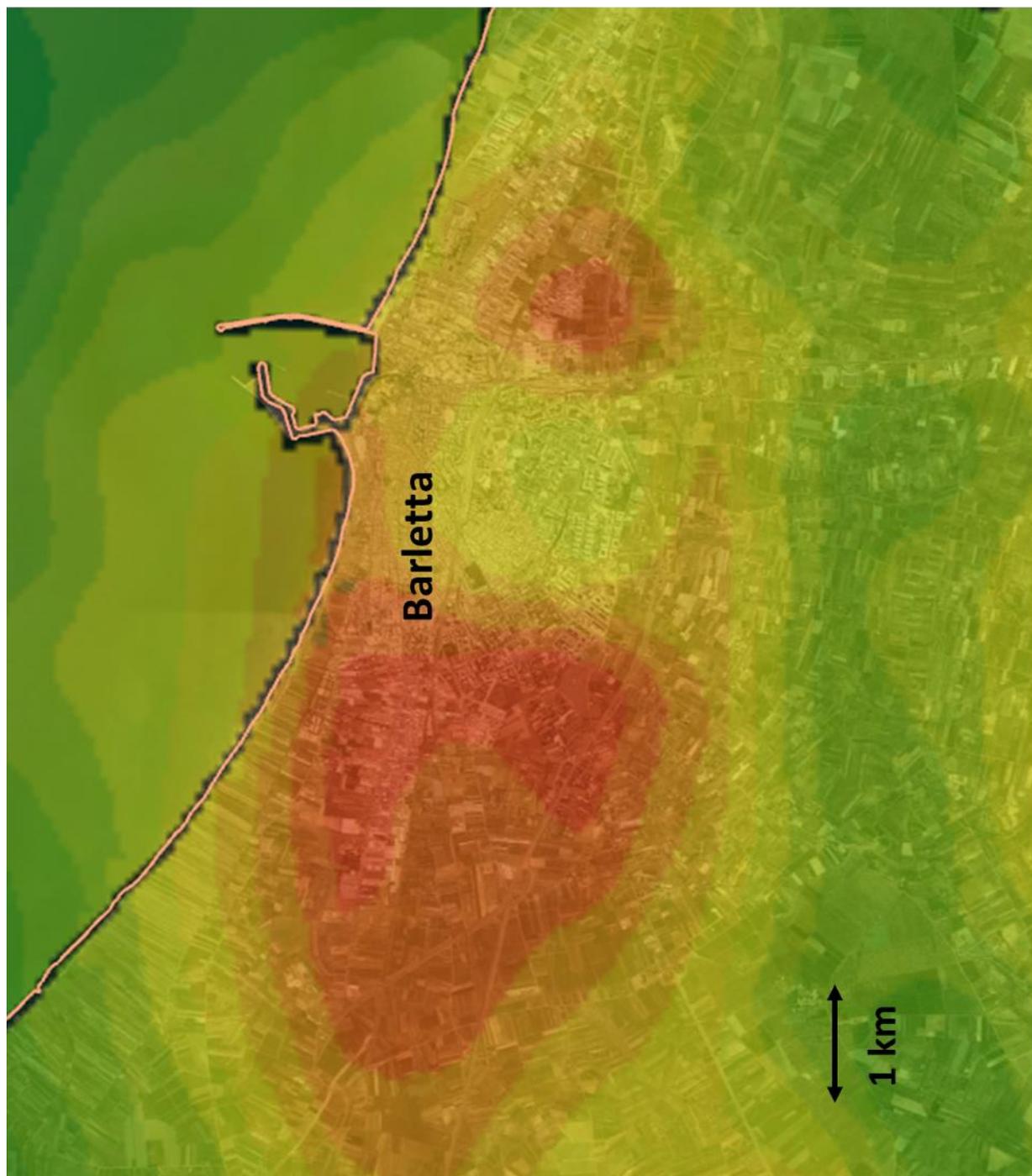
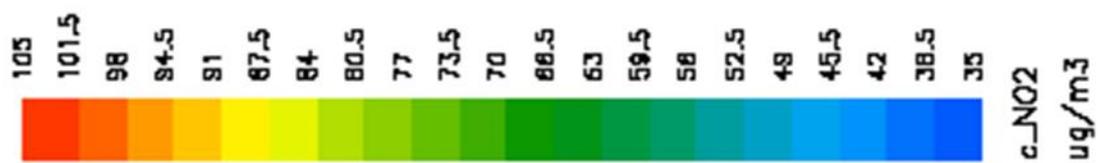


Figura 16: Mappa del 99.8° percentile di NO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, ottenuta tramite l'assimilazione.





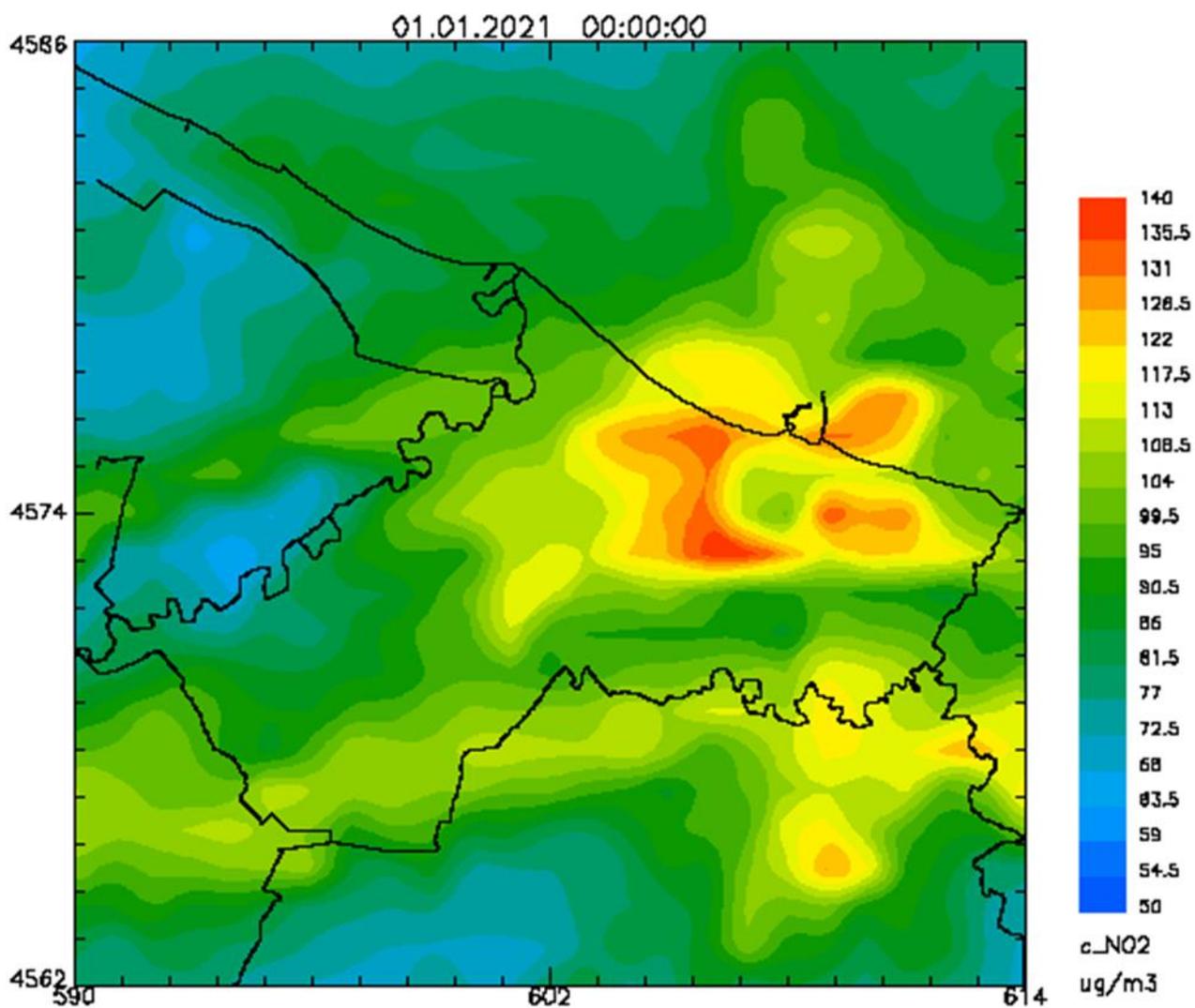
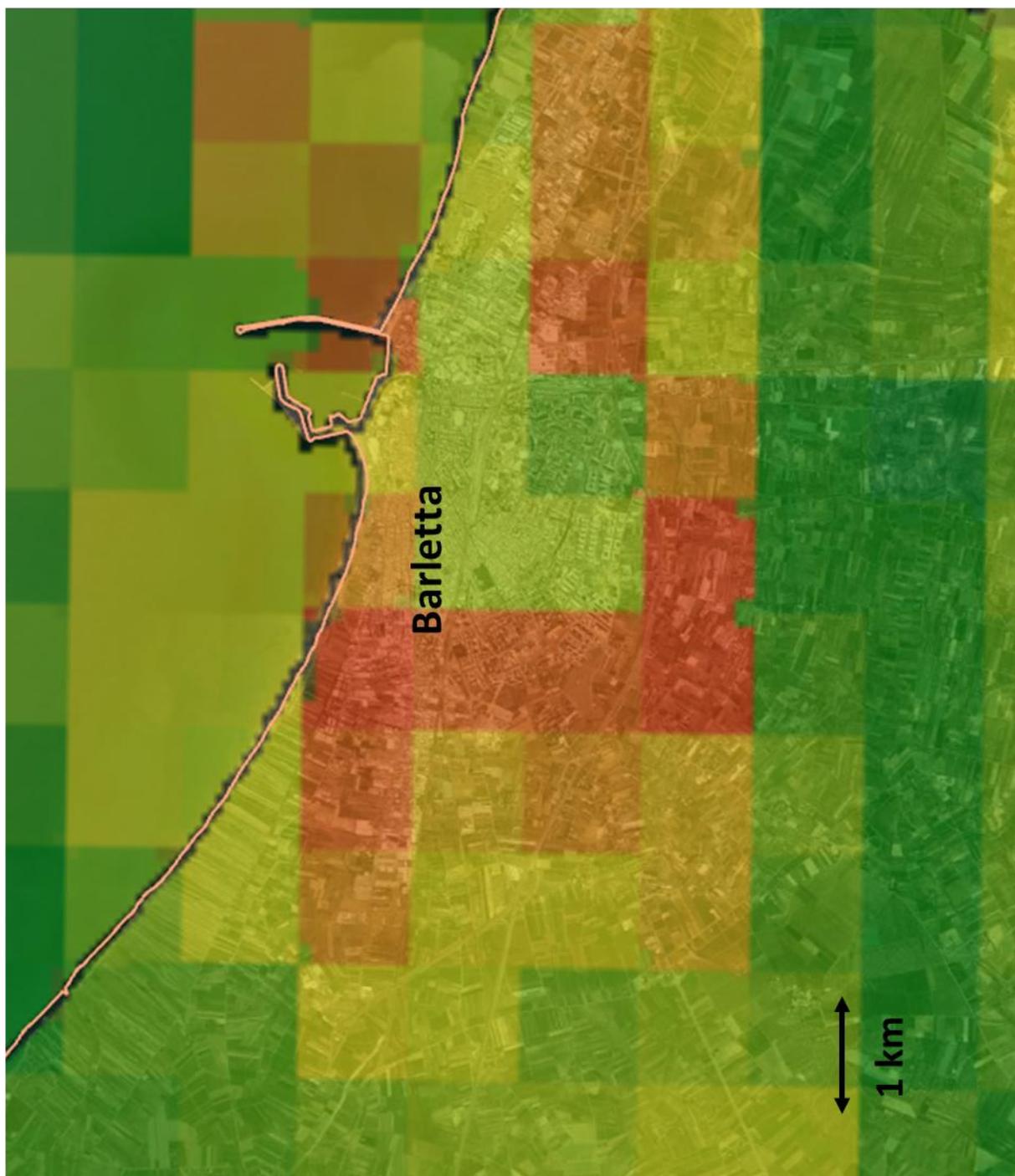
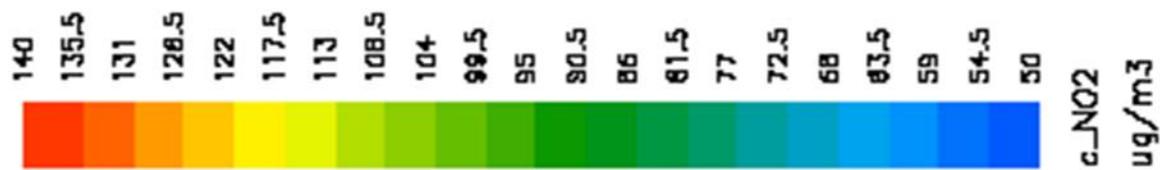
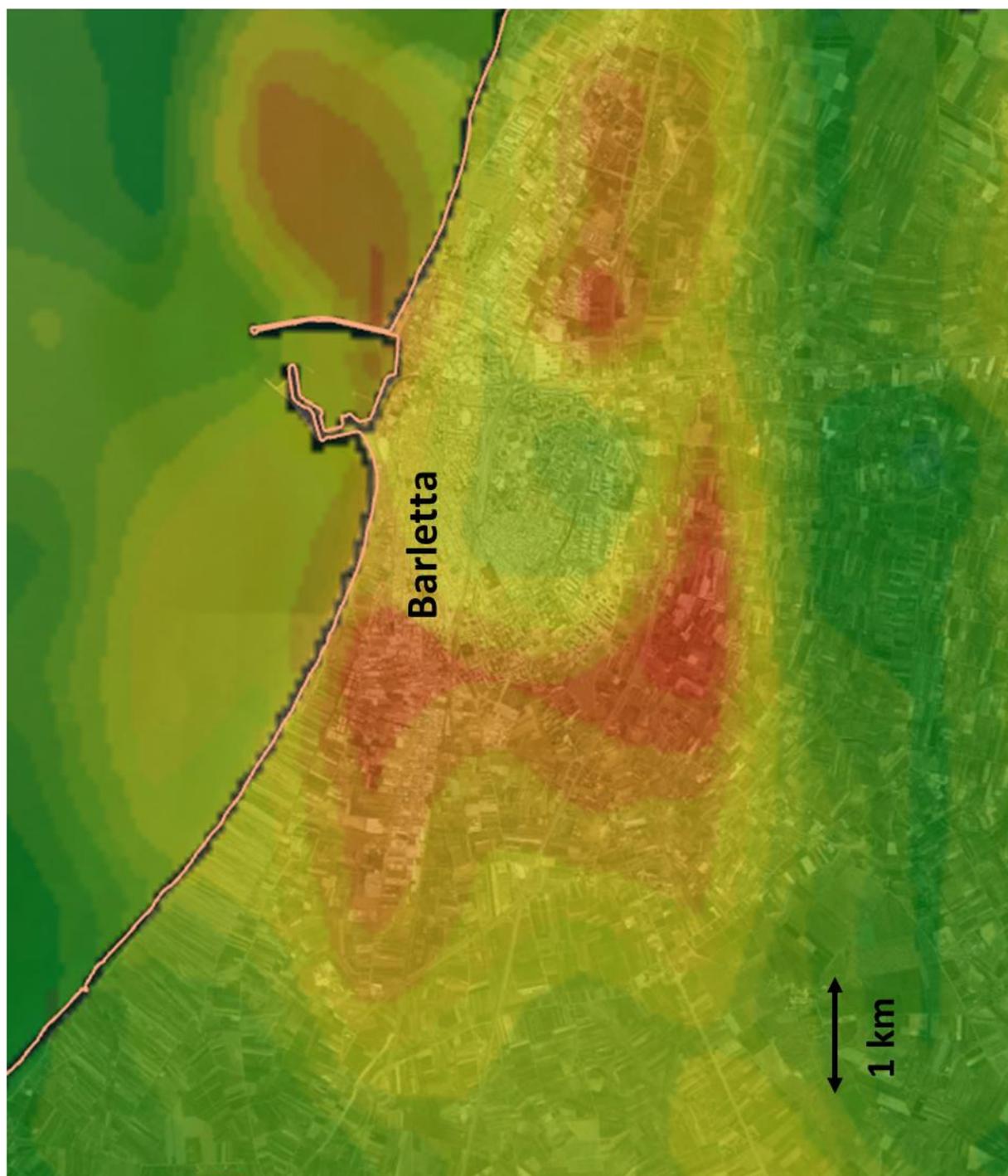
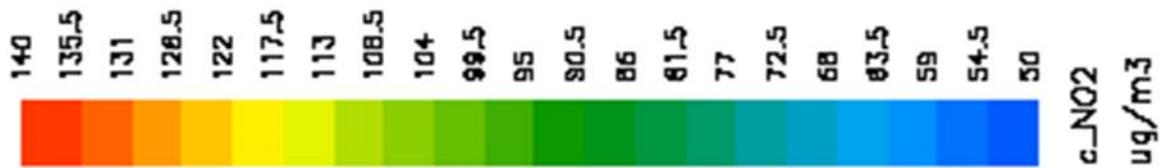


Figura 17: Mappa della concentrazione massima oraria di NO₂, ottenuta tramite l'assimilazione.





3.4 OZONO (O₃)

L'ozono è un inquinante secondario che si forma in atmosfera attraverso reazioni fotochimiche tra altre sostanze (tra cui gli ossidi di azoto e i composti organici volatili). Poiché il processo di formazione dell'ozono è catalizzato dalla radiazione solare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle aree soggette a forte irraggiamento e nei mesi più caldi dell'anno. Il D.Lgs. N.155/2010 fissa un valore bersaglio per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m³ sulla media mobile delle 8 ore, da non superare più di 25 volte l'anno e un valore obiettivo a lungo termine, pari a 120 µg/m³.

Finalità	Indicatori	Periodo di mediazione	Valore D.Lgs. N.155/2010
Protezione della salute umana	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³ , da non superarsi più di 25 volte per anno civile, come media su tre anni
	Obiettivo a lungo termine	Media massima giornaliera su 8 ore nell'arco di un anno	120 µg/m ³
	Soglia di informazione	Media oraria	180 µg/m ³
	Soglia di allarme	Media oraria	240 µg/m ³

Nella figura successiva si mostra la mappa della concentrazione media mobile massima su 8 ore, sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenuta integrando i dati modellati con le misure giornaliere di O₃. Il sistema modellistico prevede il superamento del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana lungo la costa.

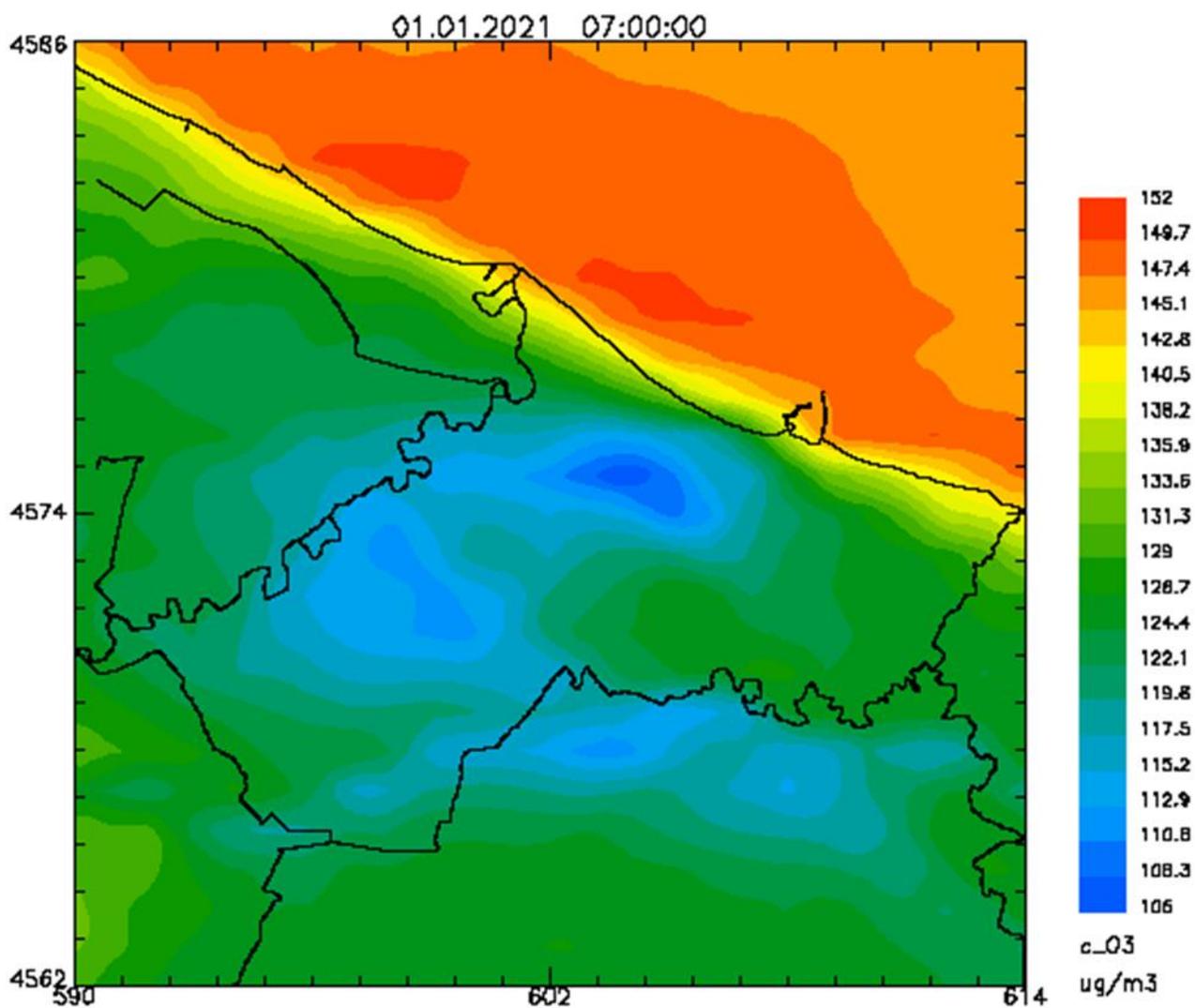
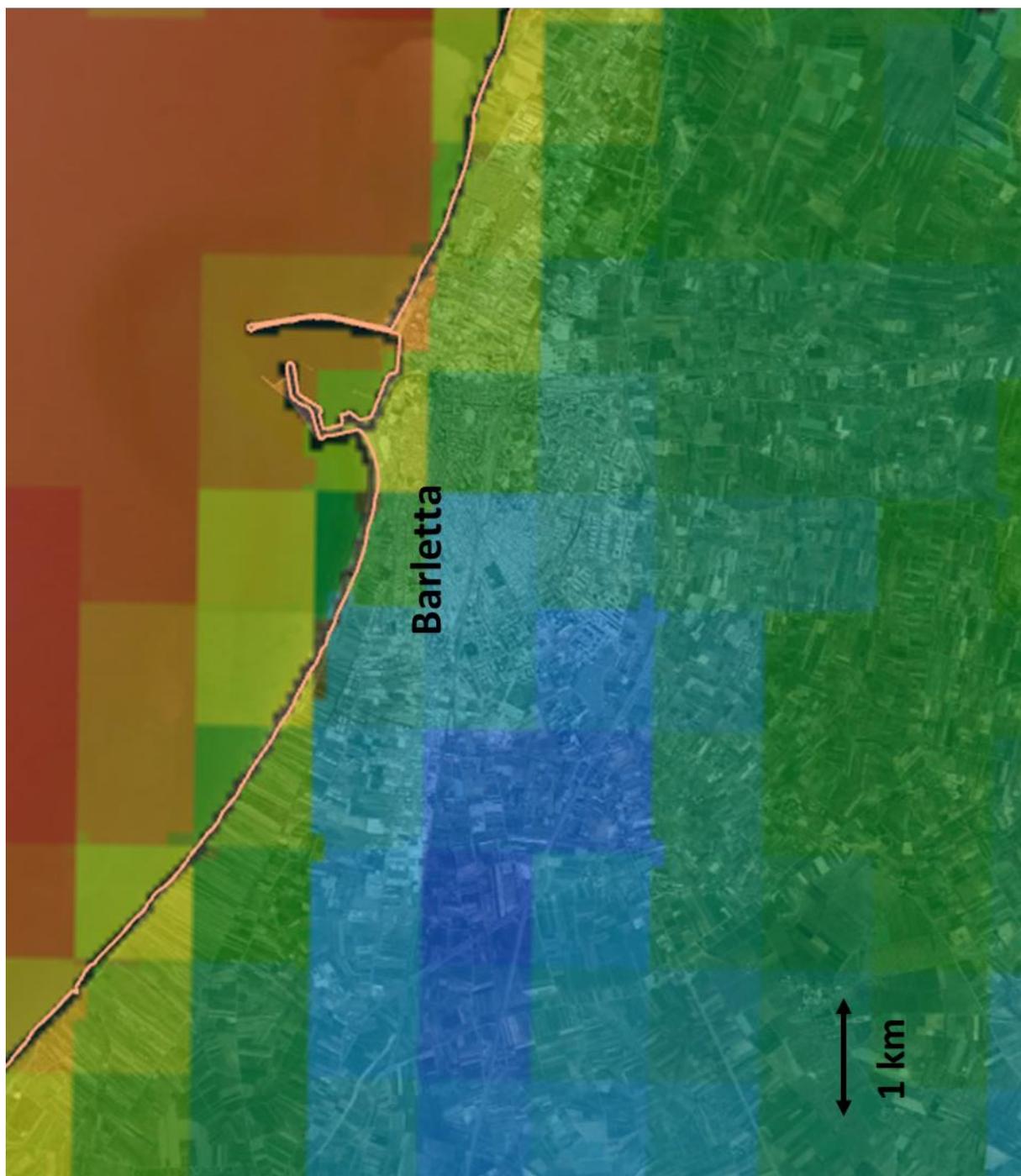
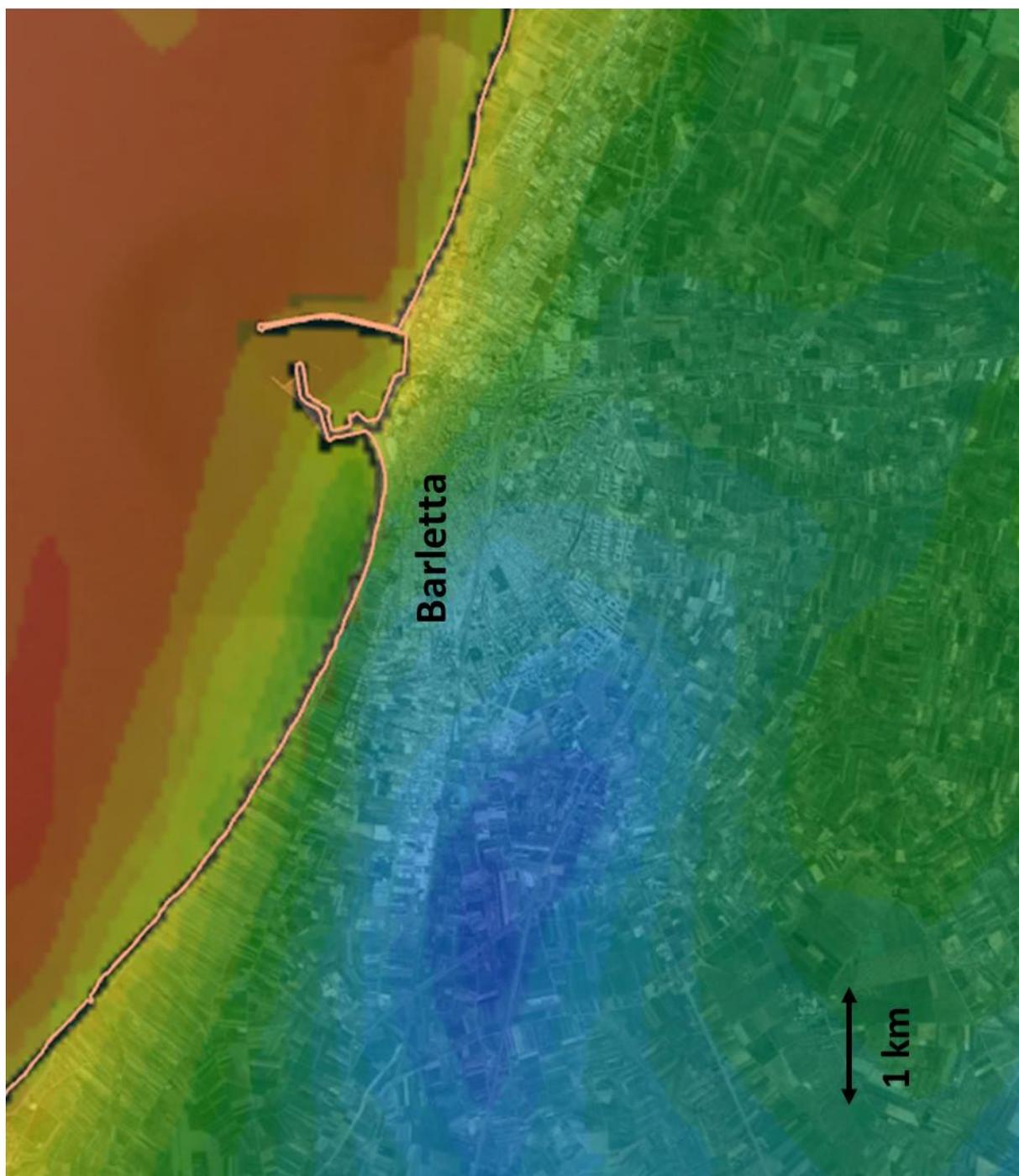
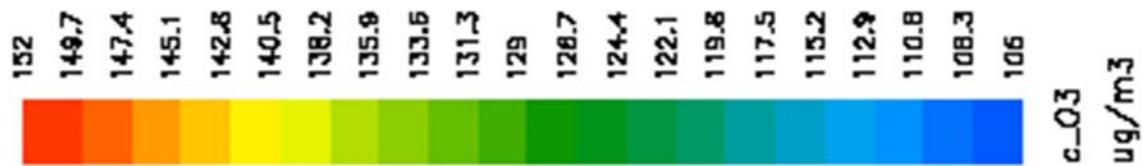


Figura 18: Mappa della concentrazione media mobile massima su 8 ore di O₃, ottenuta tramite l'assimilazione.





Il sistema modellistico non prevede alcun superamento delle soglie di informazione e di allarme prescritte per l'ozono.

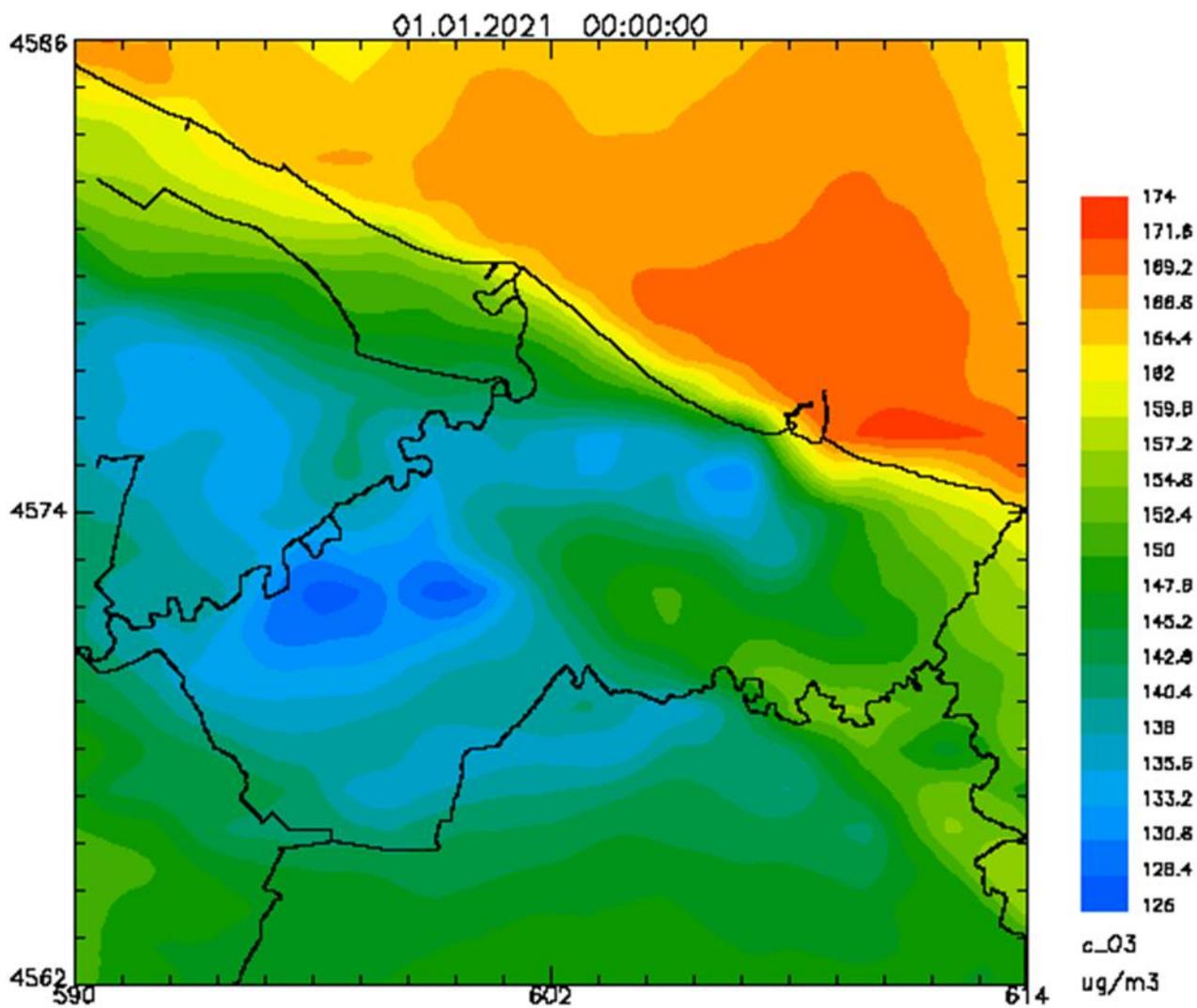
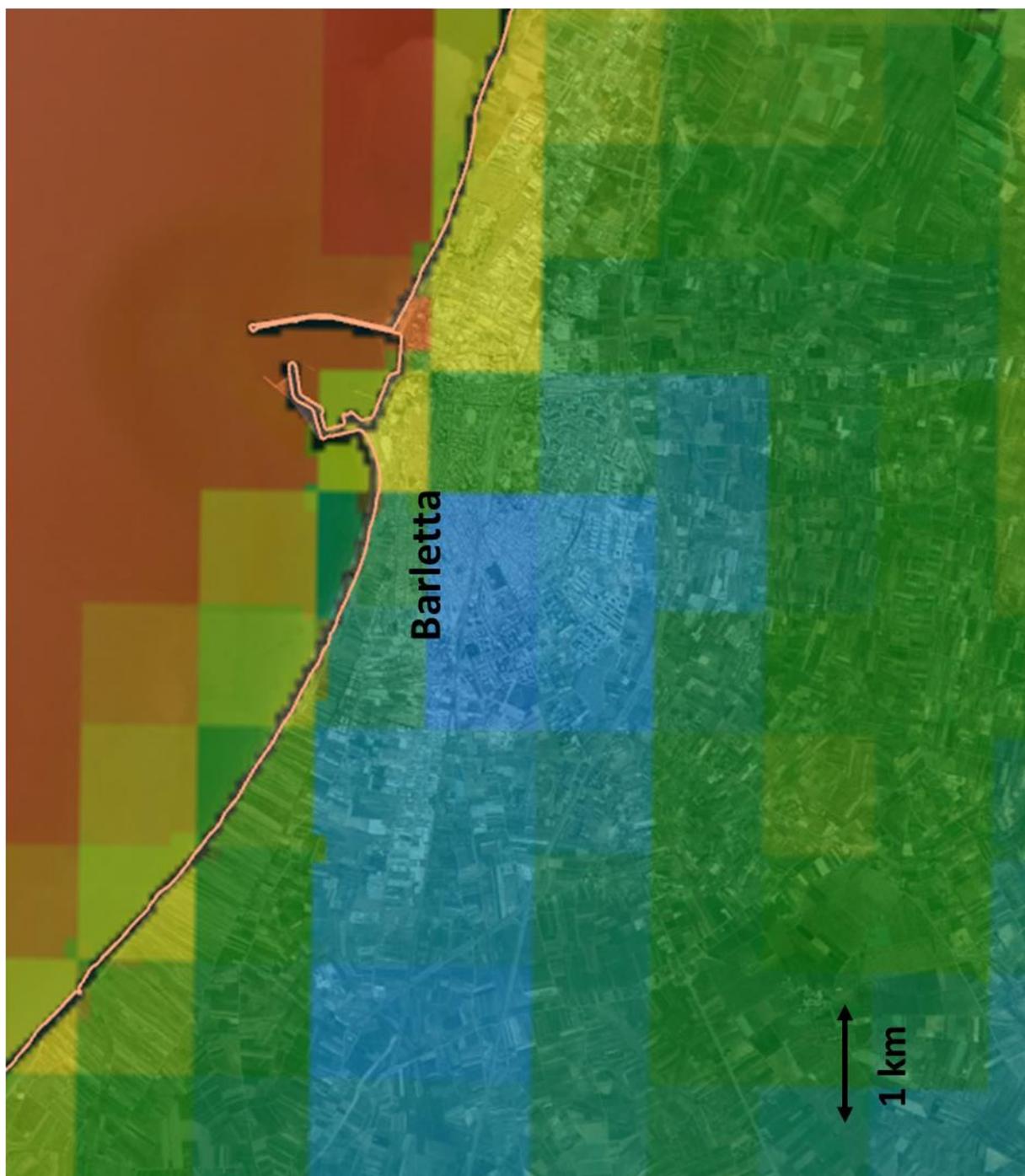
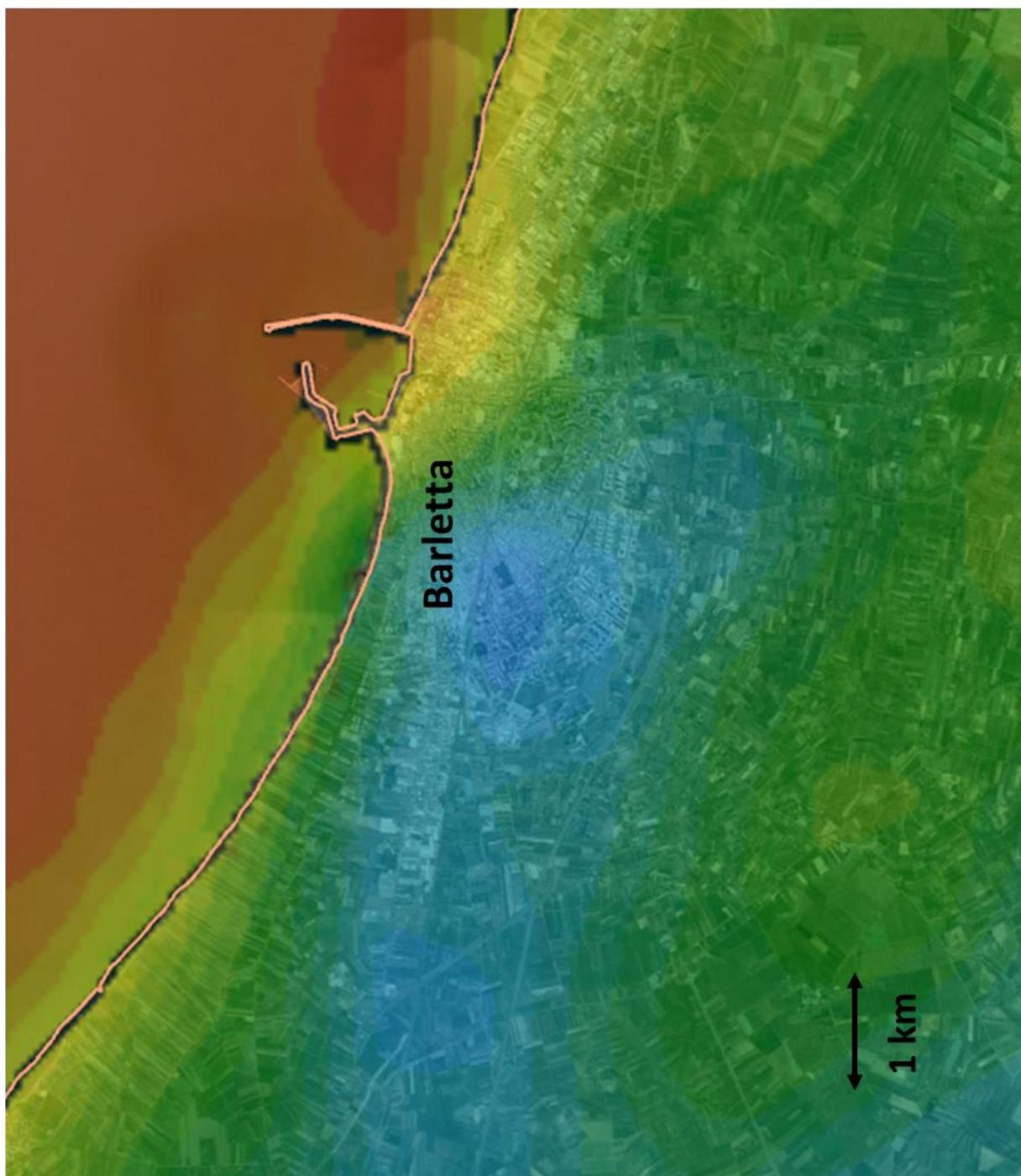


Figura 19: Mappa della massima concentrazione oraria di O₃, ottenuta tramite l'assimilazione.





Relativamente al valore obiettivo per la protezione della salute umana, la mappa di analisi mostra un numero di superamenti pari a 26 lungo la costa rispetto ai 25 ammessi (espressi come media sui tre anni).

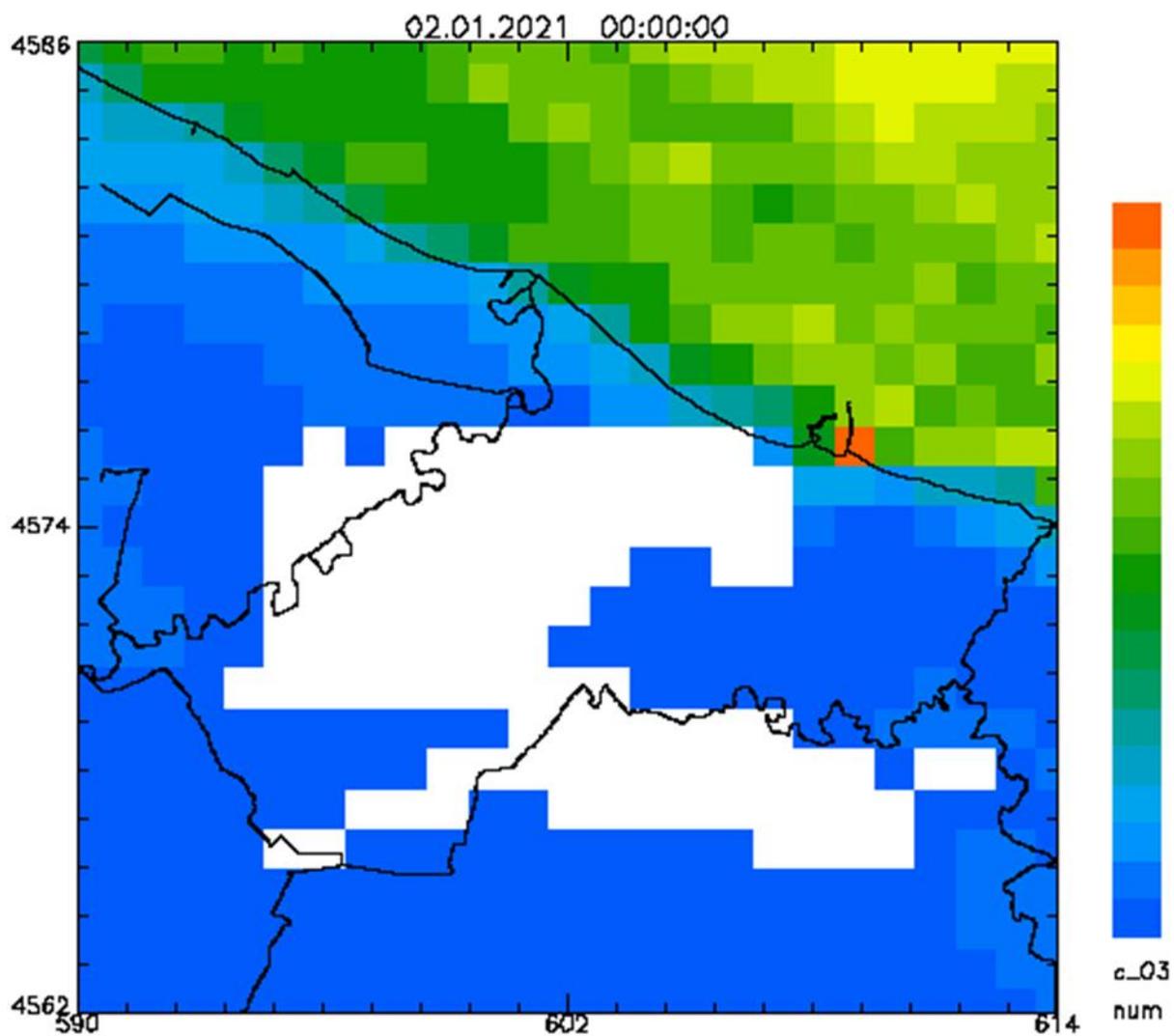
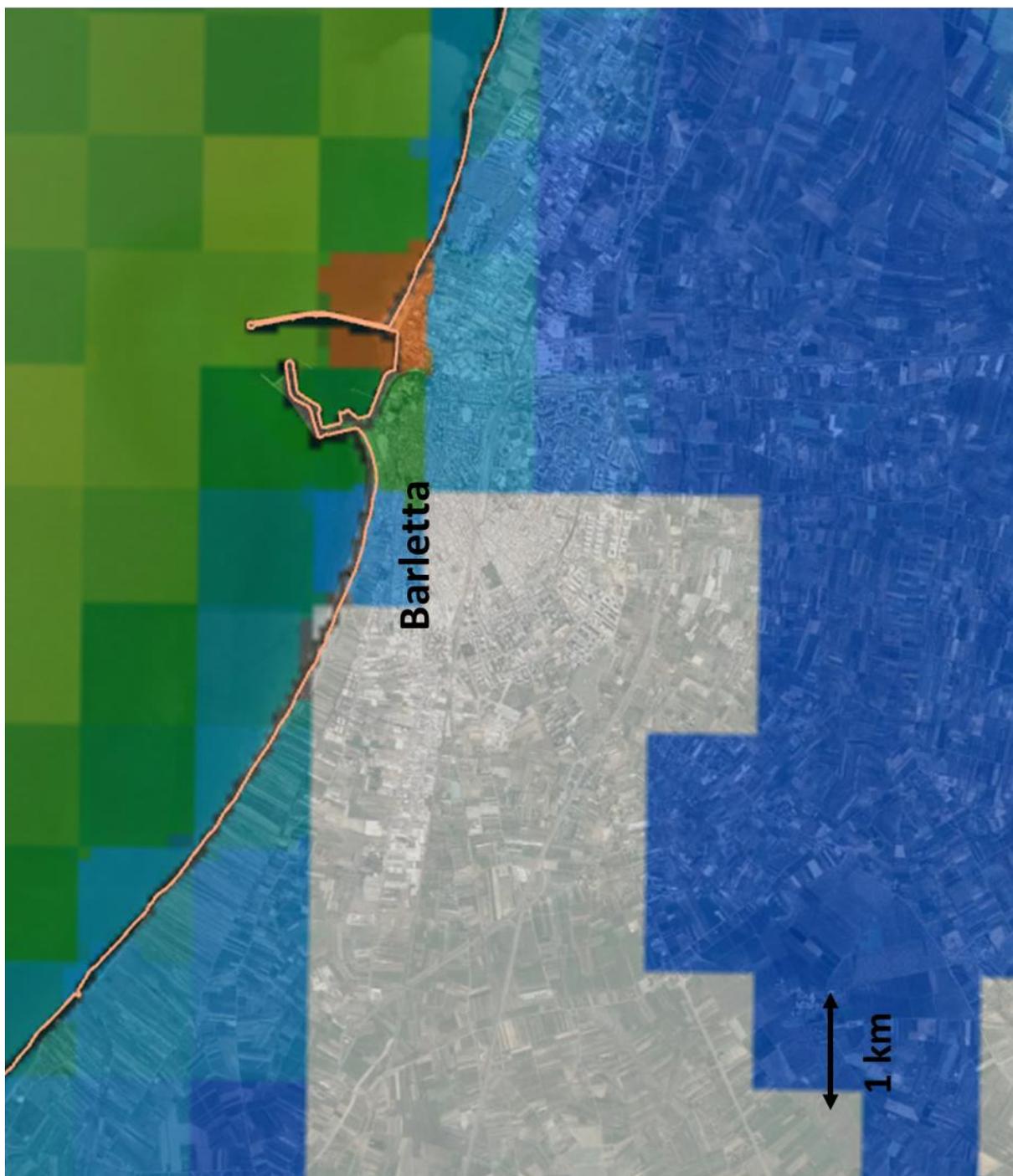


Figura 20: Mappa del numero annuale di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per O_3 , ottenuta tramite l'assimilazione.





3.5 BENZENE (C₆H₆)

Il benzene presente in atmosfera è originato dall'attività umana e in particolare dall'uso di petrolio, oli minerali e loro derivati. In area urbana la principale sorgente di benzene è rappresentata dalle emissioni dovute a traffico auto veicolare e al riscaldamento residenziale a biomassa legnosa. Esso, infatti, è presente nelle benzine e, come tale, viene prodotto durante la combustione. La normativa italiana in vigore prevede che il tenore massimo sia pari all'1%.

Il benzene è una sostanza dall'accertato potere cancerogeno. La normativa vigente prevede una concentrazione limite annua pari a 5 µg/m³.

Periodo di mediazione	Valore limite D.Lgs. N.155/2010
Anno civile	5 µg/m ³

Nella figura successiva si mostra la mappa della concentrazione media annua di C₆H₆, sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenuta integrando i dati modellati con le misure giornaliere. Per tale inquinante il modello non stima superamenti del valore limite per la protezione della salute umana sul comune di Barletta. Dal momento che le concentrazioni stimate risultano notevolmente al di sotto del limite stabilito dalla normativa, si è utilizzata una scala opportunamente dimensionata sul valore massimo della concentrazione media annuale modellata per apprezzarne la variabilità spaziale.

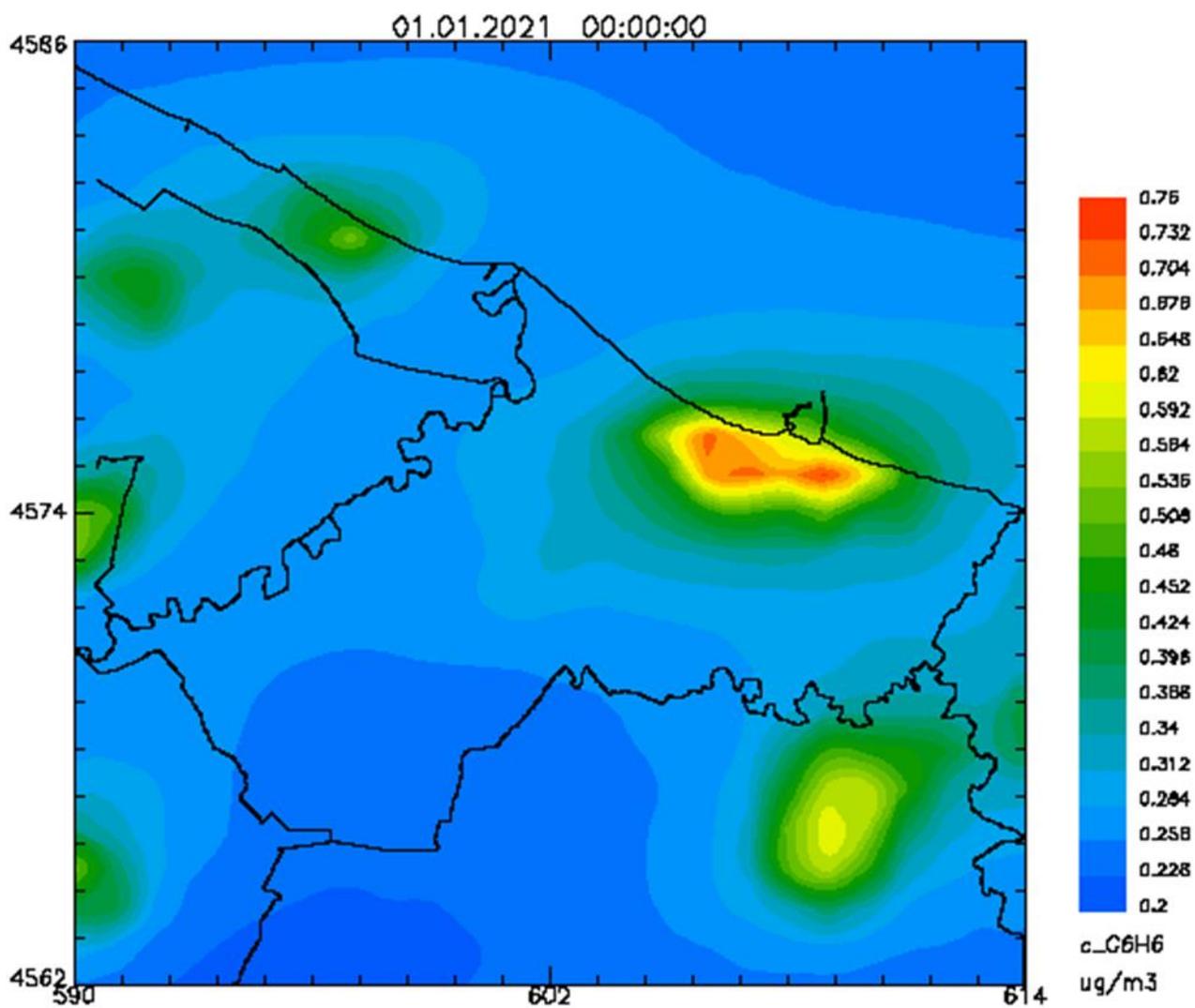
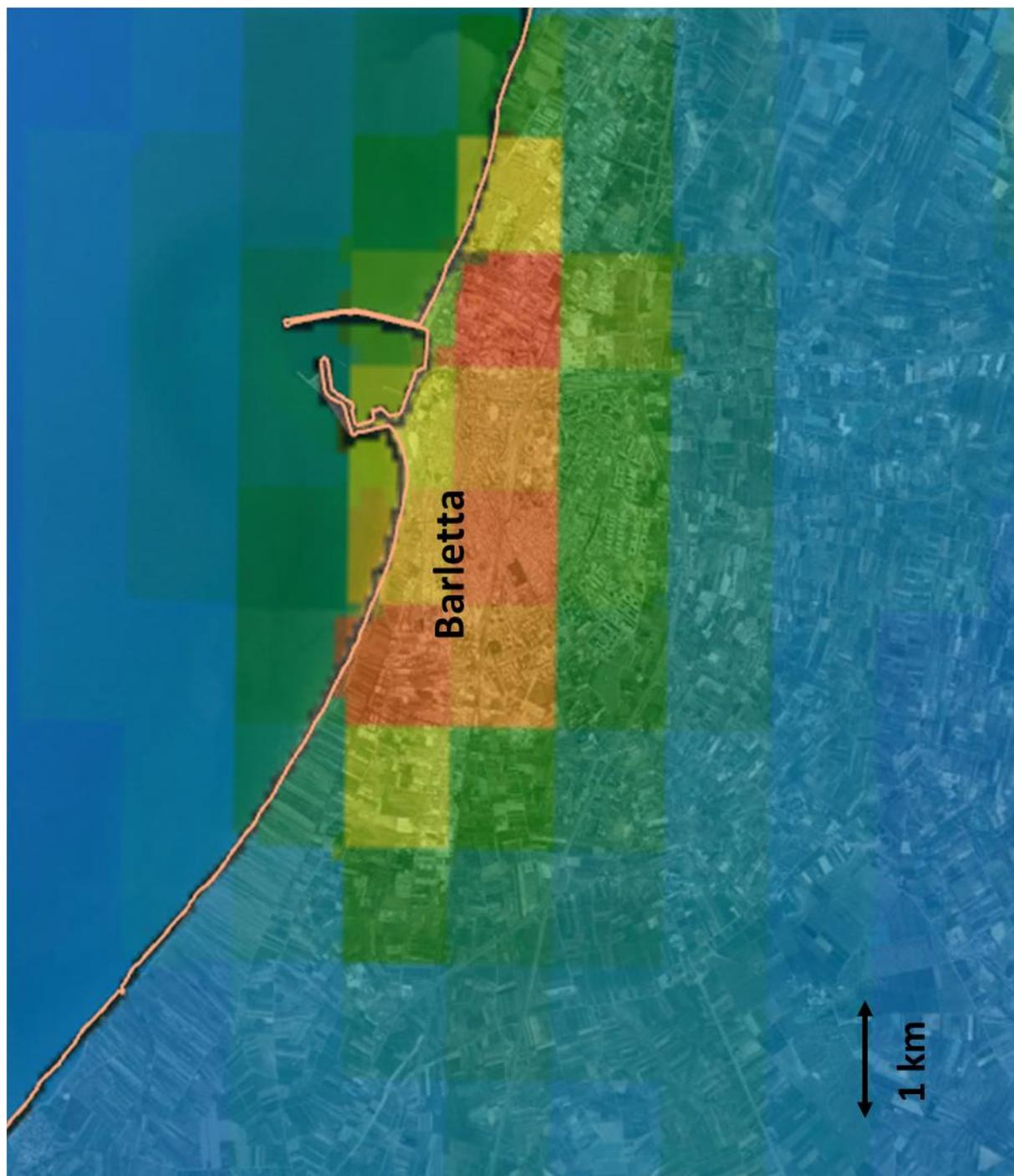
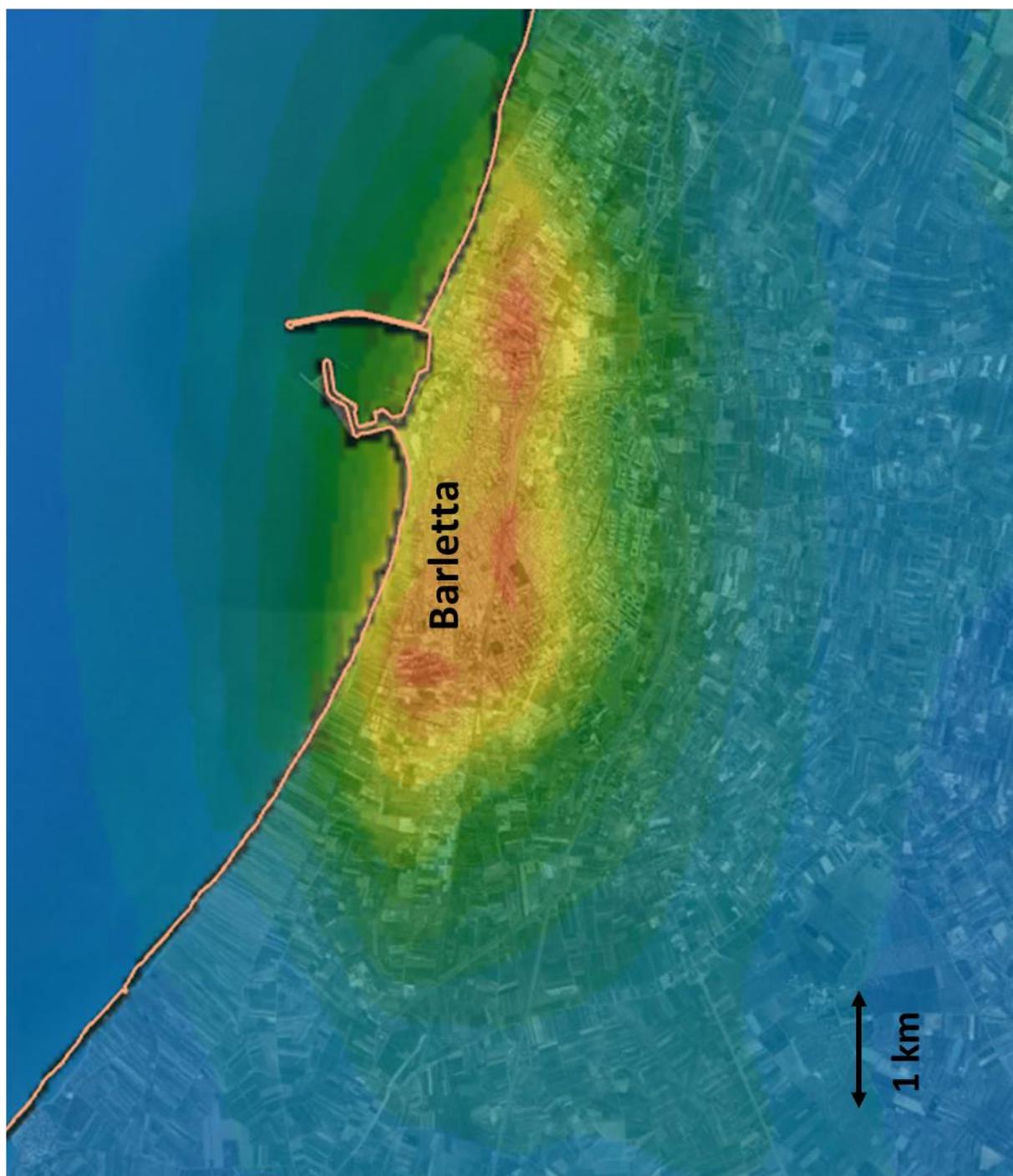


Figura 21: Mappa della concentrazione media annuale di benzene, ottenuta tramite l'assimilazione.





3.6 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il monossido di carbonio è una sostanza gassosa che si forma per combustione incompleta di materiale organico, ad esempio nei motori degli autoveicoli e nei processi industriali. Il monossido di carbonio può risultare letale per la sua capacità di formare complessi con l'emoglobina più stabili di quelli formati da quest'ultima con l'ossigeno impedendo il trasporto nel sangue. Il D.Lgs N.155/2010 fissa un valore limite di 10 mg/m³ calcolato come massimo sulla media mobile delle 8 ore.

Periodo di mediazione	Valore limite D.Lgs. N.155/2010
Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³

Nella figura successiva si mostra la mappa della concentrazione media mobile su 8 ore, sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenuta integrando i dati modellati con le misure giornaliere di CO. Sul dominio di interesse non si verifica alcun superamento del valore limite prescritto per tale inquinante. Dal momento che le concentrazioni stimate risultano notevolmente al di sotto del limite stabilito dalla normativa, si è utilizzata una scala opportunamente dimensionata sul valore massimo della concentrazione media mobile su 8 ore modellata al fine di apprezzarne la variabilità spaziale.

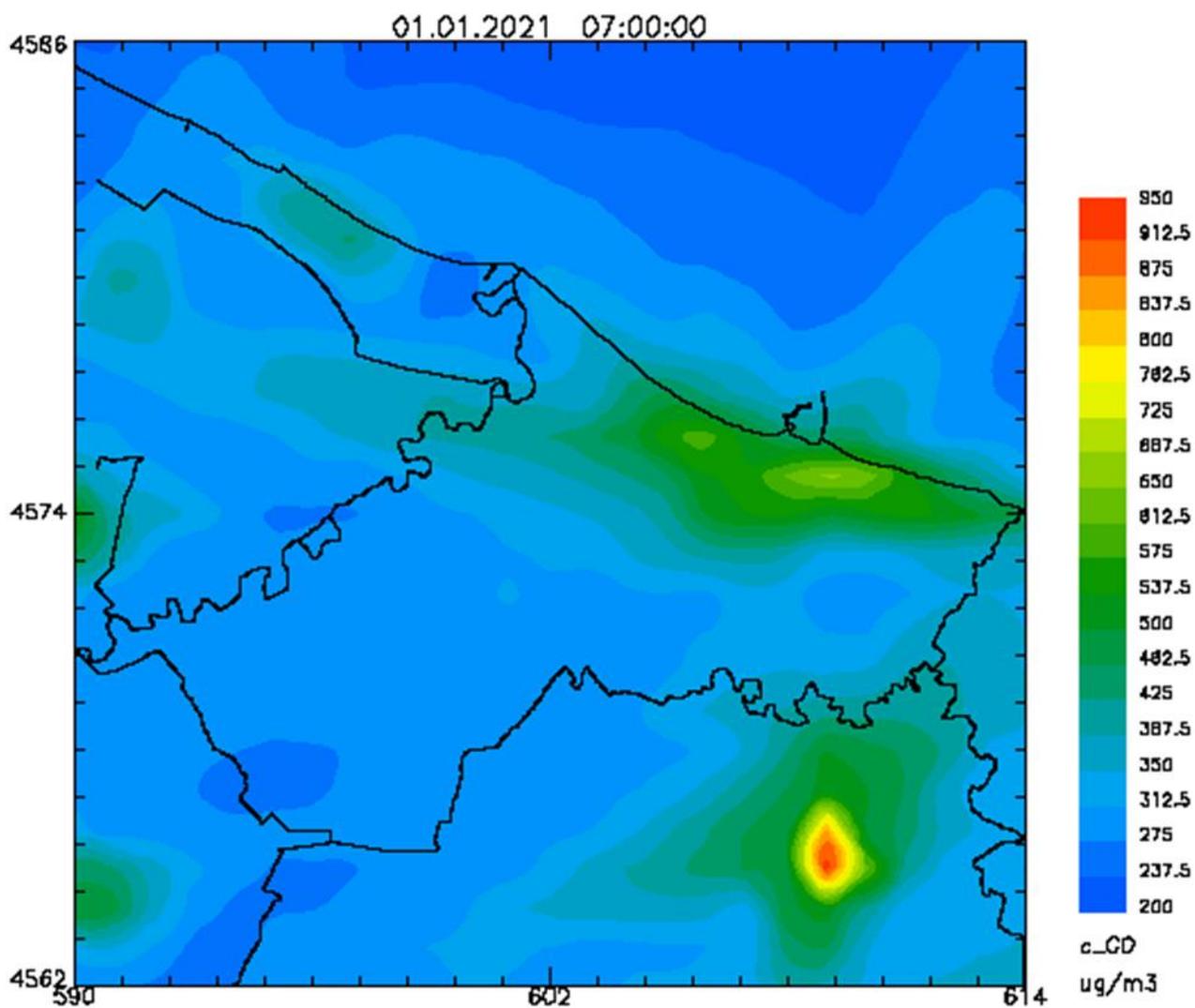
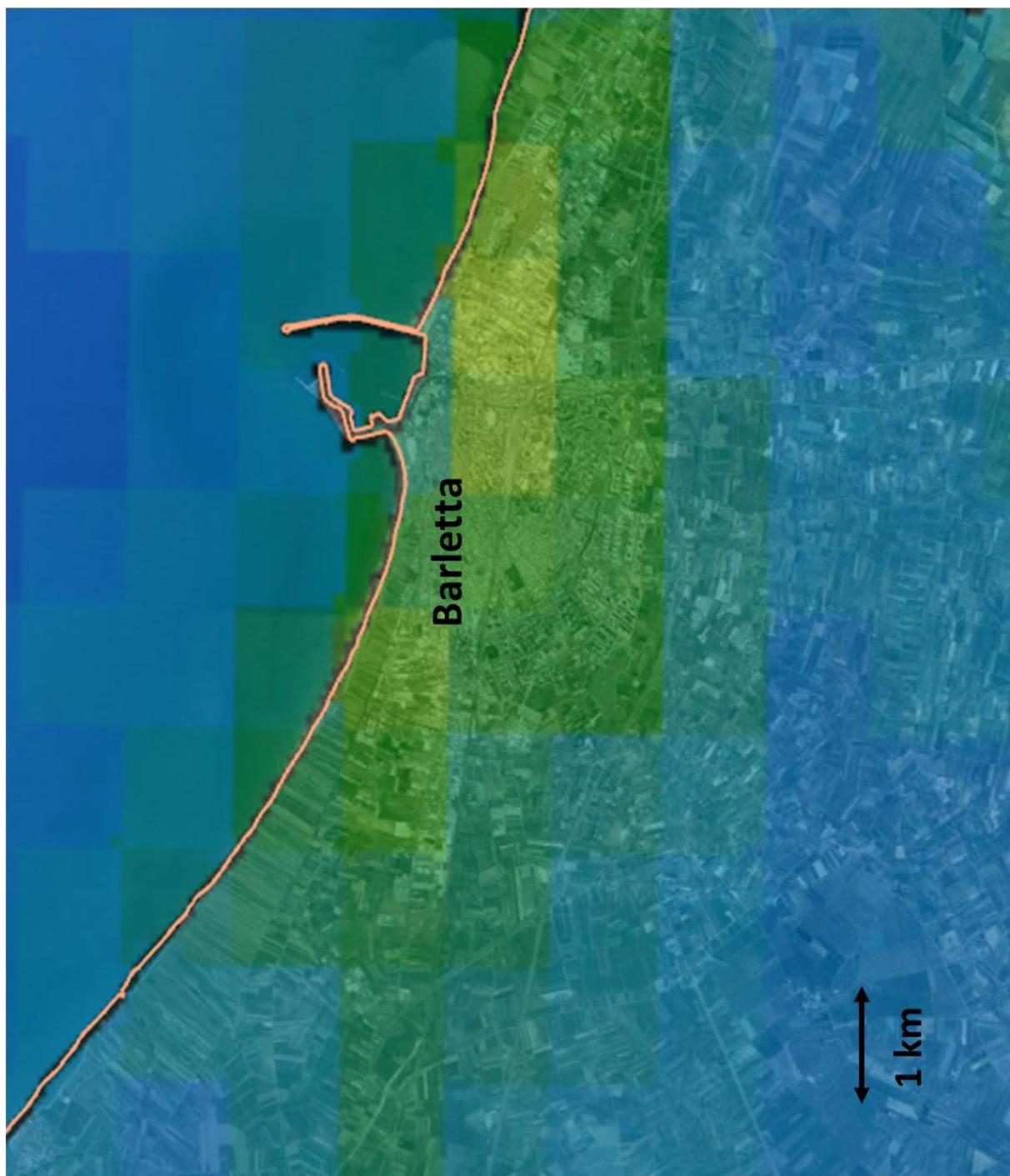


Figura 22: Mappa della massima concentrazione media mobile su 8 ore di CO, ottenuta tramite l'assimilazione.





3.7 BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂)

Il biossido di zolfo deriva dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. In passato è stato un importante inquinante atmosferico poiché la sua ossidazione porta alla formazione di acido solforoso e solforico. Il biossido di zolfo è un gas incolore facilmente solubile in acqua.

Le fonti naturali, come i vulcani, contribuiscono ai livelli ambientali di anidride solforosa. Le emissioni antropogeniche sono invece legate all'uso di combustibili fossili contenenti zolfo per il riscaldamento domestico, la generazione di energia e nei veicoli a motore. Nel tempo il contenuto di zolfo nei combustibili è sensibilmente diminuito, portando i livelli di SO₂ in area ambiente a livelli estremamente bassi. Il D.Lgs N.155/2010 fissa un valore limite orario di 350 µg/m³ da non superare più di 24 volte per anno, un valore limite giornaliero di 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte per anno e una soglia di allarme di 500 µg/m³ su tre ore consecutive.

Periodo di mediazione	Valore limite D.Lgs. N.155/2010
media oraria	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
Media giornaliera	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Media oraria	Soglia di allarme: 500 µg/m ³ su 3 ore consecutive

Nelle figure successive, relativamente alla specie SO₂, si mostrano nell'ordine le mappe della concentrazione relativa al 99.7° percentile, quella relativa al 99.2° percentile e quella relativa al massimo orario, calcolate sul territorio comunale di Barletta per il 2021, ottenute integrando i dati modellati con le misure. In nessun caso si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti per l'SO₂. I valori più elevati per gli indicatori considerati vengono stimati in corrispondenza delle aree industriali. Dal momento che le concentrazioni stimate risultano notevolmente al di sotto del limite stabilito dalla normativa, si è utilizzata una scala opportunamente dimensionata sul valore massimo della concentrazione modellata al fine di apprezzarne la variabilità spaziale.

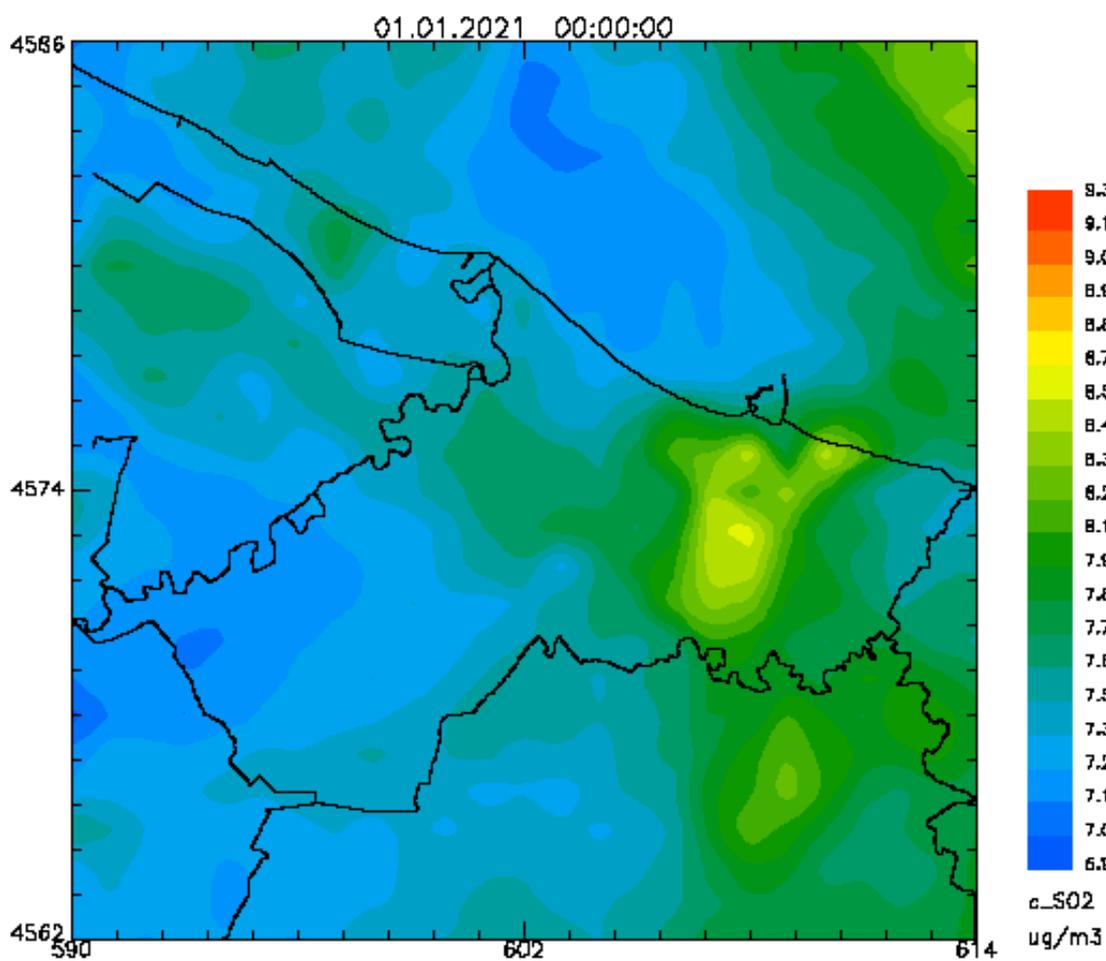
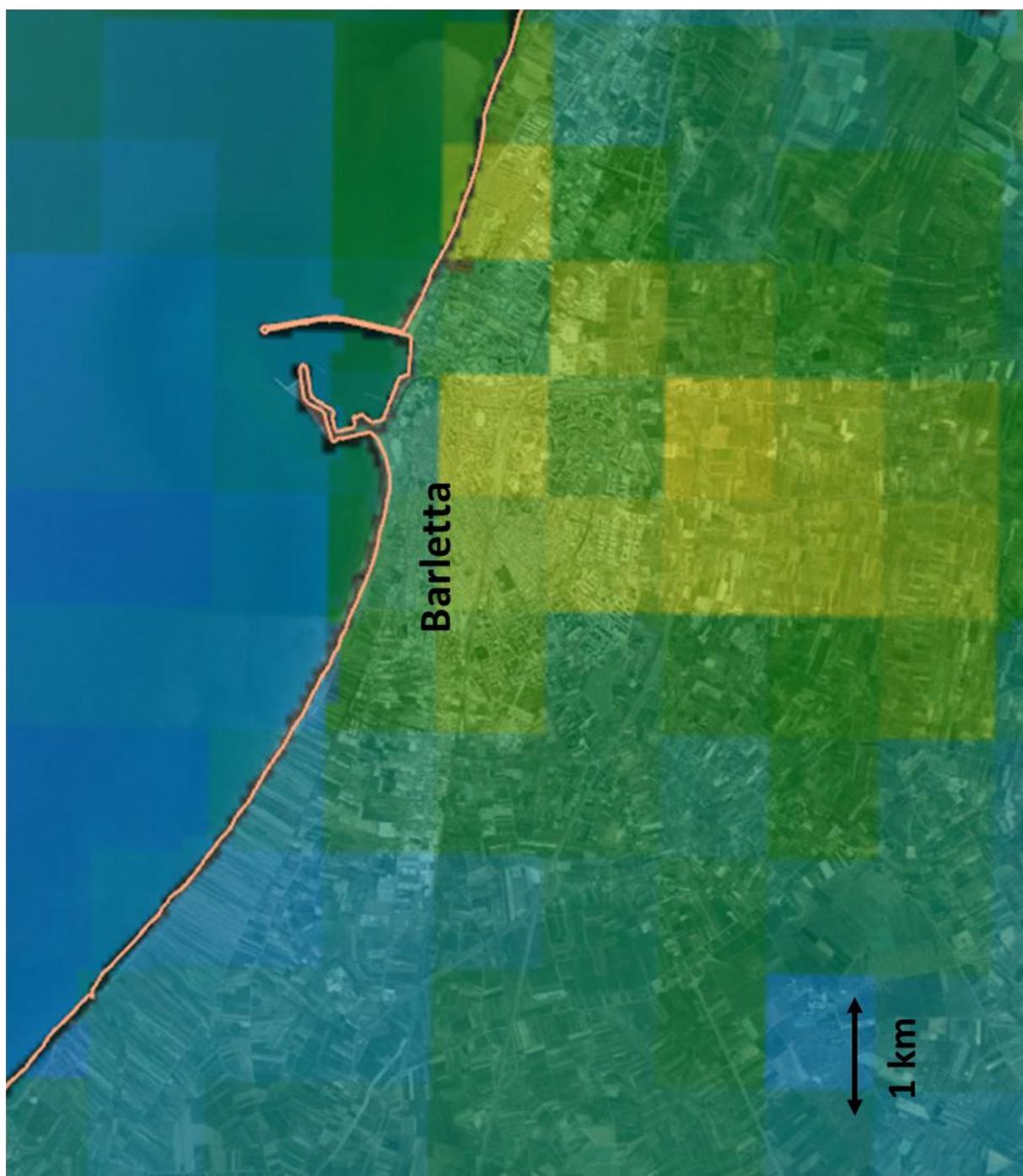


Figura 23: Mappa del 99.7° percentile di SO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, ottenuta tramite l'assimilazione.





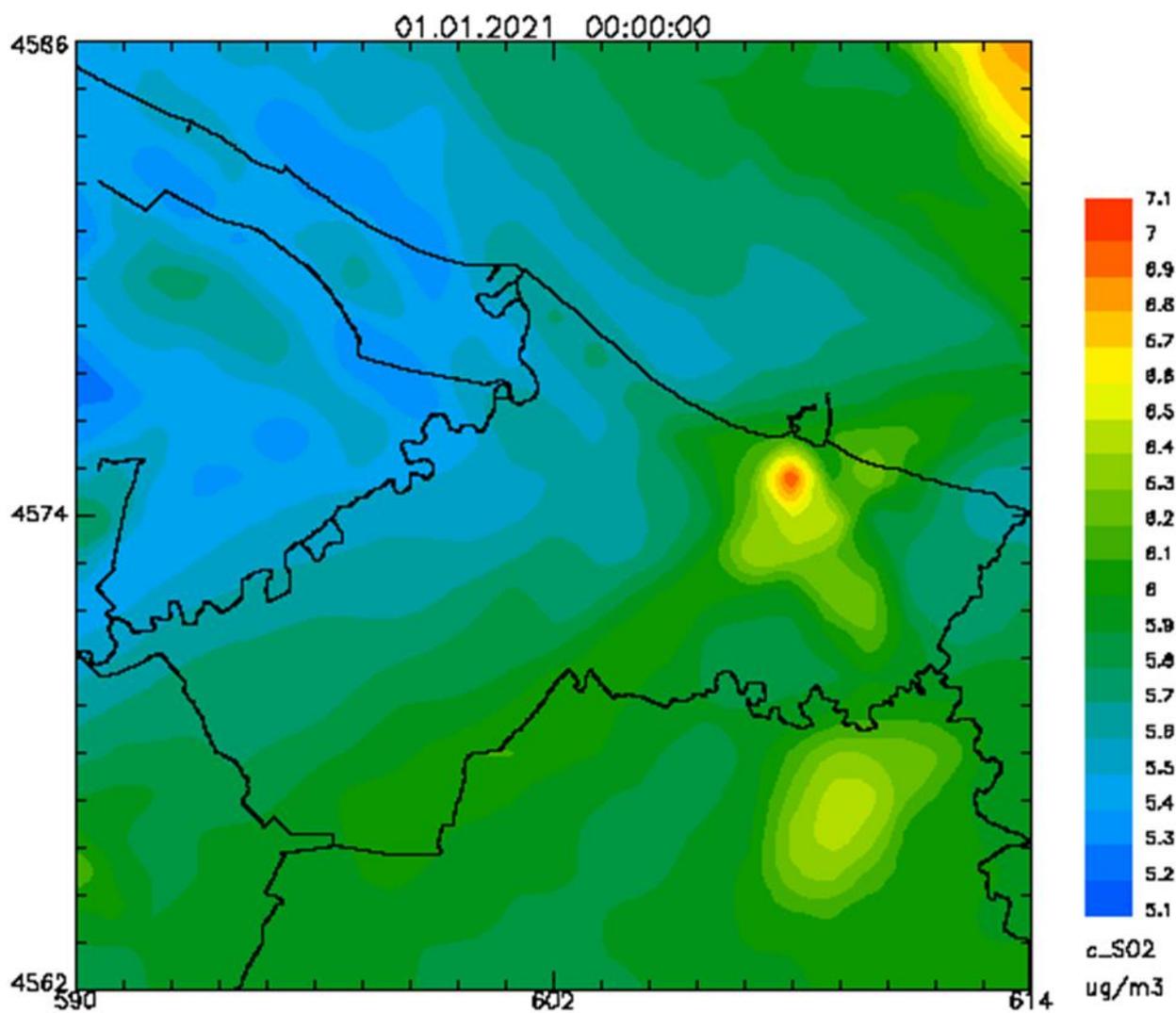
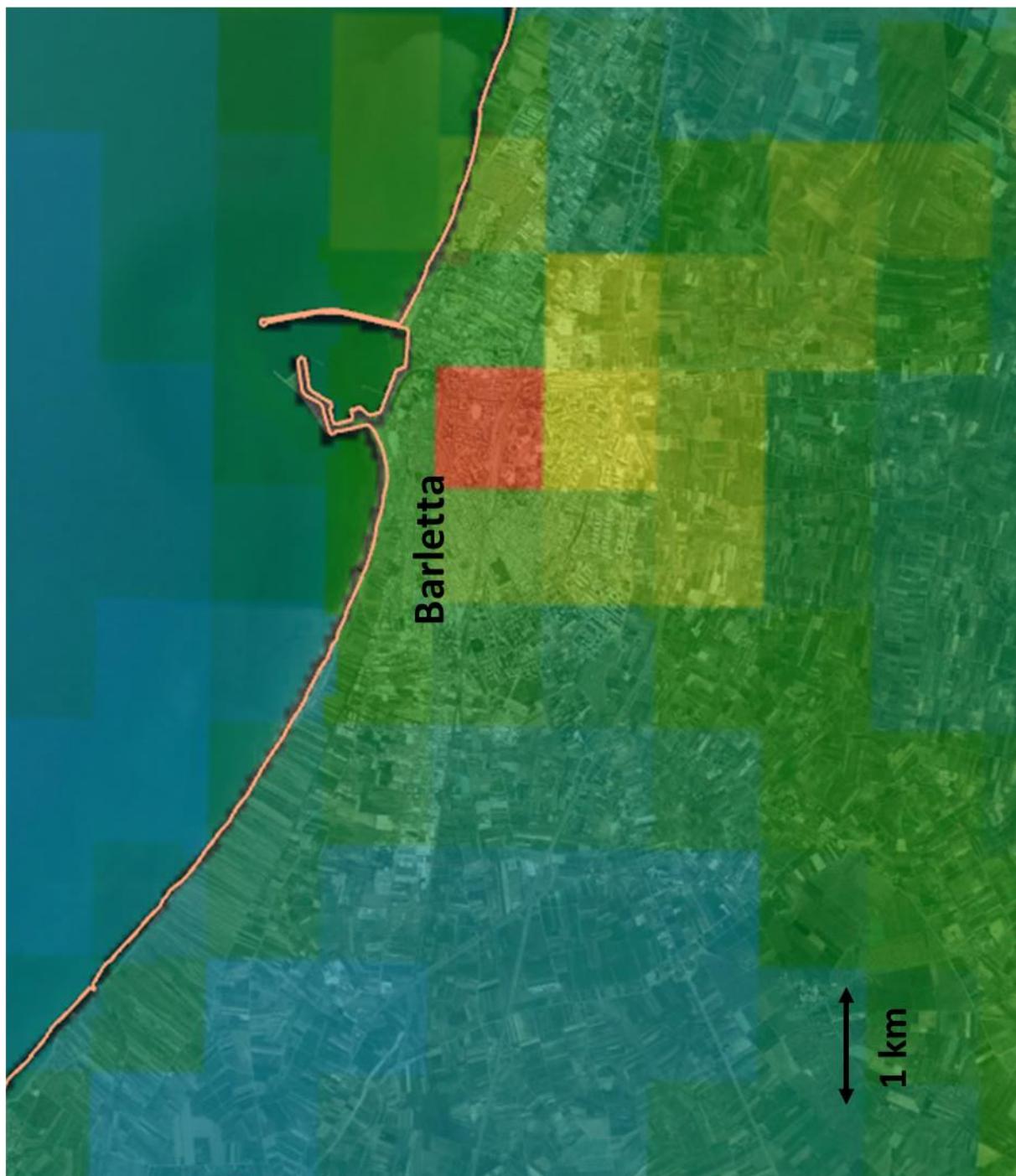
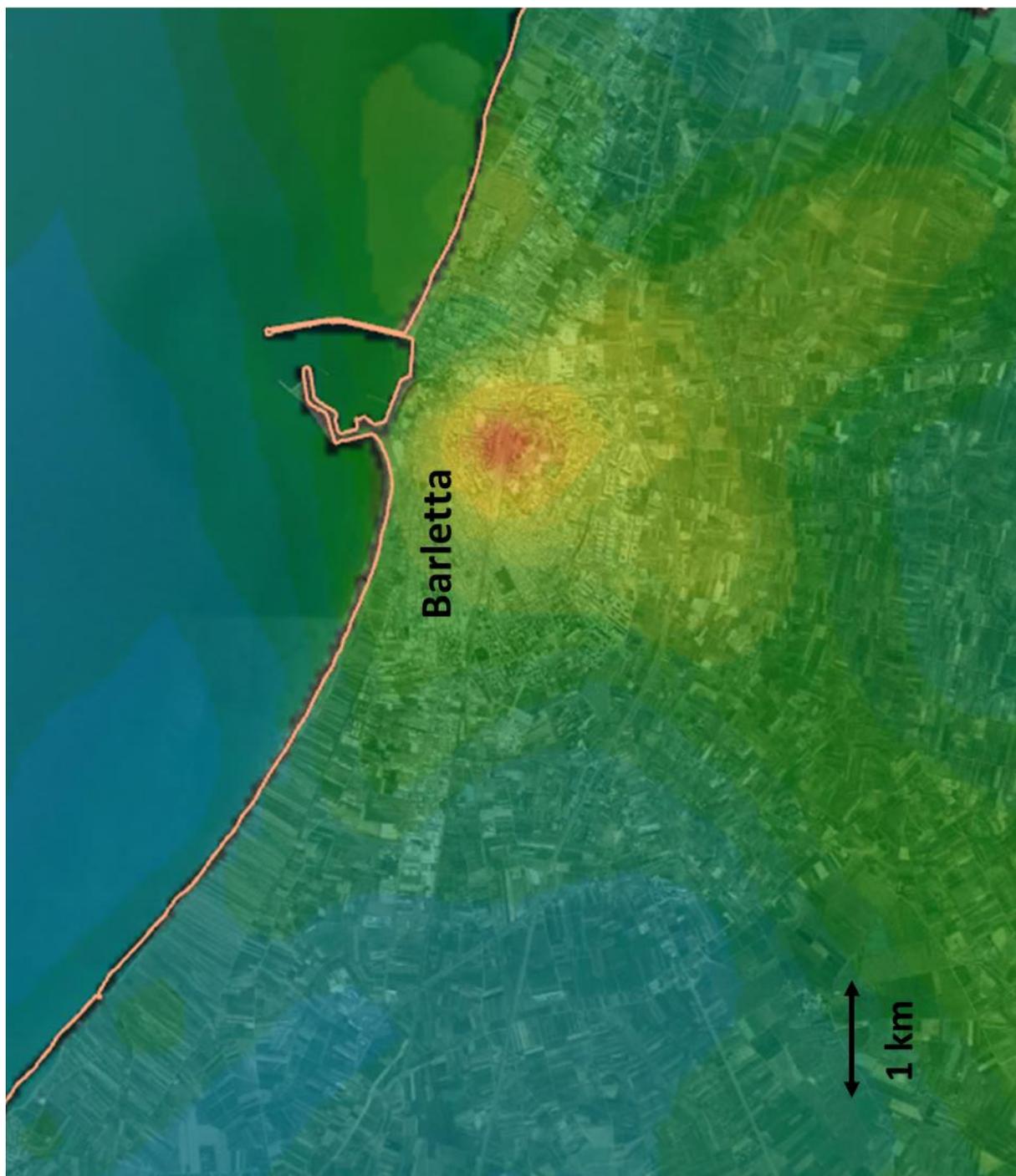
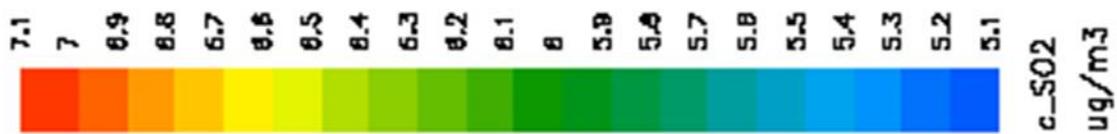


Figura 24: Mappa del 99.2° percentile di SO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni giornaliere, ottenuta tramite l'assimilazione.





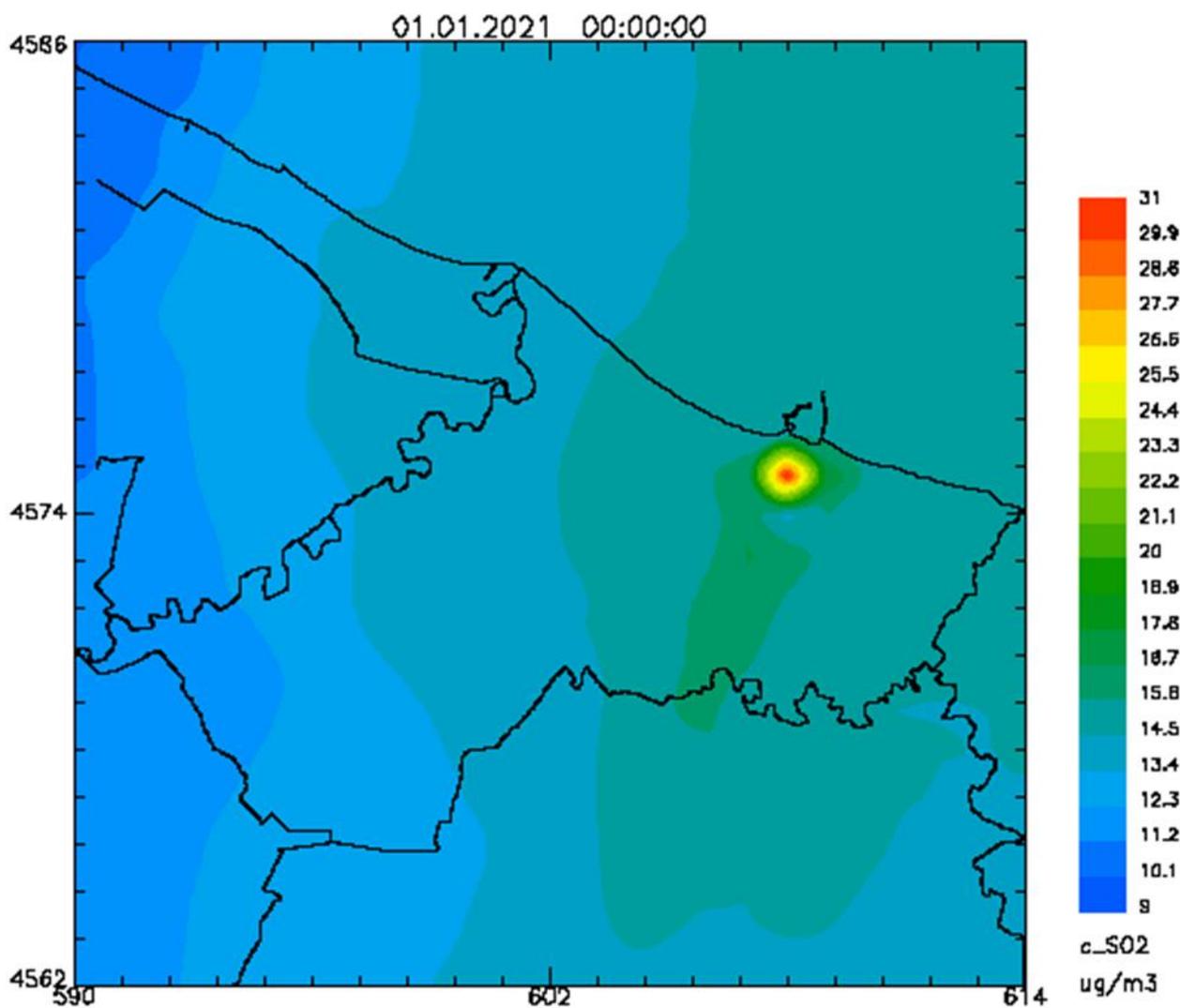
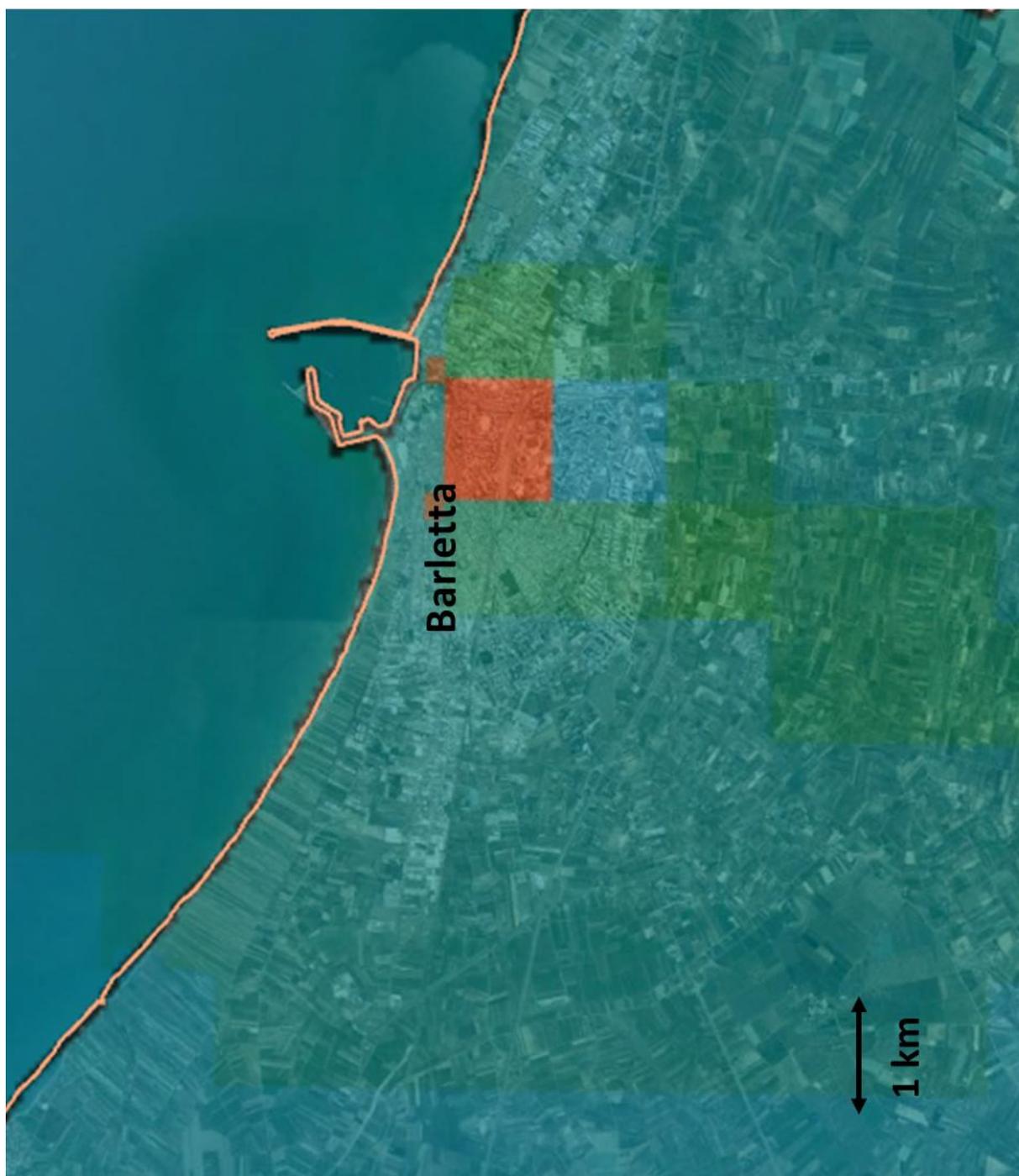


Figura 25: Mappa della concentrazione massima oraria di SO₂, ottenuta tramite l'assimilazione.





3.8 Benzo(a)Pirene nel PM₁₀

Il Benzo(a)pirene, classificato come cancerogeno per l'uomo (classe 1) dall'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC), è il marker della famiglia di inquinanti noti come idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Questa classe di composti è generata dalla combustione incompleta di sostanze organiche durante processi industriali e civili ed è tra i microinquinanti organici più diffusi nell'ambiente. Le principali sorgenti degli IPA sono i processi industriali (trasformazione di combustibili fossili, processi siderurgici, processi di incenerimento, produzione di energia elettrica, ecc.), i sistemi di riscaldamento domestico, il traffico autoveicolare e navale. La normativa prevede la determinazione del Benzo(a)pirene contenuto nel PM₁₀ e fissa un valore obiettivo di 1 ng/m³, da calcolare su base annua.

Periodo di mediazione	Valore obiettivo D.Lgs. N.155/2010
Media annuale	1.0 ng/m ³

Il sistema modellistico non prevede il superamento¹⁰ del valore obiettivo per il B(a)P nel comune di Barletta. Sul dominio mostrato, infatti, le concentrazioni medie annuali più elevate si osservano in corrispondenza di altri comuni. Il valore massimo si rileva in corrispondenza dell'area urbana del comune di Barletta ed è pari a 0.13 ng/m³.

¹⁰ È opportuno precisare che si verifica un superamento del valore obiettivo annuale su una cella del dominio di simulazione quando la concentrazione media annuale, ivi stimata, supera il valore di 1.055 ng/m³.

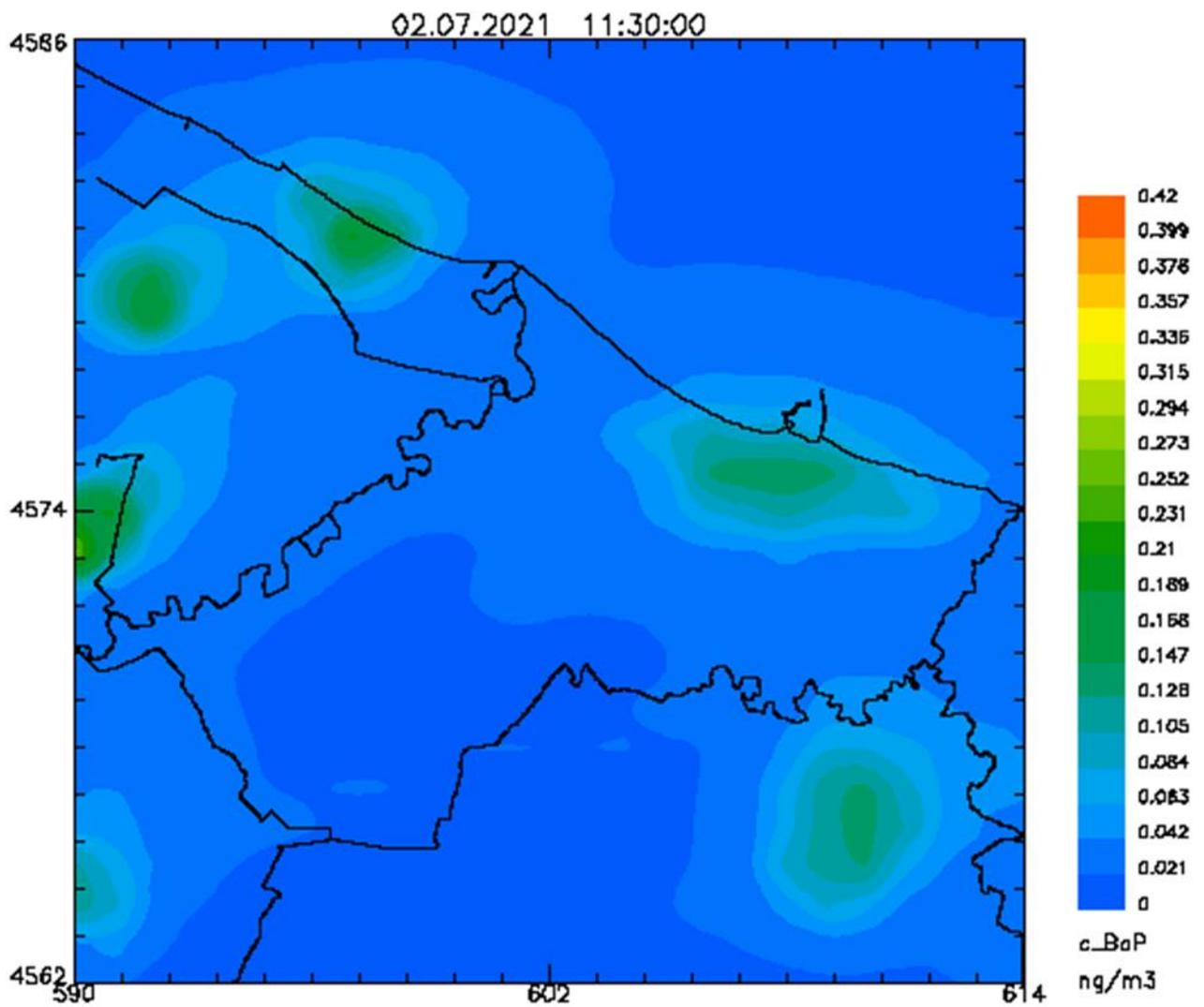


Figura 26: Mappa della concentrazione media annuale di Benzo(a)Pirene, ottenuta dal solo modello FARM.





3.9 METALLI NEL PM₁₀

I metalli pesanti per i quali la legislazione prescrive il monitoraggio in aria ambiente sono l'arsenico, il cadmio, il nichel e il piombo. Nell'atmosfera le sorgenti predominanti di origine antropica di metalli pesanti sono la combustione e i processi industriali, la produzione energetica e l'incenerimento dei rifiuti. L'entità degli effetti tossici esercitati dai metalli dipende da molteplici fattori quali: le concentrazioni raggiunte nei tessuti, le interazioni che si stabiliscono tra il metallo e i componenti cellulari, lo stato di ossidazione e la forma chimica in cui il metallo è assorbito o viene a contatto con le strutture bersaglio dell'azione.

Il D.Lgs N.155/2010 prevede la determinazione dei metalli pesanti contenuti nel PM₁₀ fissando i seguenti valori obiettivi annui: Arsenico: 6.0 ng/m³; Cadmio: 5.0 ng/m³; Nichel 20.0 ng/m³. Per il Piombo è invece in vigore un limite annuo di 500 ng/m³.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore obiettivo D.Lgs.N.155/2010
Arsenico	Media annuale	6.0 ng/m ³
Cadmio	Media annuale	5.0 ng/m ³
Nichel	Media annuale	20.0 ng/m ³
Piombo	Media annuale	500 ng/m ³

Per l'Arsenico non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana sul territorio di Barletta. Dal momento che le concentrazioni stimate risultano notevolmente al di sotto del limite stabilito dalla normativa, si è utilizzata una scala opportunamente dimensionata sul valore massimo della concentrazione media annuale modellata.

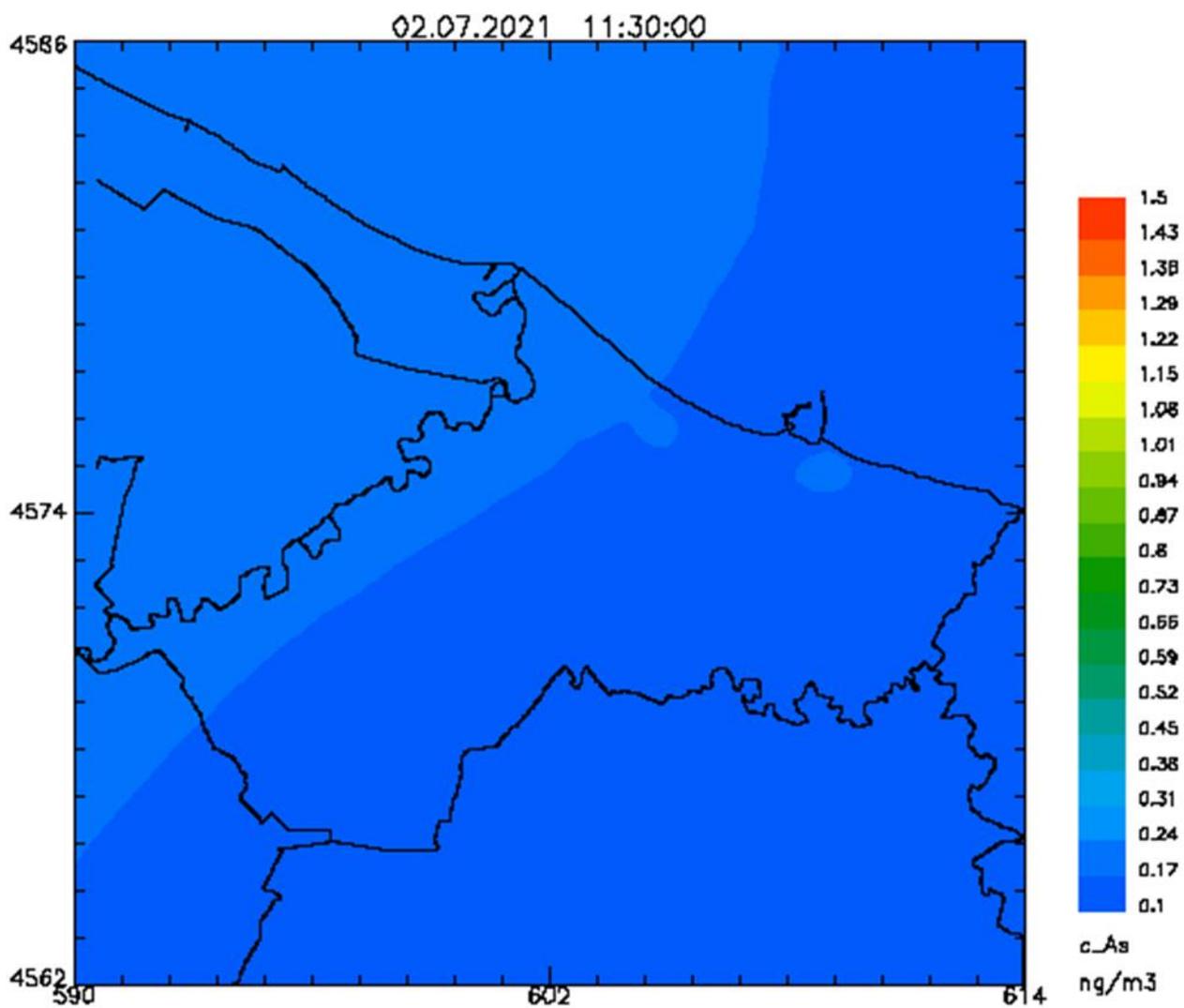
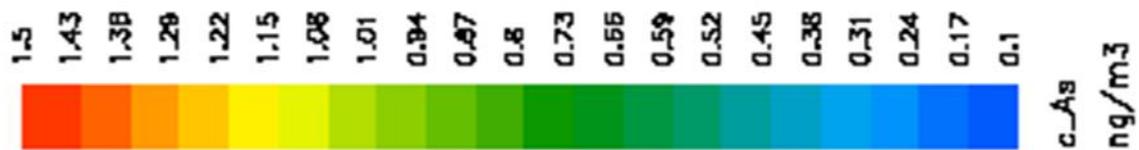


Figura 27: Mappa della concentrazione media annuale di Arsenico, ottenuta dal solo modello FARM.





Per il Cadmio non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana sul dominio di interesse. Dal momento che le concentrazioni stimate risultano notevolmente al di sotto del limite stabilito dalla normativa, si è utilizzata una scala opportunamente dimensionata sul valore massimo della concentrazione media annuale modellata al fine di apprezzarne la variabilità spaziale.

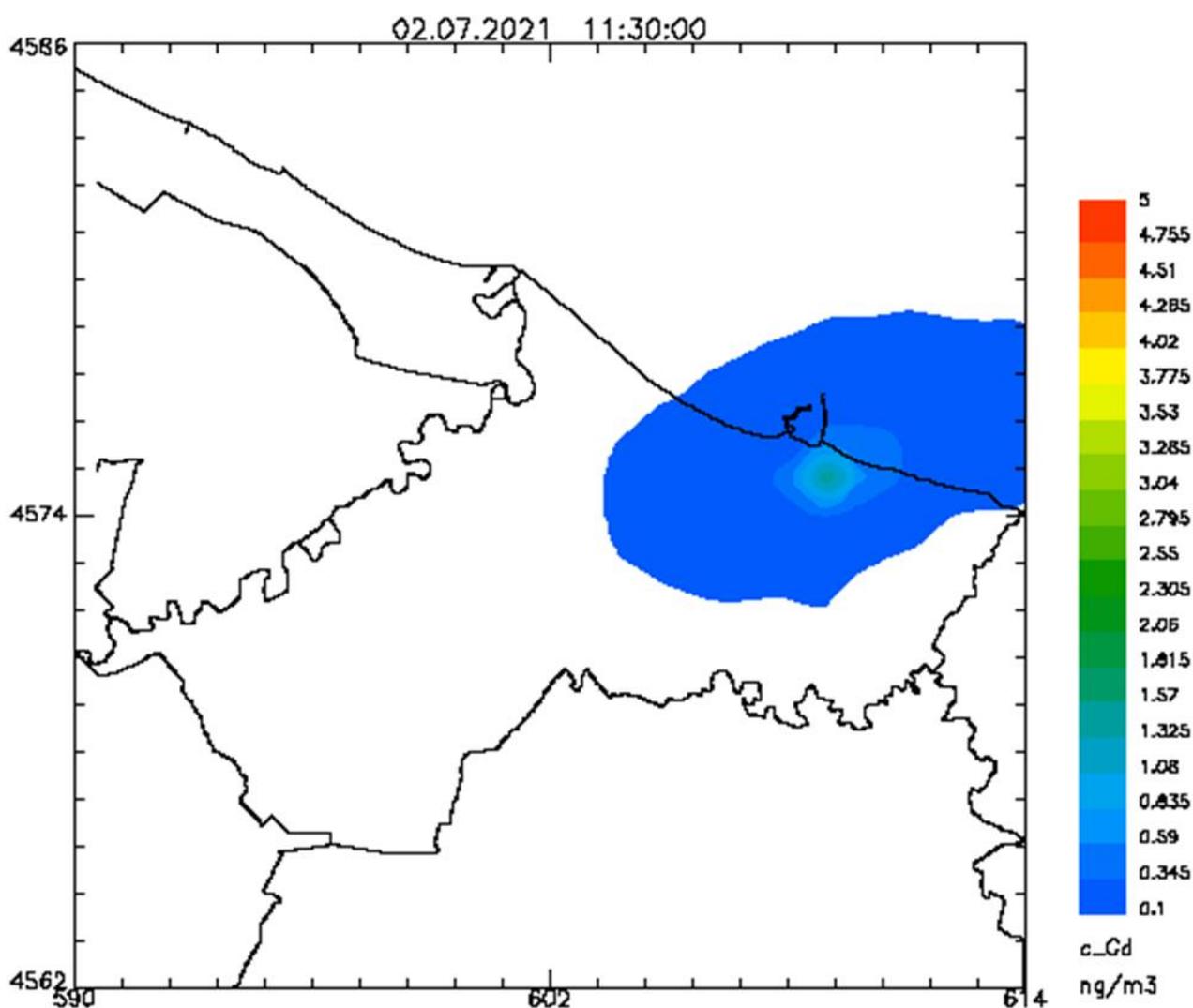
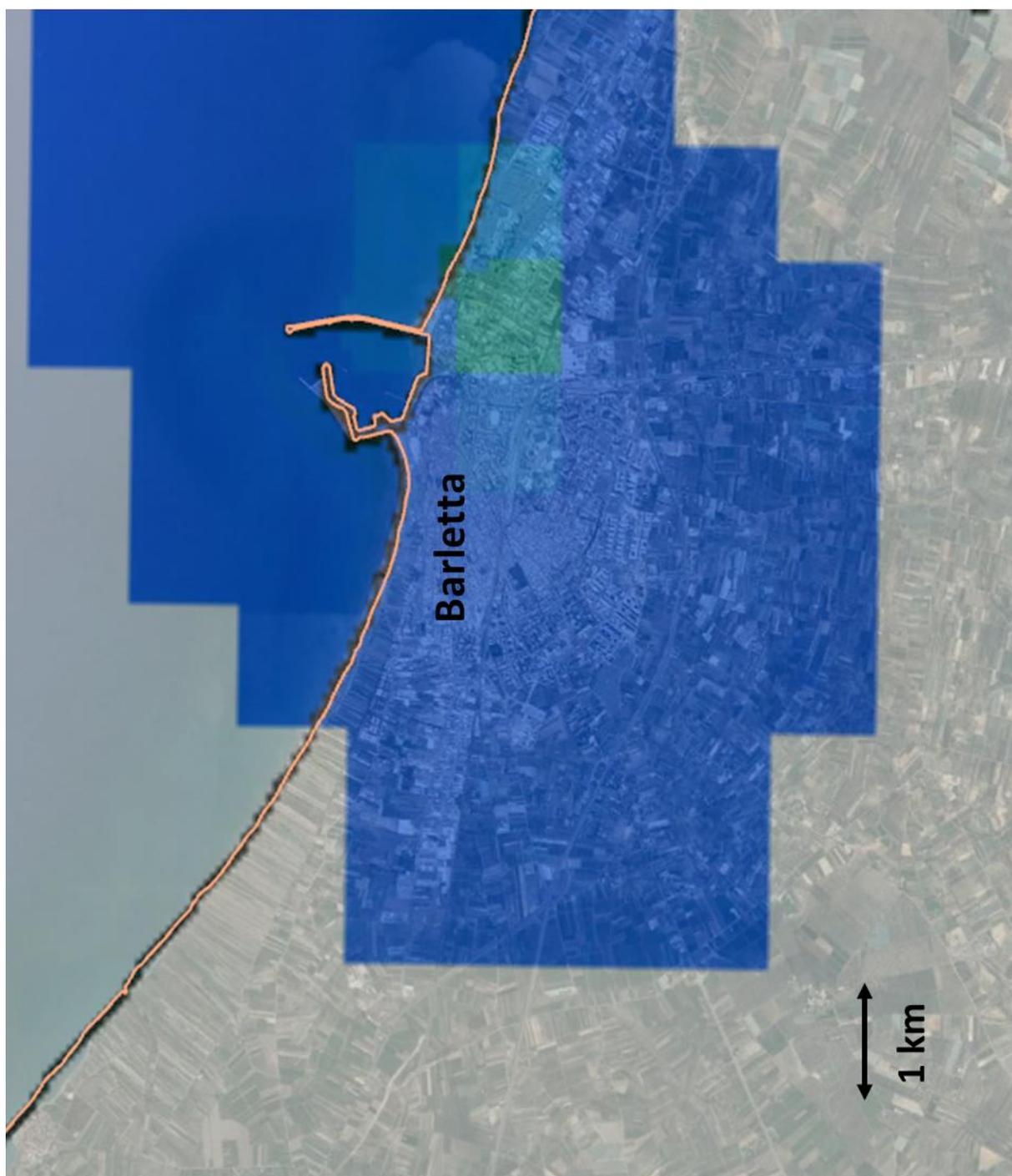
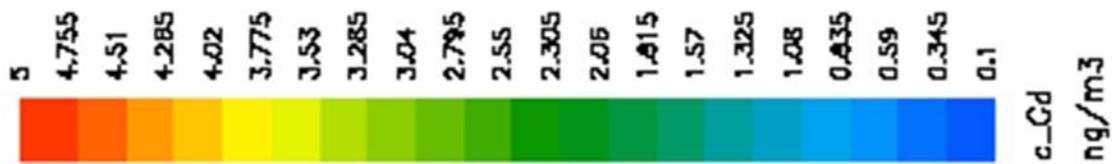
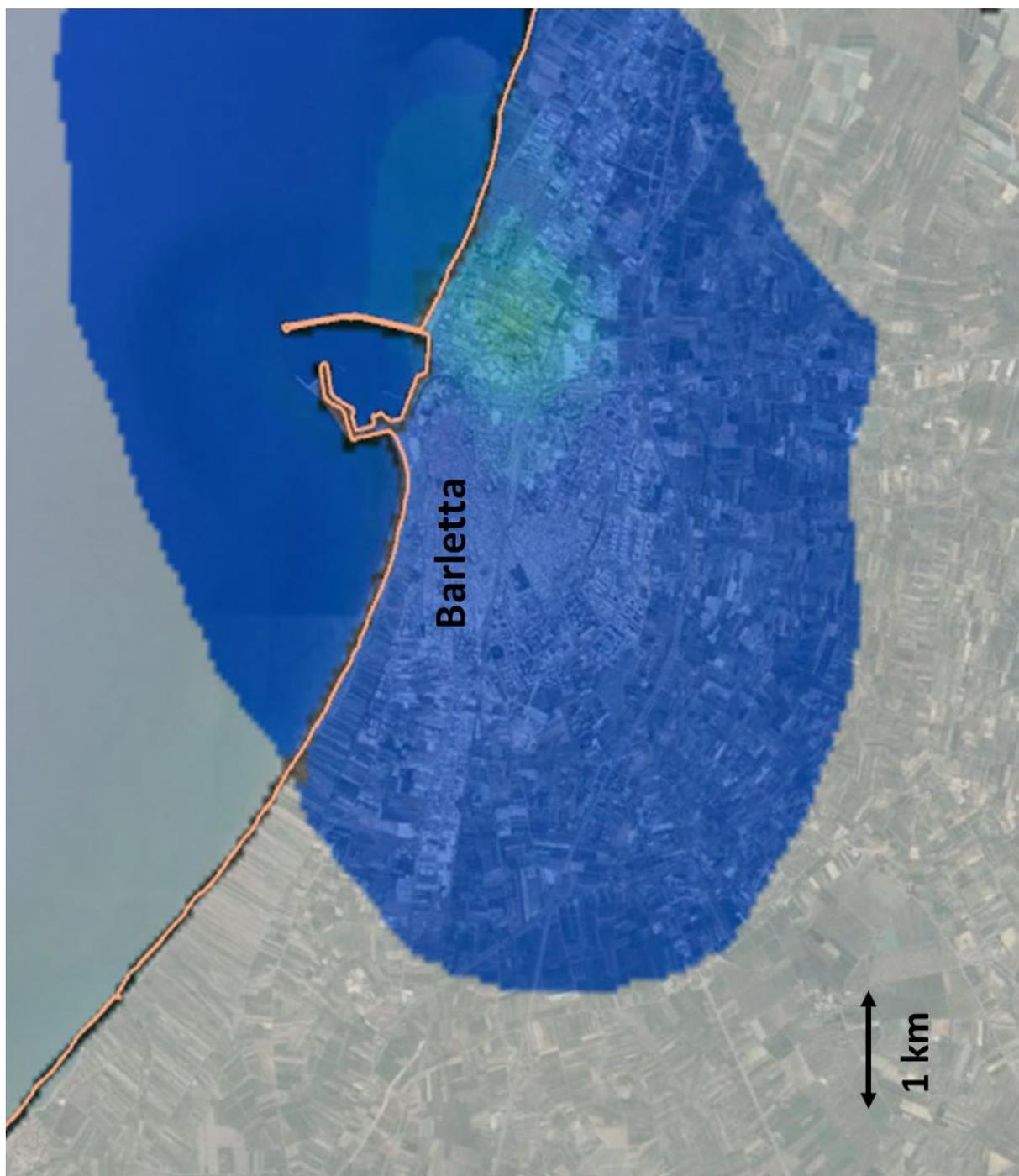
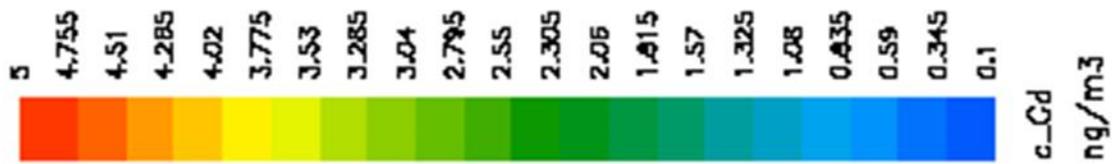


Figura 28: Mappa della concentrazione media annuale di Cadmio, ottenuta dal solo modello FARM.





Anche per il Nichel non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

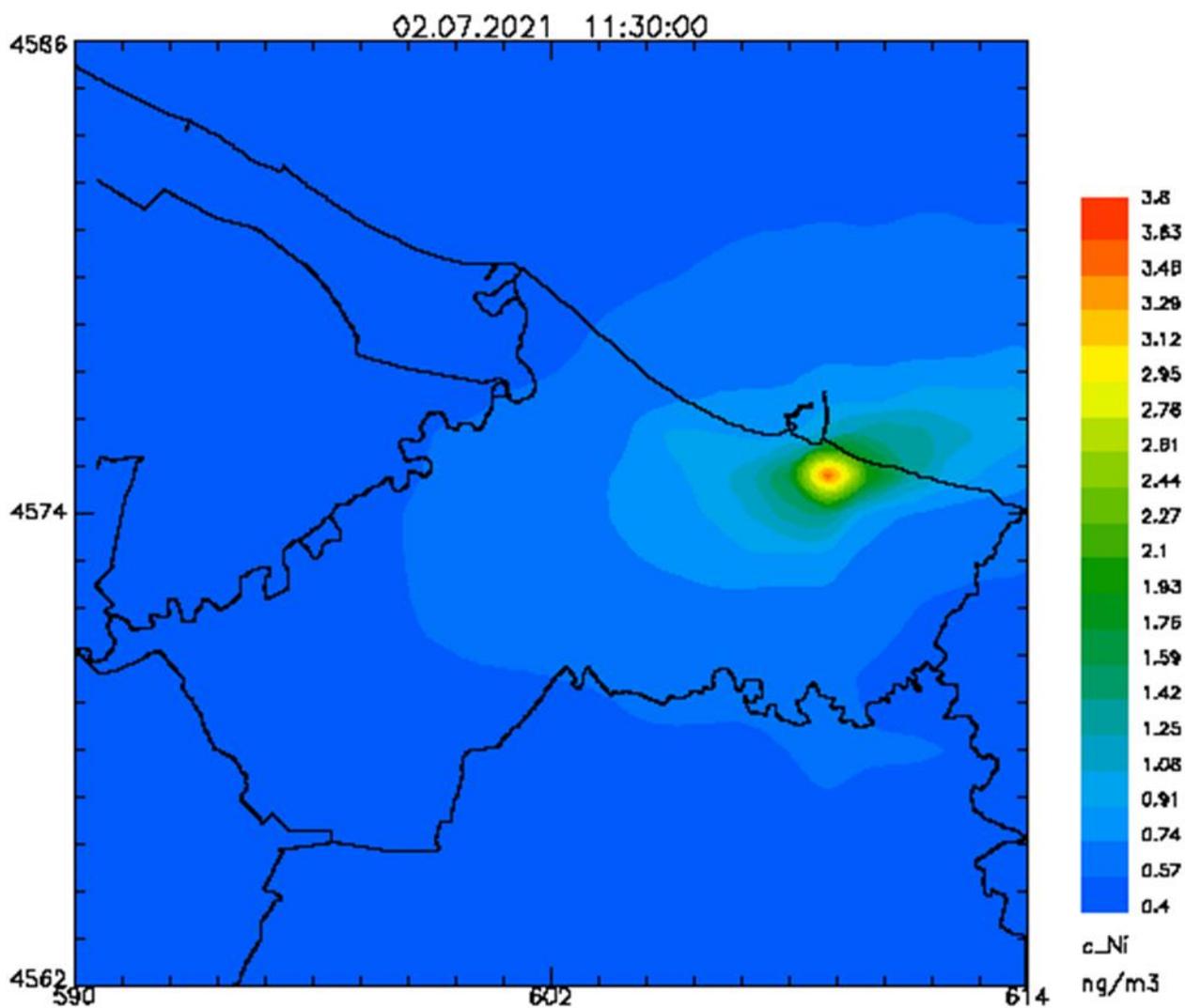
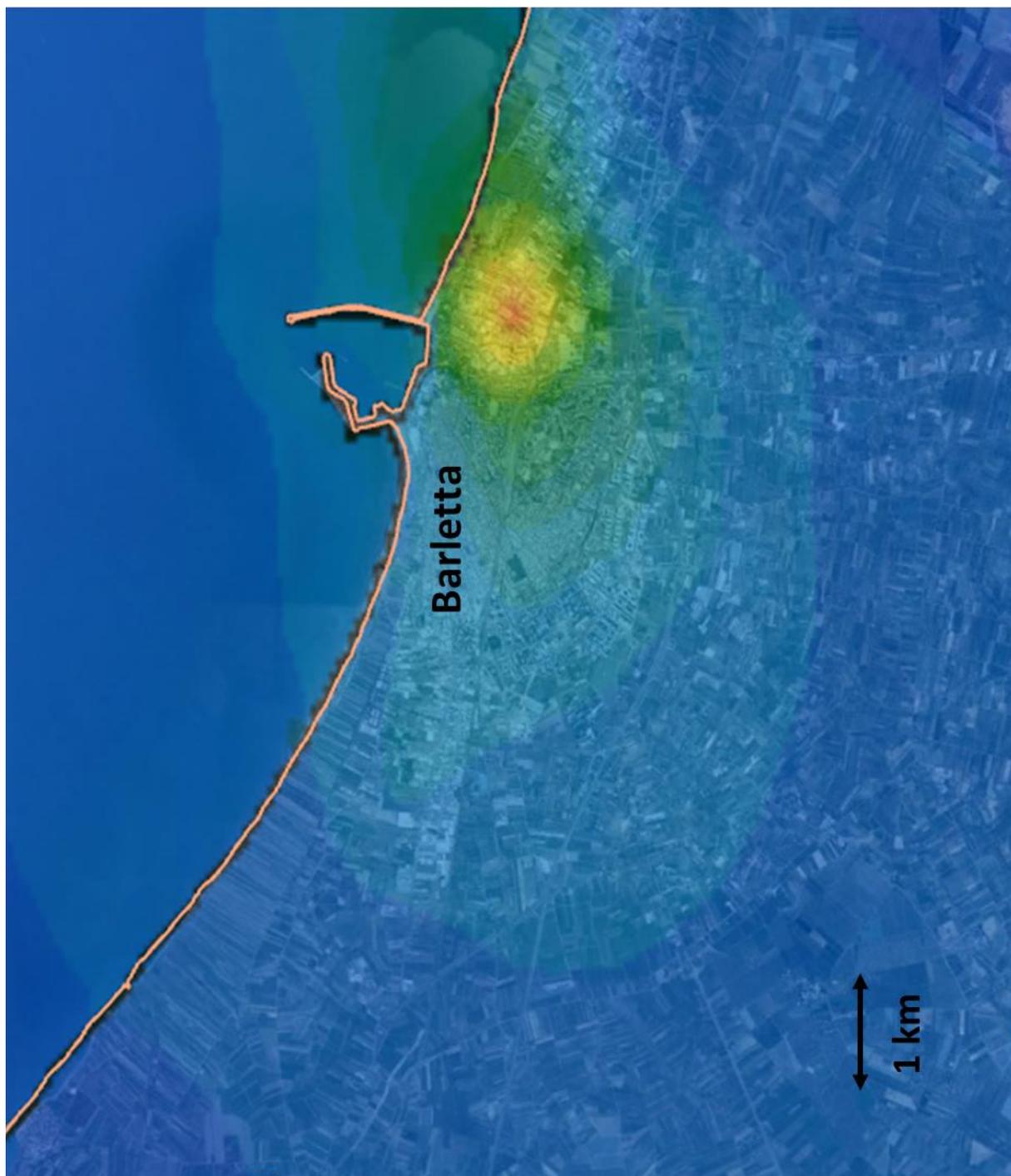


Figura 29: Mappa della concentrazione media annuale di Nichel, ottenuta dal solo modello FARM.





Analogamente per il Piombo non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

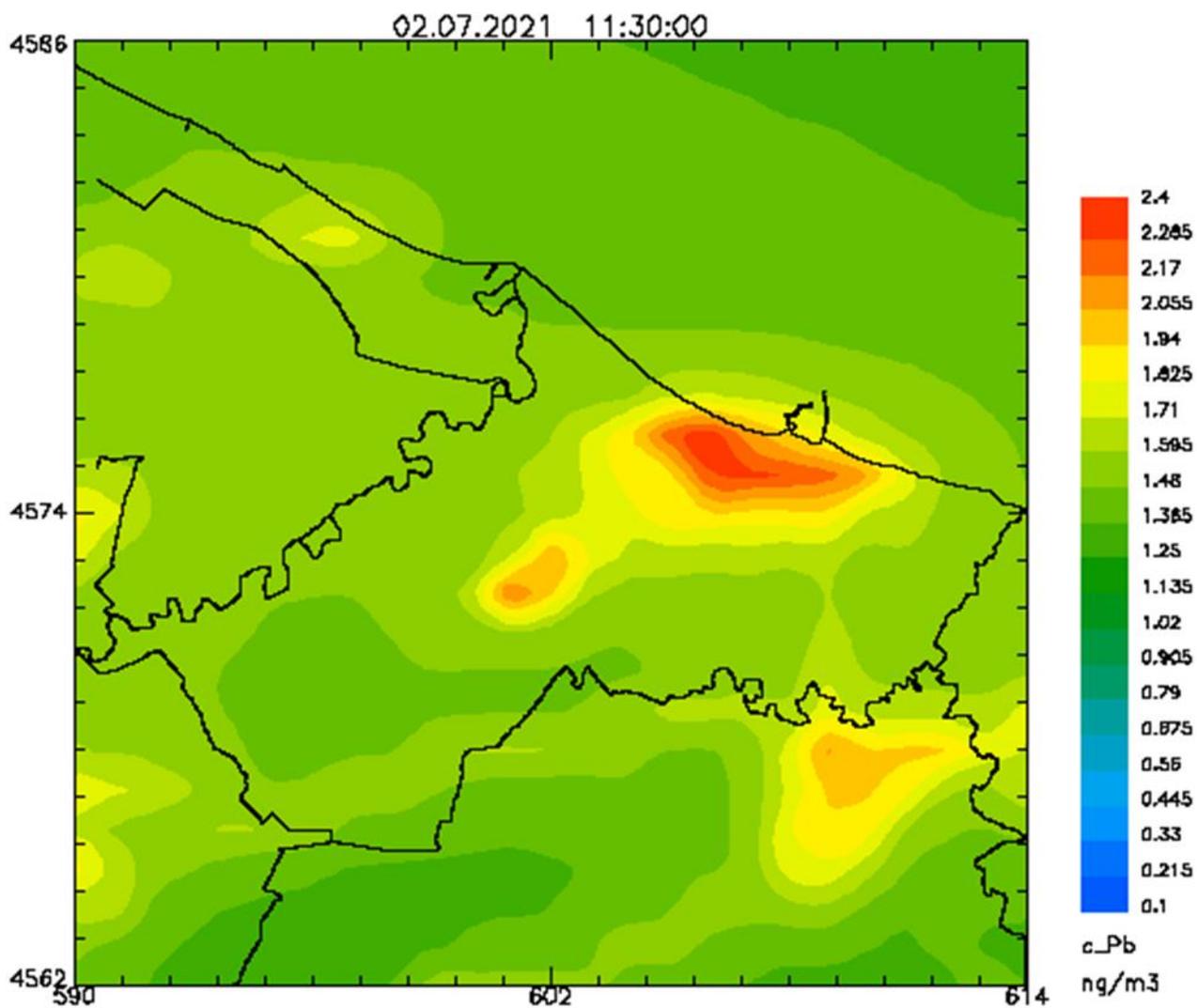
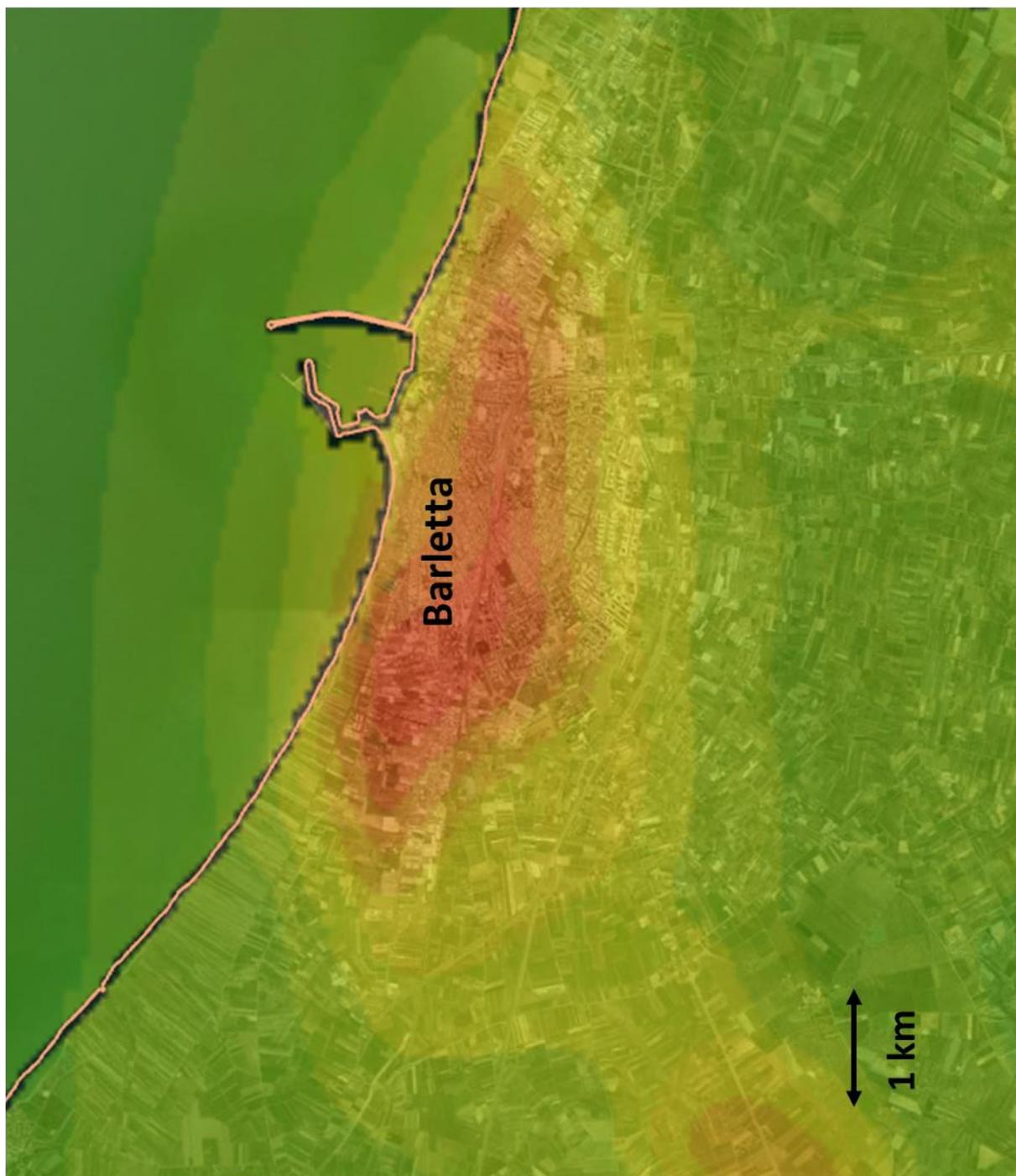
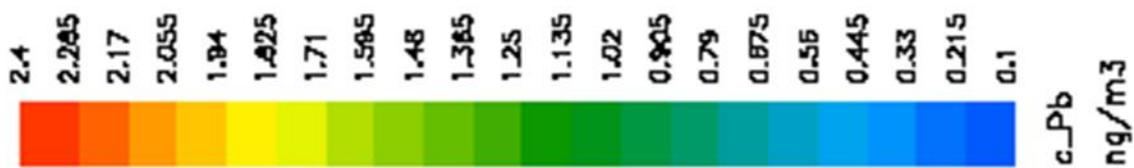


Figura 30: Mappa della concentrazione media annuale di Piombo, ottenuta dal solo modello FARM.





4. CONCLUSIONI

La ricostruzione dello stato della qualità dell'aria condotta ad una risoluzione spaziale pari ad 1km x1km attraverso l'ausilio delle tecniche di modellizzazione combinate, per gli inquinanti NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, C₆H₆ e O₃, anche con le misure di qualità dell'aria disponibili non ha evidenziato per il 2021 nel territorio del comune di Barletta alcun superamento dei limiti previsti dalla normativa. Relativamente all'ozono, tuttavia, il sistema modellistico prevede lungo la costa il superamento del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana.

Anche per quanto riguarda i metalli pesanti As, Cd, Ni e Pb e per il B(a)P la valutazione condotta con l'ausilio del solo modello non ha evidenziato la presenza di superamenti dei limiti previsti dalla normativa vigente per la protezione della salute umana.