

APPENDICE A

**MODELLIZZAZIONI DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA
(STUDIO SVILUPPATO DA ARIANET S.R.L.)**



**PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DELLA CENTRALE DEL
TELERISCALDAMENTO LAMARMORA**

**MODELLIZZAZIONE DELLE
EMISSIONI IN ATMOSFERA**

Autori

Alessandro Nanni, Paola Radice

Riferimento

ARIANET (asm) R07

12 Ottobre 2005

SOMMARIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduzione | 2 |
| 2 | Inquadramento generale e normativo | 4 |
| 2.1 | Inquinamento a scala urbana e regionale | 4 |
| 2.1.1 | Gli ossidi di azoto | 4 |
| 2.1.2 | Il particolato | 4 |
| 2.2 | Riferimenti normativi | 6 |
| 2.2.1 | Normativa europea | 6 |
| 2.2.2 | Normativa nazionale | 6 |
| 3 | Caratterizzazione di sito | 8 |
| 3.1 | Inquadramento geografico | 8 |
| 3.2 | Caratterizzazione meteoclimatologica | 9 |
| 3.2.1 | Vento | 10 |
| 3.2.2 | Temperatura | 11 |
| 3.2.3 | Radiazione | 12 |
| 3.2.4 | Stabilità atmosferica | 13 |
| 3.3 | Rete di monitoraggio e qualità dell'aria | 15 |
| 4 | Descrizione del quadro emissivo | 19 |
| 4.1 | Stato attuale anno 2004 | 19 |
| 4.1.1 | Centrale Lamarmora | 19 |
| 4.1.2 | Altre emissioni | 20 |
| 4.2 | Scenario progettuale | 22 |
| 4.2.1 | Centrale Lamarmora | 22 |
| 4.2.2 | Altre sorgenti | 23 |
| 4.3 | Bilancio emissivo scenario progettuale -scenario attuale | 23 |
| 5 | Simulazioni numeriche d'impatto atmosferico | 24 |
| 5.1 | Descrizione del modello utilizzato | 24 |
| 5.2 | Simulazioni d'impatto della centrale Lamarmora e dell'intero sistema di riscaldamento civile | 25 |
| 6 | Conclusioni | 50 |
| 7 | Bibliografia | 51 |
| 8 | Appendice A - ARIA Impact™ | 52 |
| 8.1 | Ipotesi fondamentali e formulazione | 52 |
| 8.2 | La turbolenza atmosferica | 52 |
| 8.3 | Sovrainnalzamento del pennacchio | 53 |
| 8.4 | Concentrazioni al suolo | 53 |
| 8.5 | Trattamento del terreno | 54 |

1 Introduzione

Con la delibera n. 70 del 30/01/2002 la Giunta Comunale di Brescia, nell'esprimere il proprio benessere per l'avvio di tutti gli atti inerenti alla realizzazione dell'Unità a Biomasse c/o il Termoutilizzatore, impegnava ASM Brescia S.p.A. ad adottare provvedimenti per la riduzione delle emissioni dei Gruppi 1 e 2 della Centrale Lamarmora mediante la loro trasformazione in ciclo combinato a metano.

D'altro canto, il fabbisogno di energia termica nel comune limitatamente all'aspetto relativo al riscaldamento ambienti e parzialmente al consumo di acqua calda sanitaria, in particolare per le utenze servite dall'impianto di teleriscaldamento, ha un grado di copertura della volumetria servita attualmente pari a circa il 65% del totale relativo alla Città. Tale grado di copertura, pur non distante dai limiti tecnico - economici imposti dai costi di distribuzione e allacciamento, ha tuttora un significativo margine di sviluppo. Inoltre, attualmente la volumetria allacciata alla rete di teleriscaldamento è pari a circa 35,2 milioni di m³ (dato aggiornato al 31/12/2004), mentre si stima che l'incremento della volumetria allacciata alla rete di teleriscaldamento nello scenario progettuale sarà del 28%, cioè raggiungerà il valore di circa 45 milioni di m³. Sulla base di queste stime, la potenzialità termica complessiva attualmente disponibile non è sufficiente a coprire la richiesta alla punta invernale prevista per lo scenario progettuale.

Da ciò deriva la necessità, oltre che di intervenire sui vecchi impianti da un punto di vista ambientale mediante la riduzione delle emissioni inquinanti, di integrare la capacità produttiva del sistema di teleriscaldamento con nuovi impianti di produzione per soddisfare le esigenze future e garantire al contempo un adeguato margine di riserva, per fare fronte ad indisponibilità per guasti o manutenzioni.

Il presente documento contiene una stima dell'impatto sulla qualità dell'aria del progetto di ristrutturazione della centrale nell'ambito del SIA che la società D'Appolonia deve redigere in merito. Le attività sono state condotte in conformità con la normativa vigente in materia, ed in particolare il DPCM del 27/12/88 (che regola le norme tecniche di redazione degli studi di impatto ambientale) ed il recente DM 261/2002 recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria.

Più in dettaglio, il DM 261 include, quali elementi di sintesi relativi all'inquinamento atmosferico e alla valutazione della qualità dell'aria, oltre ai dati di rete:

- gli inventari delle emissioni,
- i modelli di dispersione atmosferica,
- le mappe di concentrazione per i diversi inquinanti.

L'analisi ha per oggetto le principali specie inquinanti emesse dalla centrale e di rilevanza per il territorio bresciano: in particolare, ossidi di azoto (NO_x) e polveri, l'obiettivo è di produrre la stima delle concentrazioni medie al suolo – orarie o giornaliere - su un periodo climatologico e confrontarle con quelle prodotte dalle altre sorgenti che concorrono al sistema di riscaldamento del territorio (Termoutilizzatore ASM [TU] e riscaldamento diffuso) e con i dati della rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

Per coerenza con quanto già presentato e pubblicato in tema di stime modellistiche di qualità dell'aria, e cioè:

- ✓ lo studio prodotto dal Comune di Brescia e dall'Università di Brescia circa il contributo all'inquinamento atmosferico delle varie fonti inquinanti (2004);
- ✓ lo studio d'impatto atmosferico della terza linea del TU nell'ambito di una procedura di VIA volontaria condotta da ASM (ARIANET, 2004);

come anno meteorologico di riferimento è stato individuato il 2000.

Il dominio d'indagine è stato fissato in un quadrato di lato 25km centrato sulla città di Brescia. Questo studio consente di mettere in relazione le emissioni della centrale con quelle che concorrono a determinare il contributo dell'intero settore del riscaldamento.

Per lo studio è stato utilizzato un modello di dispersione semplice (modello gaussiano), al fine di elaborare un numero elevato di situazioni meteorologiche e di sorgenti: le simulazioni sono state condotte con il pacchetto software **ARIA Impact™**, contenente un modello gaussiano tradizionale, coerente con le raccomandazioni della U.S. EPA (Environmental Protection Agency) e in grado di trattare sorgenti puntuali, lineari ed areali. Il modello ARIA Impact™ è in uso presso diverse ARPA, Enti Locali, società di consulenza, è inserito nella lista dei modelli segnalati da APAT ed ha partecipato all' "Esercizio di applicazione di modello di qualità dell'aria a scala locale" indetto nel 2004 dal CTN-ACE.

Per meglio evidenziare i benefici e le criticità indotte dalla ristrutturazione della centrale, sono state simulate congiuntamente le emissioni delle fonti coinvolte nel sistema di riscaldamento della città di Brescia (convenzionalmente costituito, oltre che dalla CTEC Lamarmora, dal TU e dal residuo riscaldamento residenziale); lo scenario progettuale (con la centrale ristrutturata) è stato confrontato con uno scenario emissivo attuale riferito all'anno 2004, al fine di evidenziare le variazioni a seguito della ristrutturazione e delle relative estensioni del teleriscaldamento in città.

Sono state prodotte mappe di concentrazione al suolo relative ai parametri di legge previsti dalla normativa vigente (DM 60/2002), considerando congiuntamente anche le altre sorgenti emmissive.

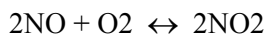
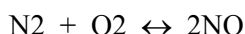
2 Inquadramento generale e normativo

2.1 Inquinamento a scala urbana e regionale

La presenza di un'elevata densità di attività antropiche ed emissive in un ambiente con caratteristiche di dispersione atmosferica non pronunciate, può generare variazioni significative della qualità dell'aria in ambito locale. Tipici esempi di infrastrutture in cui sono rilevabili criticità ambientali sono le aree urbane, le reti stradali e i poli industriali. Le conseguenze di un'alterazione della qualità dell'aria sono: possibili rischi per la salute, danni alla vegetazione ed agli ecosistemi. Le caratteristiche degli inquinanti atmosferici considerati in questo studio sono qui di seguito brevemente descritte.

2.1.1 Gli ossidi di azoto

In termini d'inquinamento atmosferico, gli ossidi di azoto che destano più preoccupazione sono NO ed NO₂. Questi ultimi si formano dalla reazione di due gas (N₂ e O₂) comunemente presenti nell'aria nelle percentuali di circa 80% e 20% rispettivamente. I due gas reagiscono però solo ad elevate temperature formando monossido di azoto, il quale, ossidandosi a sua volta, forma biossido di azoto secondo le seguenti reazioni:



Ne consegue che durante il processo di combustione si hanno come reazioni collaterali le due riportate sopra. Oltre che per le sue caratteristiche di tossicità (piuttosto ridotte) NO è importante in quanto entra nel ciclo fotolitico dell'azoto. Tale fenomeno è una conseguenza diretta dell'interazione tra luce solare e NO₂. Le fasi del ciclo sono:

NO₂ assorbe energia dal sole sotto forma di luce ultravioletta;

l'energia assorbita scinde le molecole di NO₂ in molecole di NO e atomi di ossigeno O; l'ossigeno atomico prodotto è molto reattivo;

gli atomi di ossigeno atomico reagiscono con l'ossigeno atmosferico (O₂) per produrre ozono (O₃), un inquinante secondario;

l'ozono reagisce con NO per dare NO₂ e O₂ e il ciclo si chiude.

Se il ciclo avvenisse effettivamente così, NO₂ si convertirebbe in NO per trasformarsi nuovamente in NO₂ senza modifiche nelle concentrazioni dei due composti a regime. In realtà gli idrocarburi presenti nell'atmosfera interferiscono nel ciclo, permettendo che NO si converta più rapidamente in NO₂ di quanto NO₂ venga dissociato in NO e O, con un conseguente accumulo di NO₂ e di ozono.

La maggior fonte di inquinamento da NO_x sono i trasporti. In particolare i motori diesel producono più ossidi di azoto dei motori a benzina, poiché utilizzano miscele molto povere in termini di rapporto aria-combustibile. Elevata è anche l'emissione dovuta agli impianti industriali.

2.1.2 Il particolato

L'insieme complessivo delle particelle presenti in atmosfera prende il nome di PTS (Particolato Totale Sospeso). Con la terminologia aerosol atmosferici si intende l'insieme delle particelle la cui dimensione può variare da qualche decimo a qualche centinaio di micron (µm). Particelle di diametro inferiore a 2.5 µm (generalmente indicate con la sigla PM_{2.5}) sono dette particolato fine (fine particles), quelle di dimensione

superiore genericamente polveri (coarse particles). Si definisce inoltre la classe PM10, che rappresenta la porzione di particolato con diametro inferiore ai 10 µm e sulla quale è attualmente concentrata l'attenzione in termini sia scientifici sia legislativi.

I particolati presenti in atmosfera provengono in buona parte anche da processi naturali, quali le eruzioni vulcaniche e l'azione del vento sulla polvere e sul terreno, processi che solo raramente provocano vero e proprio inquinamento (tranne localmente, a fronte di eventi particolarmente intensi). La sorgente principale è infatti da ricercarsi nelle attività dell'uomo, tipicamente l'industria delle costruzioni (particelle di polvere), le fonderie (ceneri volatili) e i processi di combustione incompleta (fumi). Per quanto riguarda gli impianti di combustione fissi, il maggior contributo è fornito dalle centrali termoelettriche non dotate di adeguati sistemi di abbattimento, mentre tra i processi industriali quelli metallurgici occupano il primo posto nell'emissione di polveri inquinanti, seguiti dalle industrie di lavorazione delle pietre e del cemento.

Il traffico urbano contribuisce all'inquinamento dell'aria da particolato sia a causa del processo di combustione, sia attraverso la lenta polverizzazione della gomma dei pneumatici, dei freni e dell'asfalto. Il diametro delle particelle in sospensione è indicativamente correlato alla fonte di provenienza come indicato in tabella 1.

Tabella 1 - Dimensioni ed emissioni di particolato.

| Diametro | Provenienza |
|-------------------|---|
| >10 µm | processi meccanici (es. erosione del vento, macinazione e diffusione), polverizzazione di materiali da parte di veicoli; |
| tra 1 µm e 10 µm | provenienza da particolari tipi di terreno, da polveri e prodotti di combustione di determinate industrie e da sali marini in determinate località; |
| tra 0.1 µm e 1 µm | Combustione ed aerosol fotochimici; |
| < 0.1 µm | particelle non sempre identificabili chimicamente, originate apparentemente quasi del tutto da processi di combustione. |

2.2 Riferimenti normativi

2.2.1 Normativa europea

Attualmente le direttive di riferimento sono le seguenti:

- Dir 96/62/CE (“Direttiva madre”) - In materia di valutazione e di gestione della qualità dell’aria ambiente;
- Dir 99/30/CE - Concernente i valori limite di qualità dell’aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido d’azoto, gli ossidi d’azoto, le particelle e il piombo;
- Dir 2000/69/CE - Concernente i valori limite per il benzene e il monossido di carbonio nell’aria ambiente;
- Dir 2002/03/CE - Concernente i valori limite per l’ozono (non ancora recepita dalla normativa nazionale).

2.2.2 Normativa nazionale

- DPCM 28/3/1983 - Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno;
- DPR 203/88 (relativamente agli impianti preesistenti) ed altri decreti attuativi - Attuazione Direttive n. 80/779, 82/884, 84/360, 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell’aria relativamente a specifici agenti inquinanti e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali ai sensi dell’art. 15 della Legge 16/4/87 n. 183;
- DM 20/5/1991 - Criteri per l’elaborazione dei piani regionali per il risanamento e la tutela della qualità dell’aria;
- DM 15/4/1994 - Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, ai sensi degli artt. 3 e 4 del DPR 24 maggio 1988, n. 203 e dell’art. 9 del DM 20 maggio 1991;
- DM 25/11/1994 - Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994;
- DM 16/5/1996 - Attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono;
- DL 4/8/99 n. 351 - Attuazione della direttiva 96/62 in materia di valutazione e gestione della qualità dell’aria;
- DM 2/4/2002 n.60 - Decreto concernente i valori limite di qualità dell’ambiente per alcuni inquinanti; in particolare, in recepimento delle successive Direttive CE, abroga alcuni articoli del DPR 203/88 fissando nuovi limiti per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle, il piombo, il benzene ed il monossido di carbonio;
- DM 1/10/2002 n.261 - Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell’aria ambiente, i criteri per l’elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351.

I diversi limiti attualmente in vigore per i vari inquinanti sono riassunti nelle tabelle 2, 3 e 4 ; quest’ultima riporta gli inquinanti considerati in questo studio (NO_x e PM10):

Tabella 2 - Limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dal DM 60/2002 in recepimento della dir 2000/69/CE.

| Inquinante | Tipo di limite | Limite | Tempo di mediazione dati | Margine di tolleranza | Entrata in vigore |
|------------------------------|--|----------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Monossido di carbonio | valore limite per la protezione della salute umana | 10 mg/m ³ | media massima giornaliera su 8 ore | 6 mg/m ³ (*) | 1/1/2005 |
| Benzene | valore limite per la protezione della salute umana | 5 µg/m ³ | media annuale | 100%**) | 1/1/2010 |

(*) All'entrata in vigore della direttiva 2000/69/CE, con una riduzione lineare il 1 gennaio 2003 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2005.

(**) All'entrata in vigore della direttiva 2000/69/CE, con una riduzione lineare il 1 gennaio 2006 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2010.

Tabella 3 - Limiti alle concentrazioni di ozono in atmosfera indicati dal DM 16/05/96.

| | | | | | |
|--------------|-------------------------------|--|--|--|--|
| Ozono | protezione della salute umana | Media 8 ore: 120 µg/m ³ da non superare più di 25 gg/anno (media su 3 anni) | | | |
| | protezione dell'ecosistema | AOT40 ^(*) : 18000 µg/m ³ h (media su 5 anni) | | | |

(*) L'organizzazione mondiale della sanità ha stabilito linee guida per la protezione della vegetazione sulla base del parametro AOT40. Si tratta di un indice di esposizione a lungo termine che rappresenta la somma di tutti i superamenti orari rispetto al valore di 40 ppb (circa 80 µg /m³) nel periodo di tempo determinato.

Tabella 4 - Limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dal DM 60/2002 in recepimento della dir 1999/30/CE.

| Inquinante | Tipo di limite | Limite (µg/m ³) | Tempo di mediazione dati | Margine di tolleranza | Entrata in vigore |
|--------------------------|--|--|--------------------------|--|-------------------|
| Biossido di azoto | valore limite per la protezione della salute umana | 200 (da non superare più di 18 volte l'anno) | media oraria | 50% (**) | 1/1/2010 |
| | valore limite per la protezione della salute umana | 40 | media annuale | 50% (**) | 1/1/2010 |
| Ossidi di azoto | valore limite per la protezione degli ecosistemi | 30 | media annuale | Nessuno | 19/7/2010 |
| PM10 (fase 1) | valore limite per la protezione della salute umana | 50 (da non superare più di 35 volte l'anno) | media nelle 24 ore | 50% (**) | 1/1/2005 |
| | valore limite per la protezione della salute umana | 40 | media anno | 20% (*) | 1/1/2005 |
| PM10 (fase 2) | valore limite per la protezione della salute umana | 50 (da non superare più di 7 volte l'anno) | media nelle 24 ore | (in base ai dati; deve essere equivalente al val.lim.fase 1) | 1/1/2010 |
| | valore limite per la protezione della salute umana | 20 | media annuale | 50% (***) | 1/1/2010 |

(*) All'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1 gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2005.

(**) All'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1 gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2010.

(***) Al 1 gennaio 2005 con riduzione ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% entro il 1 gennaio 2010.

3 Caratterizzazione di sito

3.1 Inquadramento geografico

L'area urbana della città di Brescia si estende per circa 5km verso E e quasi 10km verso N. La città si colloca ai limiti della Pianura Padana, entro un naturale anfiteatro di Prealpi che la riparano nei settori tra E e NW, culminando a NNE nei monti Palosso e Conche, di oltre 1100 m.

L'area d'indagine presa in considerazione (figura 1), di 25km di lato, è percorsa da numerosi corsi d'acqua, che corrono tutti verso il Po a sud, tra cui i fiumi Mella (che proviene dalla Val Trompia verso N), Chiese ed il torrente Garza; a NW è compresa una porzione di Lago d'Iseo. Il territorio comunale di Brescia è inoltre interessato a sud dall'autostrada A4 Milano-Venezia, da cui si dirama verso S la A21 Brescia-Piacenza.

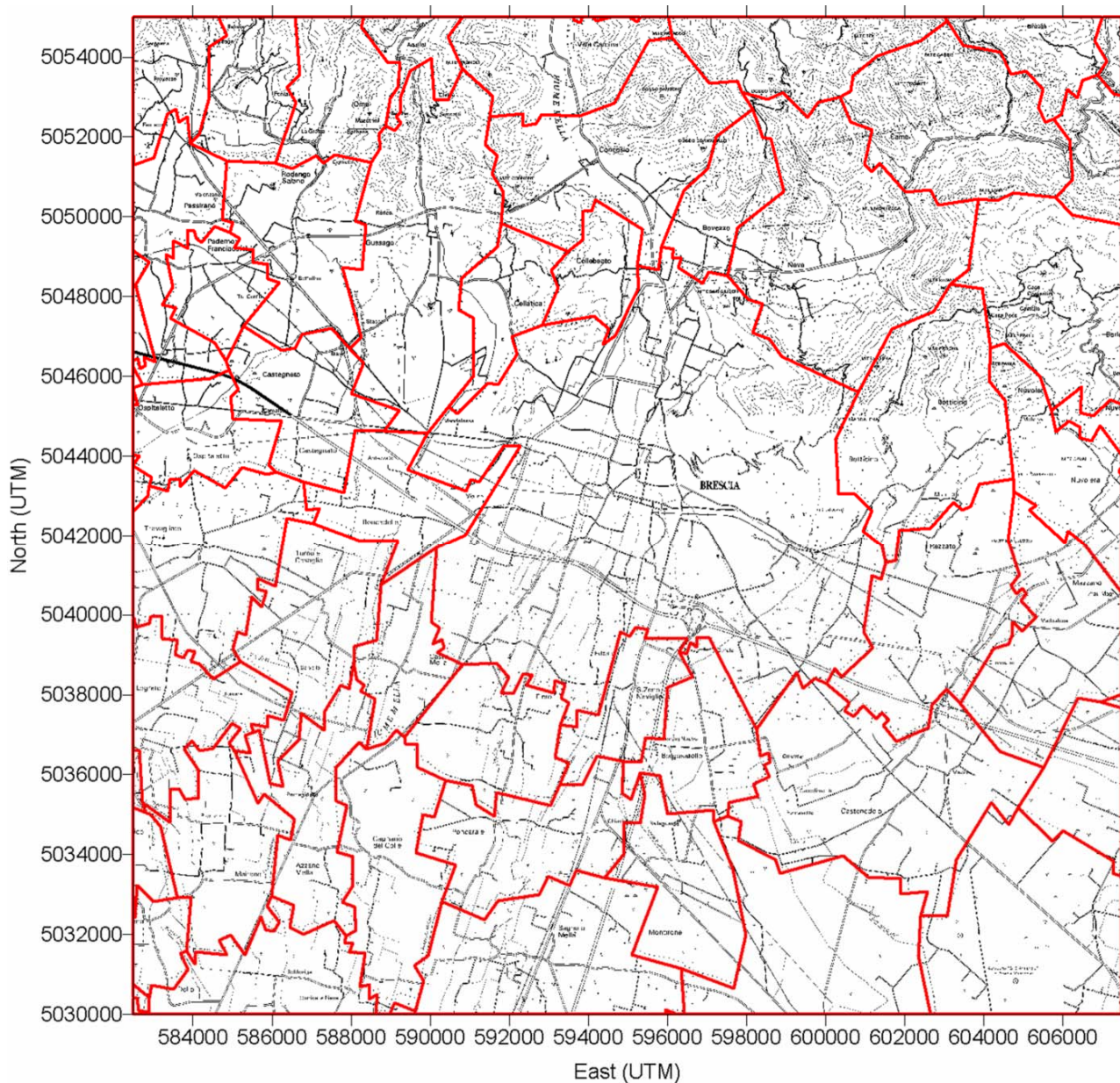


Figura 1 Dominio di indagine.

3.2 Caratterizzazione meteoroclimatologica

Per coerenza con gli studi già realizzati e presentati negli ultimi mesi, in modo da garantire la confrontabilità dei risultati, come anno meteorologico di riferimento è stato preso il 2000 della stazione di Verziano (figura 2). In ogni caso, l'anno scelto non presenta particolari anomalie rispetto alla climatologia di lungo periodo ed è da considerarsi quindi rappresentativo delle caratteristiche metodiffusive tipiche della zona. Tra le variabili meteorologiche a disposizione, particolare cura è stata posta nell'analisi di quelle direttamente coinvolte nelle simulazioni modellistiche di dispersione: vento, temperatura, radiazione, stabilità.

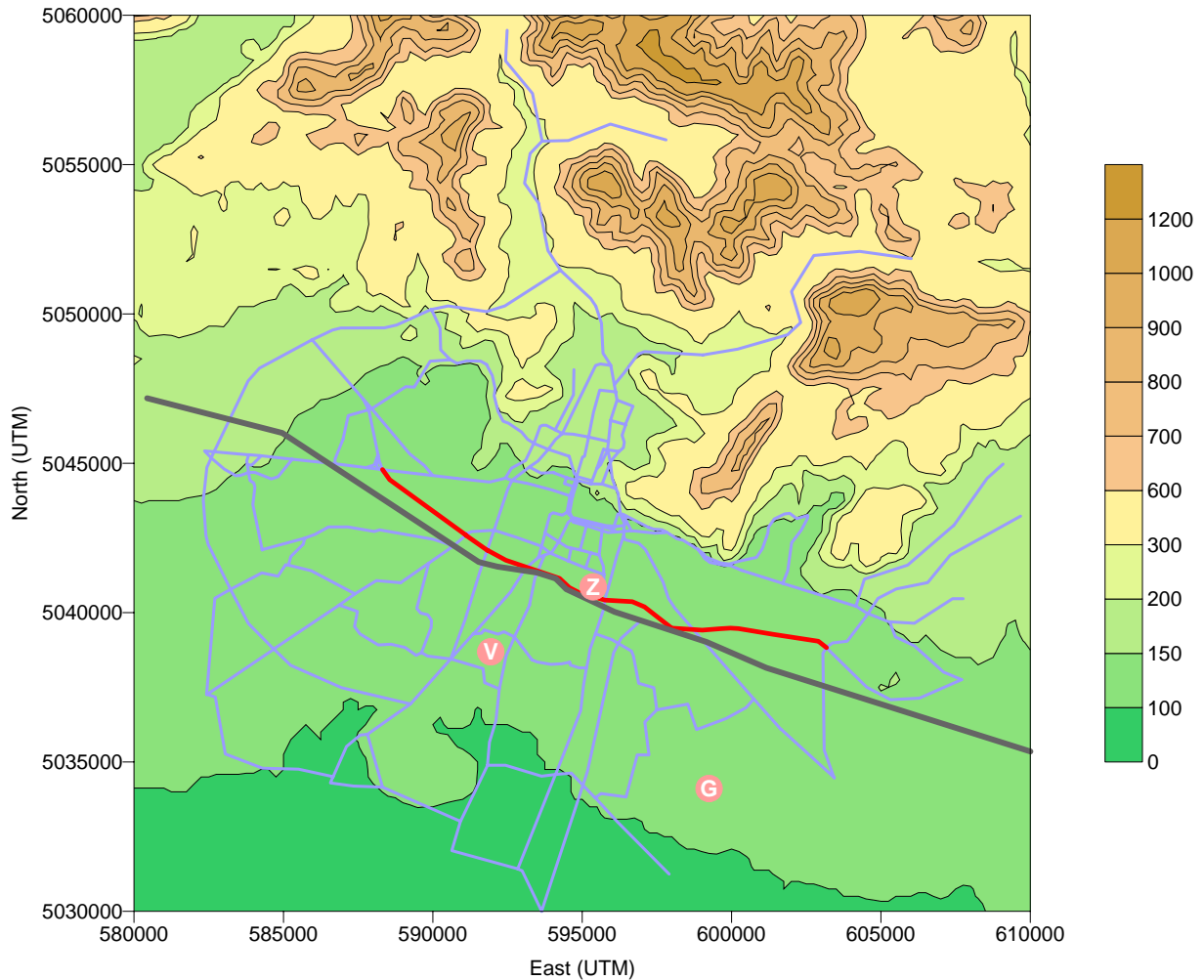


Figura 2 - Posizione stazioni rete meteorologica (G – Ghedi, V – Verziano, Z - Ziziola).

3.2.1 Vento

La figura 3 presenta la rosa dei venti, per il 2000, della stazione di Verziano. Le direzioni prevalenti del vento seguono quelle tipiche della Pianura Padana (Est-Ovest). I venti risultano più intensi da ESE e più deboli da WNW, mentre la frequenza non trascurabile di venti da NE potrebbe essere dovuta alla conformazione delle prime asperità orografiche.

La percentuale delle calme di vento al suolo ($v < 1$ m/s) è piuttosto rilevante, 27.6% dei casi, anche se inferiore a quanto rilevato normalmente altrove in Pianura Padana.

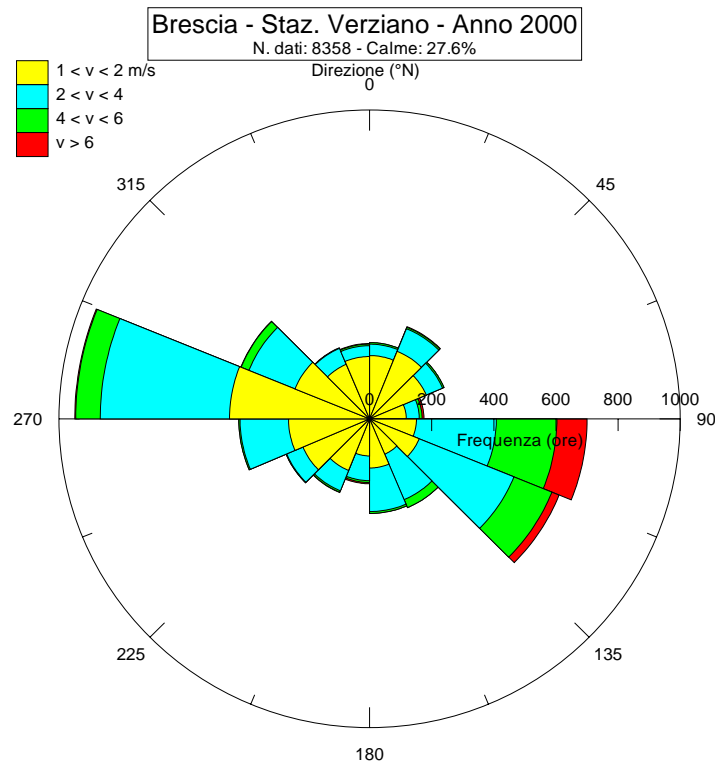


Figura 3 - Rosa dei venti, stazione di Verziano, anno 2000.

3.2.2 Temperatura

L'andamento mensile delle temperature media, minima e massima presso Verziano è presentato nella figura 4. Complessivamente, il clima risulta in linea con quanto mediamente osservato in Pianura Padana (clima sub-continentale), con una temperatura media annuale attorno ai 15 °C, valori estivi mediamente superiori a 20 °C e forte escursione termica sia annuale sia giornaliera, con temperatura massima estiva superiore a 36 °C e minima invernale inferiore a - 5 °C. Le medie nelle stagioni intermedie (primavera ed autunno) sono pari o superiori all'annuale. I lievi scostamenti nelle temperature di luglio rientrano nella variabilità interannuale ordinaria, ed hanno comunque un'influenza molto limitata sulla dispersione di inquinanti su scala annuale.

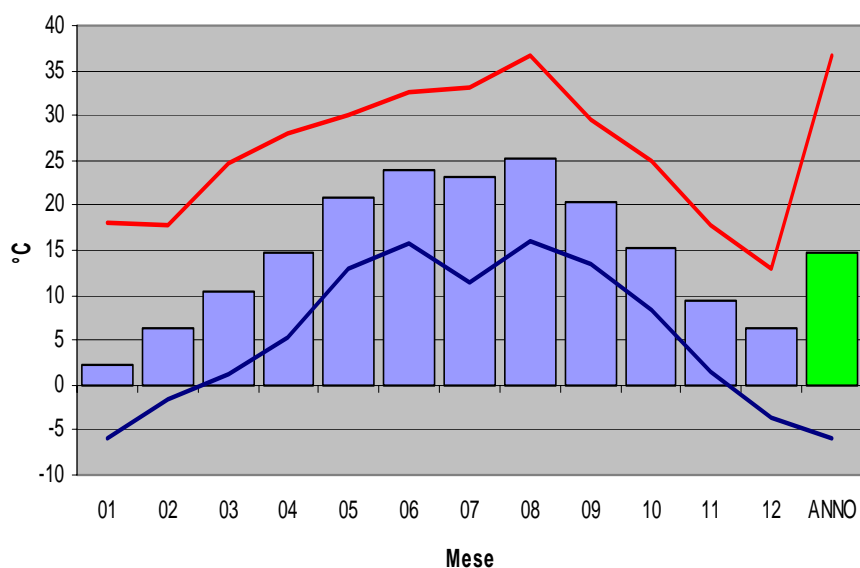


Figura 4- Andamento mensile delle temperature media (istogramma), minima (linea blu) e massima (linea rossa).

3.2.3 Radiazione.

La radiazione al suolo, sia solare incidente sia netta, è necessaria per la determinazione della categoria di stabilità atmosferica. Le figure 5 e 6 prospettano gli andamenti giornalieri presso Verziano della radiazione, rispettivamente globale e netta: tali andamenti presentano, ovviamente, i valori più elevati nelle ore di massima insolazione, quando si osservano mediamente oltre 400 W/m² per la globale e quasi 300 W/m² per la netta. I massimi di radiazione globale sfiorano invece 1000 W/m² nel mese di luglio, mentre raggiungono a malapena 300 W/m² a dicembre. L'andamento medio giornaliero della radiazione netta mostra come, da un punto di vista radiativo, l'atmosfera sia maggiormente incline all'instabilità diurna (valori positivi) ed alla stabilità notturna (valori negativi), in estate (luglio) piuttosto che in inverno (dicembre); in inverno, d'altra parte, per via della minore insolazione, la stabilità notturna tende a perdurare per molte ore.

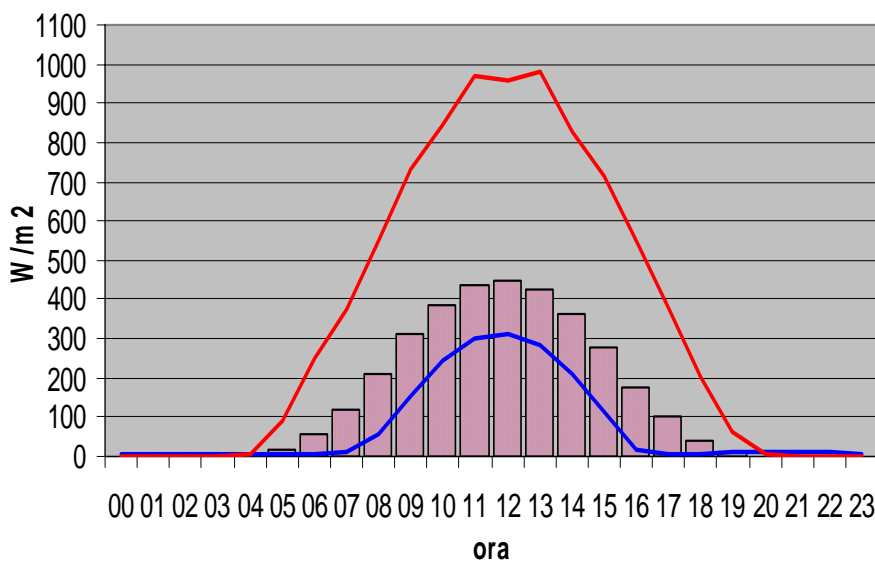


Figura 5- Andamento giornaliero della radiazione solare globale. Medie annuali (istogramma),massimi in dicembre (linea blu) e luglio (linea rossa).

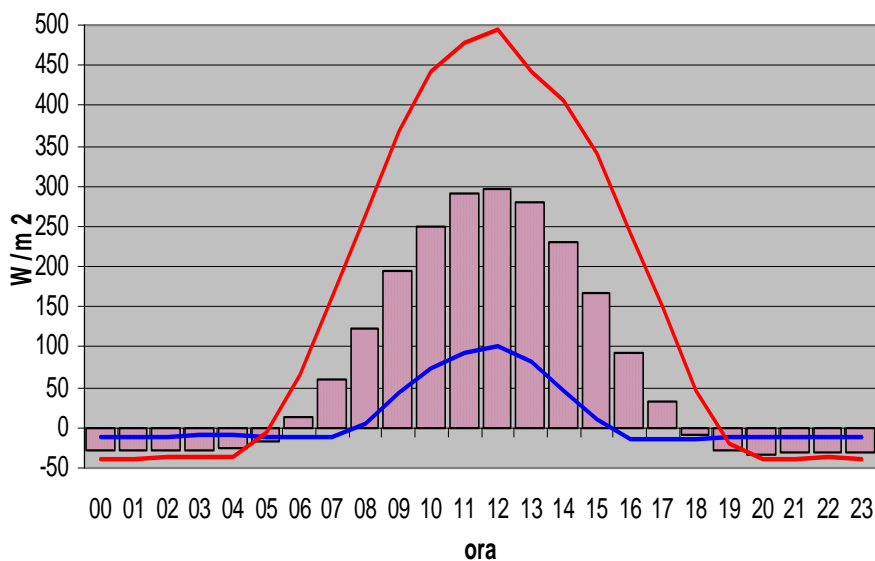


Figura 6- Andamento giornaliero della radiazione solare netta. Medie annuali (istogramma) e mensili: dicembre (linea blu) e luglio (linea rossa).

3.2.4 Stabilità atmosferica.

Un'importante caratteristica dell'atmosfera, ai fini della valutazione delle modalità di dispersione degli inquinanti, è il suo grado di stabilità, che sintetizza l'informazione relativa allo stato della turbolenza atmosferica. In genere, nei modelli a formulazione gaussiana, la stabilità è parametrizzata attraverso le **classi di stabilità atmosferica di Pasquill**: un'atmosfera prevalentemente di carattere convettivo è detta "instabile" e rappresentata con le classi A e B; con la diminuzione dell'intensità della turbolenza, per via del vento forte o della copertura del cielo, le caratteristiche dell'atmosfera vengono descritte dalle classi C e D di giorno, D ed E di notte, e l'atmosfera viene definita debolmente instabile (C), neutra (D) e moderatamente stabile (E); la classe F descrive le situazioni fortemente stabili, tipiche delle notti con vento debole (<2 m/s) e cielo sereno, che possono essere caratterizzate da forti gradienti verticali positivi di temperatura (inversione termica) che inibiscono i moti verticali e quindi riducono l'intensità della turbolenza.

Nel caso di condizioni instabili, gli inquinanti sono facilmente dispersi in atmosfera, per effetto della turbolenza convettiva e/o meccanica. In condizioni stabili, d'altra parte, gli inquinanti tendono a rimanere confinati in uno stretto strato atmosferico, all'altezza della sorgente che li emette, a causa della scarsa capacità di dispersione.

Le classi di stabilità A, B, C sono dunque diurne, scalate in base alla radiazione solare e al vento (tipicamente A = forte radiazione e vento debole, C = vento forte), E ed F notturne (tipicamente E per condizioni isoterme e F per condizioni di inversione). La classe D corrisponde a situazioni di cielo coperto, oppure a presenza di precipitazioni o di vento forte (>6 m/s), con prevalenza quindi di turbolenza di natura meccanica.

La stabilità è stata calcolata, per il periodo in esame (anno 2000), utilizzando i dati di radiazione globale (giorno) e netta (notte), congiuntamente alla velocità del vento, relativamente alla stazione di Verzano. Nella tabella 5 sono riportate le frequenze percentuali delle classi di stabilità, ripartite a livello stagionale e annuale, utilizzate per le simulazioni modellistiche:

Tabella 5 - Classi di stabilità - Distribuzione delle frequenze stagionali e annuali (%).

| STAGIONI | A | B | C | D | E | F |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Inverno | 1.7 | 10.9 | 2.7 | 61.1 | 10.5 | 13.1 |
| Primavera | 10.9 | 12.7 | 11.3 | 37.3 | 8.3 | 19.6 |
| Estate | 27.5 | 14.7 | 4.3 | 23.2 | 19.1 | 11.1 |
| Autunno | 6.0 | 10.8 | 2.1 | 68.4 | 11.9 | 0.8 |
| TOTALE | 11.9 | 12.3 | 5.3 | 46.4 | 12.5 | 11.6 |

L'andamento annuale mostra il massimo per la categoria D (46%), mentre la categoria meno rappresentata è la C (5%), per la debole anemologia. A livello stagionale, le categorie instabili (A, B, C) mostrano andamenti tipici, con frequenze maggiori nel semestre caldo: in estate la categoria A risulta prevalente (27%) e piuttosto infrequente in inverno (2%); anche le categorie stabili (E ed F) mostrano complessivamente frequenze superiori nel semestre caldo (circa 30%), mentre la neutra (D) presenta accadimenti superiori al 60% nel semestre freddo.

L'andamento giornaliero medio della stabilità atmosferica è riportato in figura 7: si nota la presenza abbastanza uniforme di categorie neutre D, mentre le A si concentrano soprattutto nelle ore più calde e le F in quelle più fredde. La figura 8 presenta le rose dei venti per categoria di stabilità (in particolare sono considerate le A, D ed F). Le distribuzioni nelle tre categorie evidenziano bene le componenti diurne (classe A) o notturne (classe F), mentre in classe D si osservano condizioni simili alla rosa media, conseguenza dell'alta percentuale d'insorgenza di questa classe (46%) e della presenza di condizioni neutre sia di notte sia di giorno, così come nelle ore di transizione. Le direzioni dei venti in condizioni convettive diurne mostrano prevalenti frequenze da W e dai settori meridionali, legate presumibilmente alla circolazione locale indotta

dalla presenza dei rilievi orografici tipiche della pianura padana (richiamo di venti dalle montagne durante il giorno); in condizioni neutre le direzioni legate alla circolazione locale di brezza sono viceversa inibite, mentre in condizioni di stabilità notturna si osservano prevalenti direzioni da NE (vento di pendio).

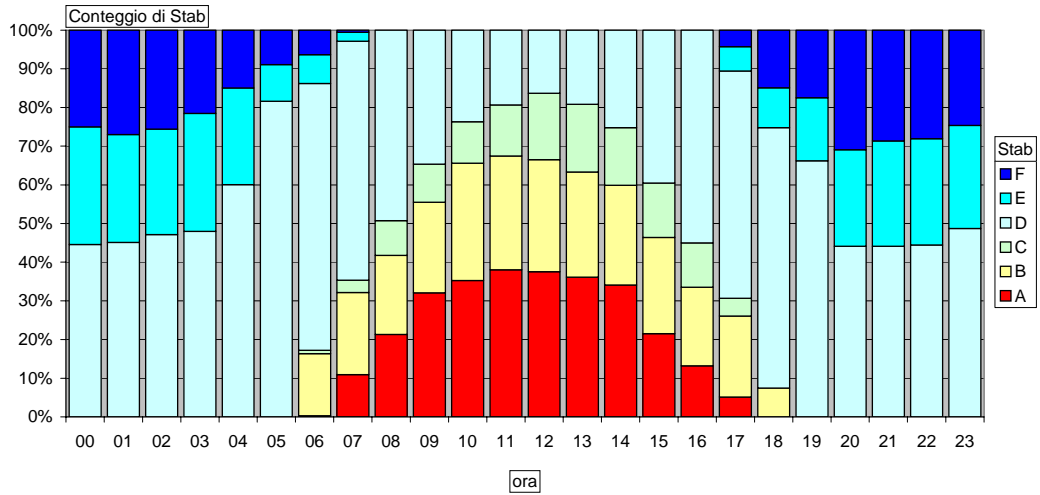


Figura 7 - Distribuzione oraria media della categoria di stabilità atmosferica.

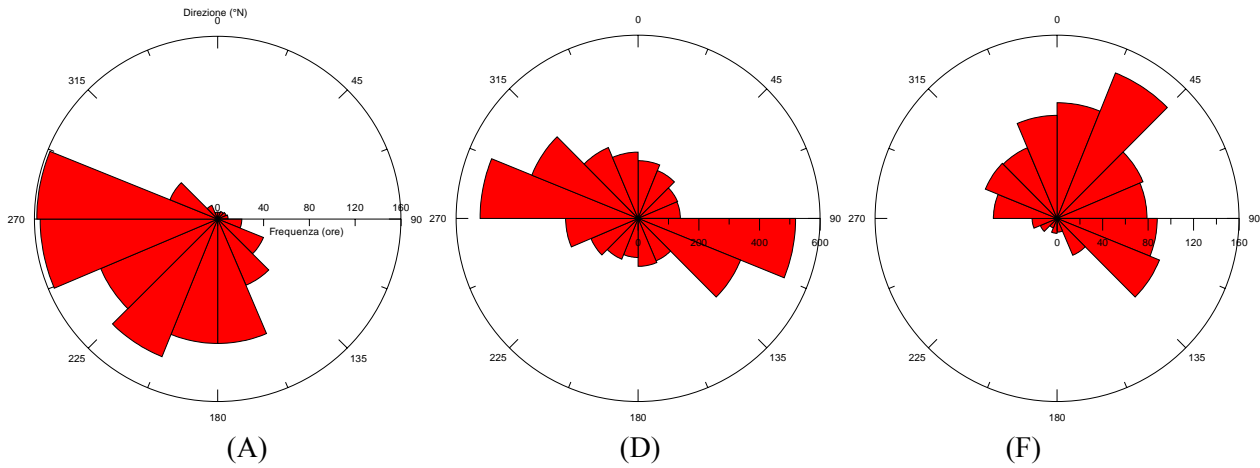


Figura 8- Rose dei venti relative alle categorie di stabilità indicate.

3.3 Rete di monitoraggio e qualità dell'aria

La valutazione della qualità dell'aria effettuata per il presente studio è stata condotta sulla base dei dati ricavati dalle stazioni fisse di monitoraggio dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Regione Lombardia (www.arpalombardia.it).

Il periodo considerato è quello compreso tra il 2001 ed il 2004 relativamente al biossido di azoto (NO₂) ed alle polveri, inquinanti che vengono misurati dalle stazioni di seguito elencate:

- Broletto (Brescia)
- Via Triumplina (Brescia)
- Via Turati (Brescia)
- Bettole (Brescia)
- Odolo
- Ospitaletto
- Rezzato
- Sarezzo
- Via Ziziola (Brescia)

Prima di effettuare l'analisi dei dati è necessario valutarne la disponibilità (frequenza di dati validi); per la valutazione della qualità dell'aria su base annua, per ogni stazione ed inquinante, l'insieme dei dati raccolti viene considerato significativo quando il rendimento strumentale, dato come valore percentuale di dati generati e validati rispetto al totale teorico, è almeno pari al 75%. Nel periodo 2001-2003 la quasi totalità delle serie è costituita da un numero di misurazioni inferiore a quello richiesto; per quanto riguarda il 2004, invece, eccezion fatta per la stazione di Sarezzo, in cui si raggiunge una percentuale di dati validi del 59% per quanto riguarda il biossido di azoto e del 33% per il particolato fine, le stazioni presentano una percentuale di dati validi quasi sempre superiore al 90% (tabelle 6 e 7). In questo modo, oltre a poter calcolare la media annuale è possibile individuare il valore dei percentili ed il numero dei superi con un buon livello di significatività.

Nelle tabelle 8 e 9 sono riportati, per gli anni 2001 - 2004, i principali indici statistici delle concentrazioni rilevate di NO_x e polveri sottili (PM10) e il loro confronto con i limiti normativi.

Nel caso del particolato, le simulazioni modellistiche, relative allo scenario progettuale, sono state condotte tenendo conto dei valori limite di PM10 definiti per il 2010 (valore massimo sulle 24 ore pari a 50 µg/m³ da non superarsi oltre 7 volte nel corso dell'anno, DM 60/2002), mentre in tabella è riportato il limite definito per il 2005 (prima fase del DM 60/2002), essendo relativi al 2004 i dati misurati di qualità dell'aria.

Come si evince dalle tabelle presentate, nel periodo esaminato si registrano alcuni cambiamenti nell'insieme delle stazioni considerate; in particolare è stata disattivata la stazione di Bettole (situata nella città di Brescia), mentre sono state attivate o riqualificate quelle di Odolo, Sarezzo, Ziziola e Rezzato (quest'ultima già attiva per quanto riguarda il biossido di azoto ma non per il particolato fine). La stazione di Via Ziziola è inoltre l'unica attualmente attiva sulle polveri totali (PTS).

Dall'esame degli indici presentati si rilevano superi dei limiti di normativa per entrambi gli inquinanti sia sulle medie annuali sia sui massimi rispetto al valore obiettivo 2005.

Tabella 6 – Dati orari a disposizione nel periodo 2001-2004 (sito web Regione Lombardia)

| Postazione | Inquinante di Riferimento | Numero di ore | | | | % sul Totale | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| BS Broletto | NO ₂ | 6695 | 4299 | 7156 | 7795 | 76 | 49 | 82 | 89 |
| BS Via Triumplina | NO ₂ | 5822 | 5909 | 6012 | 7913 | 66 | 67 | 69 | 90 |
| BS Via Turati | NO ₂ | 6044 | 5488 | 5108 | 8191 | 69 | 63 | 58 | 94 |
| BS Bettole | NO ₂ | 5857 | 6124 | 6065 | | 67 | 70 | 69 | |
| Ospitaletto | NO ₂ | 6125 | 5644 | 5509 | 8393 | 70 | 64 | 63 | 96 |
| Rezzato | NO ₂ | 7212 | 5220 | 7182 | 8353 | 82 | 60 | 82 | 95 |
| Sarezzo | NO ₂ | | | | 5195 | | | | 59 |
| BS Via Ziziola | NO ₂ | | | | 7847 | | | | 90 |

Tabella 7 – Dati giornalieri a disposizione nel periodo 2001-2004 (sito web Regione Lombardia)

| Postazione | Inquinante di Riferimento | Numero di giornate | | | | % sul Totale | | | |
|-------------------|---------------------------|--------------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| BS Broletto | PM10 | 319 | 281 | 324 | 356 | 87 | 77 | 89 | 98 |
| BS Via Triumplina | PM10 | | | | | | | | |
| BS Bettole | PM10 | 275 | 261 | 281 | | 75 | 72 | 77 | |
| Rezzato | PM10 | | | | 358 | | | | 98 |
| Odolo | PM10 | | | | 333 | | | | 91 |
| Sarezzo | PM10 | | | | 121 | | | | 33 |
| BS Via Triumplina | PTS | 307 | 280 | 214 | | 84 | 77 | 59 | |
| Ospitaletto | PTS | 325 | 277 | 222 | | 89 | 76 | 61 | |
| BS Via Ziziola | PTS | | | | 353 | | | | 96 |

Tabella 8 – Anni 2001-2004 biossido di azoto.

| Postazione | Periodo di Mediazione | Valore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | Limite Normativa (DM 60/02) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|---|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | |
| BS Broletto | valore medio annuo | 58.7 | 47.1 | 50.3 | 44.9 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 299.1 | 190.3 | 202.9 | 227.9 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 7 | 0 | 1 | 2 | |
| BS Via Triumplina | valore medio annuo | 71.5 | 66.2 | 69.5 | 59.2 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 244.8 | 240.5 | 206.4 | 293.5 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 13 | 9 | 6 | 79 | |
| BS Via Turati | valore medio annuo | 72.3 | 79.4 | 94.3 | 80.2 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 328.3 | 282.9 | 280.3 | 282.2 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 15 | 56 | 93 | 48 | |
| BS Bettole | valore medio annuo | 69 | 59.5 | 66.8 | | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 173 | 197.6 | 163 | | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 0 | 0 | 0 | | |
| Ospitaletto | valore medio annuo | 57.7 | 47 | 60.1 | 43.4 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 167.7 | 196.3 | 218.8 | 160.6 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 0 | 0 | 7 | 0 | |
| Rezzato | valore medio annuo | 45 | 36.7 | 42.7 | 38.6 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | 177.9 | 182.7 | 135.4 | 140.4 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Sarezzo | valore medio annuo | | | | 33.8 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | | | | 130.9 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | | | | 0 | |
| Ziziola | valore medio annuo | | | | 42.6 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | valore massimo orario | | | | 232.0 | 200 (da non superare più di 18 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2010) |
| | n. superi | | | | 3 | |

Tabella 9 – Anni 2001-2004 Polveri.

| Anni 2001-2004 – Polveri Sottili | | | | | | |
|---|------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|--|
| Postazione | Periodo di Mediazione | Valore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | Limite Normativa (DM 60/02) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| | | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | |
| BS Broletto | valore medio annuo | 39.3 | 42.7 | 42.1 | 48.1 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | valore massimo 24 ore | 109.0 | 159.0 | 133.0 | 151.6 | 50 (da non superare più di 35 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | n. superi | 66 | 85 | 71 | 130 | |
| BS Bettole | valore medio annuo | 53.6 | 57.5 | 62.9 | | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | valore massimo 24 ore | 133.0 | 200.0 | 141.0 | | 50 (da non superare più di 35 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | n. superi | 141 | 143 | 142 | | |
| Odolo | valore medio annuo | | | | 35.1 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | valore massimo 24 ore | | | | 125.7 | 50 (da non superare più di 35 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | n. superi | | | | 81 | |
| Sarezzo (dal 25/06) | valore medio annuo | | | | 41.7 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | valore massimo 24 ore | | | | 140.7 | 50 (da non superare più di 35 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | n. superi | | | | 32.0 | |
| Rezzato | valore medio annuo | | | | 49.7 | 40 (data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | valore massimo 24 ore | | | | 163.7 | 50 (da non superare più di 35 volte in un anno, data obiettivo 1 Gennaio 2005) |
| | n. superi | | | | 133 | |
| Polveri Totali | | | | | | |
| BS Via Triumplina (PTS) | valore medio annuo | 30.8 | 37.0 | 38.0 | | |
| | valore massimo 24 ore | 106.0 | 127.0 | 121.0 | | |
| | n. superi | 16 | 33 | 29 | | |
| Ospitaletto (PTS) | valore medio annuo | 39.6 | 41.5 | 40.8 | | |
| | valore massimo 24 ore | 145.0 | 113.0 | 128.0 | | |
| | n. superi | 45 | 48 | 48 | | |
| Ziziola (PTS) | valore medio annuo | | | | 40.9 | |
| | valore massimo 24 ore | | | | 182.2 | |
| | n. superi | | | | 84 | |

4 Descrizione del quadro emissivo

Di seguito vengono presentati i due scenari emissivi oggetto del presente studio, uno relativo allo stato attuale, ovvero con la centrale Lamarmora dotata di tre gruppi di combustione e le emissioni (della CTEC Lamarmora, del TU e del riscaldamento diffuso) riferite all'anno 2004 ed uno relativo allo scenario progettuale in cui due gruppi della CTE saranno dimessi e sostituiti da un nuovo gruppo a ciclo combinato gas-vapore mentre sarà aumentata nella città di Brescia la quota di volumetrie teleriscaldate.

4.1 Stato attuale anno 2004

4.1.1 Centrale Lamarmora

La centrale termoelettrica di cogenerazione "Lamarmora" è attualmente composta da tre gruppi di combustione e due camini di emissione. Le tabelle 10 e 11 presentano le caratteristiche salienti dei gruppi a pieno carico e le emissioni annuali a consuntivo per il 2004.

I profili temporali d'emissione che sono stati utilizzati per le simulazioni modellistiche, espressi come fattori moltiplicativi applicati al valore medio, sono presentati nelle figure 9 (modulazione giornaliera) e 10 (modulazione annuale). Tali fattori sono stati calcolati sulla base dei dati sui cicli di funzionamento dell'impianto, normalizzati alla media.

Tabella 10 - Caratteristiche fisiche della centrale di teleriscaldamento Lamarmora.

| | GR1 | GR2 | GR3 | GR2+GR3 |
|--|--------|--------|--------|---------|
| Camino | 1 | | | 2 |
| Temperatura (°C) | 130 | 130 | 85 | |
| Diametro (m) | 2.6 | | | 3.2 |
| Altezza (m) | 100 | | | 100 |
| Portata 100% (Nm³/h) | 130000 | 175000 | 290000 | |
| Velocità 100% (m/s) | 10.0 | | | 22.1 |

Tabella 11 - Caratteristiche emissive (t/a) della centrale di teleriscaldamento Lamarmora (consuntivo 2004).

| TG1 | | TG2 | | TG3 | | TG2+TG3 | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| NO _x | POLVERI | NO _x | POLVERI | NO _x | POLVERI | NO _x | POLVERI |
| 109.5 | 2.3 | 194.8 | 2.7 | 834.9 | 2.8 | 1029.7 | 5.5 |

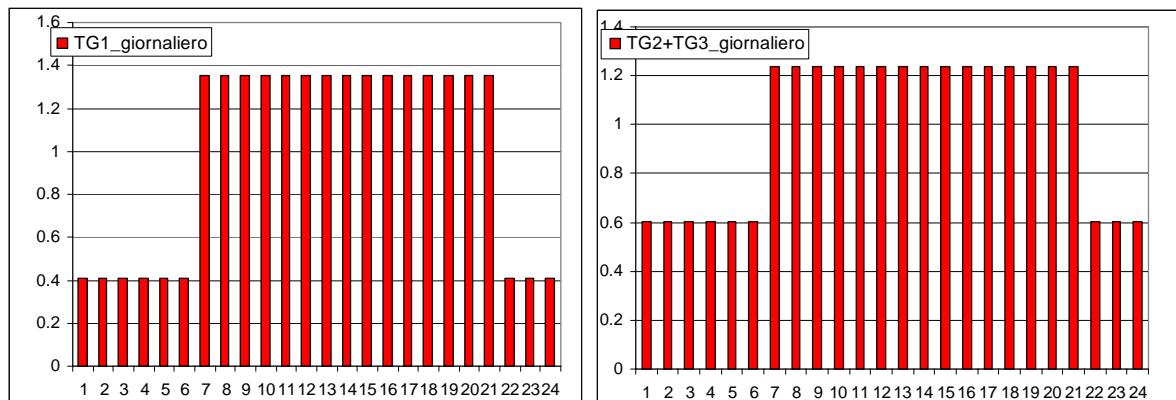


Figura 9- Profili giornalieri di modulazione delle emissioni adottati nelle simulazioni modellistiche - centrale Lamarmora.

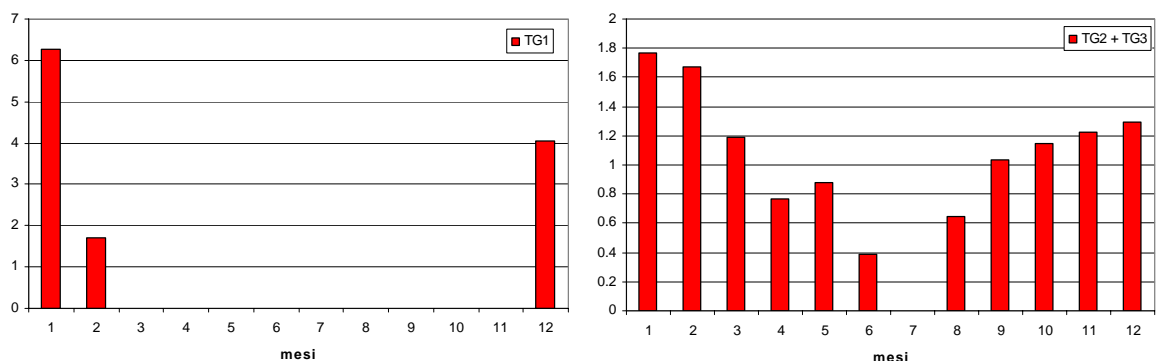


Figura 10- Profili annuali di modulazione delle emissioni adottati nelle simulazioni modellistiche - centrale Lamarmora.

4.1.2 Altre emissioni

Termoutilizzatore

Il Termoutilizzatore, gestito da ASM Brescia, è attualmente composto da 3 linee e ed è una centrale di produzione combinata di energia elettrica e termica, il cui obiettivo è quello di recuperare da un punto di vista energetico i rifiuti non utilmente riciclabili come materiali.

Le caratteristiche della sorgente emissiva simulata per il Termoutilizzatore sono riportate in tabella 12, esse sono riferite alle tre linee complessivamente. I ratei emissivi sono stati mantenuti costanti nel corso dell'intero anno di simulazione, senza cioè l'applicazione di nessun profilo di variabilità temporale; i ratei d'emissione annuali utilizzati sono determinati a partire dal monitoraggio in tempo reale effettuato sull'impianto e danno luogo a concentrazioni all'emissione inferiori ai valori limite previsti dal DM 18/11/97 n.503.

Tabella 12 Caratteristiche attuali del TU

| Parametri camino | |
|---|------------------------------------|
| Temperatura (°C) | 130 |
| Diametro singola canna (m) | 2.2 |
| Altezza (m) | 120 |
| Portata complessiva, su base umida (Nm ³ /h) | 561000 |
| Velocità (m/s) | 20.2 |
| Concentrazione di O ₂ all'emissione nei gas secchi | 11% |
| Inquinante | Consuntivo emissioni 2004 (t/anno) |
| NO _x | 293.5 |
| POLVERI | 1.17 |

Riscaldamento civile nella città di Brescia

Il riscaldamento civile della città di Brescia è assicurato da un sistema composto, per la quasi totalità, da impianti autonomi a metano e da una rete di teleriscaldamento. Le emissioni dal comparto del riscaldamento domestico autonomo, nel territorio comunale di Brescia, sono state stimate sulla base dei consumi; per meglio rappresentare da un punto di vista spaziale le emissioni, il territorio comunale è stato suddiviso in otto zone, sulla base di una uniformità dei consumi specifici (cioè per unità di area).

Le emissioni di ciascuna zona sono state calcolate utilizzando i consumi aggregati, il potere calorifico inferiore del metano (pari a 0.0361 GJ/m³) e i fattori di emissione di fonte CORINAIR (EMEP/CORINAIR, 1999). La tabella 13 presenta i risultati ottenuti in termini di emissioni delle diverse sostanze; nell'ultima riga sono riportati i fattori di emissione utilizzati.

Tabella 13 - Emissioni attuali riscaldamento diffuso nella città di Brescia (t/a).

| Zona | Consumi metano (Nmc) | NO _x | PTS |
|-------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| Totale | 75461964 | 81.7 | 0.272 |
| EF metano [g/GJ] | | 30 | 0.1 ^(£) |

NOTE: (£) fonte: IIASA

Riscaldamento civile altri comuni

Con l'eccezione del comune di Brescia, per il quale è stato possibile effettuare una disamina molto più particolareggiata (cfr. paragrafo precedente), le emissioni da riscaldamento per la restante parte del dominio sono state prese dall'inventario regionale INEMAR; le emissioni non sono state associate all'intero territorio comunale, ma sono state riferite esclusivamente alle aree residenziali.

La tabella 14 illustra le emissioni complessive per questo comparto, mentre in figura 11 sono stati riportati i profili di modulazione annuale e giornaliero usati per tutto il comparto emissivo del riscaldamento (inclusa anche la Città di Brescia) nel corso della simulazione modellistica.

Tabella 14 - Emissioni attuali riscaldamento diffuso fuori della città di Brescia (t/a).

| | NO _x | PTS |
|---------------|-----------------|-------|
| Totale | 314.2 | 119.6 |

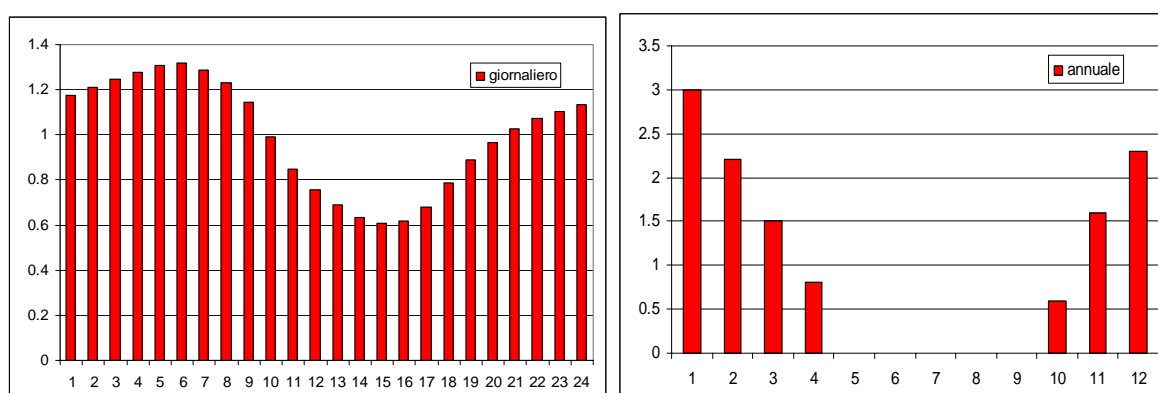


Figura 11 - Profili temporali adottati per la modulazione del riscaldamento diffuso.

4.2 Scenario progettuale

4.2.1 Centrale Lamarmora

La ristrutturazione della CTEC Lamarmora comporterà:

- ✓ la disattivazione delle unità di cogenerazione n. 1 e 2 con mantenimento per riserva, previa modifica e ridimensionamento, delle sole caldaie 1 e della caldaia 2 per la sola produzione di calore (caldaie semplici) in emergenza per la rete del teleriscaldamento, con alimentazione di norma a gas naturale;
- ✓ la realizzazione di un nuovo gruppo di cogenerazione con ciclo combinato gas-vapore (CCGT – *Combined Cycle Gas Turbine*) tale da consentire la produzione di circa 250 MWt e 330 Mwe;
- ✓ la riduzione delle emissioni di NO_x del Gruppo 3 della CTEC Lamarmora a valori inferiori ai limiti della Delibera della Regione Lombardia n. VII/6501 del 19/10/2001, mediante installazione di un opportuno sistema de-NO_x.

Le tabelle 15 e 16 presentano le caratteristiche fisiche ed emmissive della centrale così come ristrutturata; si noti che, con riferimento per ora alla sola centrale e nonostante l'aumento di potenza termica disponibile, complessivamente la ristrutturazione in progetto porterà ad una decisa riduzione delle emissioni, pari a quasi il 50% per gli NO_x ed oltre il 40% per le polveri.

Tabella 15 - Caratteristiche fisiche di progetto della centrale di teleriscaldamento Lamarmora (scenario progettuale).

| | GR3 | CCGT | Caldai semplici |
|-----------------------------------|--------|--------------|-----------------|
| Camino | | camino unico | multicanna |
| Temperatura (°C) | 85 | 105 | 130 |
| Diametro (m) | 2.9 | 6.5 | 2.9 |
| Altezza (m) | 120 | 120 | 120 |
| Portata 100% (Nm ³ /h) | 290000 | 1840491 | 146739 |
| Velocità 100% (m/s) | 16.0 | 21.3 | 9.1 |

Tabella 16 - Emissioni previste (t/a) per la centrale di teleriscaldamento Lamarmora (scenario progettuale).

| GR3 | | CCGT | | Caldai semplici | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| NO _x | POLVERI | NO _x | POLVERI | NO _x | POLVERI |
| 244 | 2.0 | 330 | 2.2 | 11 | 0.3 |

4.2.2 Altre sorgenti

Termoutilizzatore

Lo scenario progettuale prevede per il Termoutilizzatore un aumento delle emissioni, quantificabile in circa il 15% per entrambi gli inquinanti considerati (tabella 17).

Tabella 17 - Caratteristiche emissive TU nello scenario progettuale.

| Inquinante | Emissioni totali generate (t/anno) |
|-----------------|------------------------------------|
| NO _x | 341.2 |
| POLVERI | 1.36 |

Riscaldamento domestico città di Brescia

Si prevede che, nello scenario progettuale, la ristrutturazione della CTE consentirà la conversione da riscaldamento a metano a teleriscaldamento di edifici per una volumetria totale pari a 2.26Mm³. Tale volumetria si traduce in una riduzione delle emissioni diffuse pari al 10.1%. In assenza di informazioni circa l'esatta distribuzione spaziale degli edifici convertiti, la riduzione stimata è stata applicata uniformemente sul territorio cittadino.

Riscaldamento altri comuni

Le emissioni da riscaldamento prodotte dagli altri Comuni presenti nel dominio rimangono invariate rispetto allo scenario 2004.

4.3 Bilancio emissivo scenario progettuale - scenario attuale

La tabella 18 presenta un bilancio emissivo di confronto tra i due scenari ipotizzati per la città di Brescia. L'impatto degli interventi previsti nello scenario progettuale si concretizzerà in una decisa riduzione delle emissioni per entrambi gli inquinanti considerati. Le emissioni da riscaldamento dei restanti comuni non sono riportate in quanto rimangono invariate tra i due scenari:

Tabella 18 - Confronto emissioni della città di Brescia nei due scenari (t/a)

| Inquinante | Sorgente | Scenario attuale | Scenario progettuale | Diff.% |
|-----------------|---------------------------------|------------------|----------------------|--------|
| NO _x | Lamarmora | 1139.2 | 584.5 | -48.7% |
| | TU | 293.5 | 341.2 | +16.3% |
| | Riscaldamento diffuso - Brescia | 81.7 | 73.4 | -10.1% |
| | Totale - Brescia | 1514.4 | 999.1 | -34.0% |
| Polveri | Lamarmora | 7.8 | 4.5 | -42.3% |
| | TU | 1.2 | 1.4 | +16.3% |
| | Riscaldamento diffuso - Brescia | 0.3 | 0.2 | -10.1% |
| | Totale - Brescia | 9.3 | 6.1 | -34.4% |

5 Simulazioni numeriche d'impatto atmosferico

5.1 Descrizione del modello utilizzato

Per valutare l'impatto atmosferico nel nuovo scenario emissivo di progetto descritto, sono state condotte delle simulazioni modellistiche d'impatto sulla qualità dell'aria articolate come segue:

Stato attuale

1. è stata condotta singolarmente la simulazione della **centrale Lamarmora** nella sua configurazione 2004;
2. è stata condotta la simulazione delle sorgenti che concorrono al **sistema di riscaldamento civile** della città di Brescia, costituito da quelle fonti inquinanti che a vario titolo intervengono nella produzione di energia termica ad uso riscaldamento e cioè:
 - la CTEC Lamarmora;
 - il TU;
 - i residui impianti di riscaldamento autonomo nel territorio comunale.

A queste sono state aggiunte le emissioni da riscaldamento diffuso degli altri comuni presenti nel dominio di calcolo.

Scenario di progetto

3. la simulazione della **centrale Lamarmora** è stata ripetuta considerando la sua ristrutturazione prevista nello scenario progettuale;
4. la simulazione delle sorgenti che concorrono al **sistema di riscaldamento civile** della città di Brescia, è stata ripetuta considerando le evoluzioni emissive di tale sistema, costituite, oltre che dalle variazioni della CTEC e del TU (minime), anche dalla diminuzione degli impianti autonomi indotta dalla ristrutturazione in progetto.

Il codice di calcolo utilizzato è denominato **ARIA Impact™** e utilizza una formulazione gaussiana classica basata sulla parametrizzazione della turbolenza mediante la definizione delle categorie di stabilità.

In appendice B (capitolo 8) è allegata una descrizione dettagliata del modello, mentre la tabella 19 ne presenta schematicamente le caratteristiche.

Il modello ARIA Impact™ è in uso in Italia presso diverse ARPA, Enti Locali e società di consulenza, è inserito nella lista dei modelli raccomandati da APAT e partecipa all'esercizio di valutazione del CTN-ACE. Una validazione del codice sul territorio bresciano è stata effettuata con risultati positivi nell'ambito del già citato studio di dispersione delle varie sorgenti emissive (Comune e Università di Brescia, 2004).

Come dominio di calcolo è stato considerato un quadrato di lato 25km con griglia di passo 500m.

Tabella 19 Caratteristiche principali del codice di simulazione utilizzato.

| | | ARIA Impact™ |
|----------------------------------|-----------------------------|---|
| Dati topografici e meteorologici | Cartografia | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Gestione classi di oggetti ✓ Associazione sorgenti ad elementi cartografici |
| | Orografia | Importazione file in formato dedicato |
| | Serie dati meteo | Assegnazione interattiva manuale Tool di importazione dati da data-base |
| Sorgenti | Tipologie di sorgenti | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Puntuali ✓ Lineari ✓ Areali |
| | Modulazione delle emissioni | Tramite fattori (orari, giornalieri, mensili): <ul style="list-style-type: none"> ✓ per singole sorgenti ✓ per categorie (es. SNAP) |
| | Specie chimiche | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Multispecie (contributi sorgenti) ✓ Gas / gas pesanti / particolati |
| Opzioni di calcolo | Tipo modello | Gaussiano con diverse famiglie di curve di dispersione e metodi per il calcolo delle categorie di stabilità |
| | Parametri statistici | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Media ✓ Massimo ✓ Percentili ✓ Superamenti |

5.2 Simulazioni d'impatto della centrale Lamarmora e dell'intero sistema di riscaldamento civile

Al fine di valutare al meglio l'impatto sulla qualità dell'aria della centrale Lamarmora, a seguito della ristrutturazione in progetto, sono state condotte simulazioni modellistiche della sola centrale e del **sistema di riscaldamento civile**, composto come visto anche:

- dal termoutilizzatore (TU);
- dai singoli impianti autonomi.

L'analisi dei livelli di concentrazione calcolati in confronto con lo stato attuale di qualità dell'aria, relativo all'anno 2004, è stata condotta sulla base delle misure alle stazioni della rete di monitoraggio (tabelle 8 e 9).

Sono stati valutati sia lo stato emissivo attuale relativo all'anno 2004 sia lo scenario progettuale, determinatosi con le modifiche progettate sulla CTEC Lamarmora. Per quanto concerne gli inquinanti, sono stati presi in esame il particolato e gli ossidi di azoto.

Nelle tabelle 20 e 21 sono riportate le concentrazioni puntuali calcolate presso le stazioni della rete di monitoraggio: i livelli di NO_x e Polveri ottenuti, in termini di media annuale e dei percentili di legge, possono essere messi a confronto con i valori di NO₂ e PM10 misurati presso le stazioni considerate nel paragrafo 3.3. Per quanto riguarda l'assimilazione dell'NO_x calcolato come NO₂, si osservi come ciò costituisca una assunzione cautelativa, in quanto in realtà la percentuale di NO₂ presente nella miscela NO_x risulta mediamente attorno al 50%, riducendosi anche considerevolmente quando i livelli di NO_x sono elevati, cioè in prossimità di ingenti fonti emissive. Sono inoltre evidenziate le evoluzioni percentuali (differenza percentuale delle concentrazioni calcolate rispetto allo stato attuale) dei contributi del sistema di riscaldamento nel passaggio dallo stato attuale allo scenario progettuale.

Come già visto per le emissioni, la ristrutturazione della centrale nello scenario progettuale si stima comporterà un notevole beneficio sulle concentrazioni al suolo rispetto allo stato attuale considerando il complesso del sistema di riscaldamento civile: per quanto riguarda gli ossidi di azoto si registrano riduzioni nelle concentrazioni medie annuali comprese tra il valore di 3.2% (stazione di Brescia, via Triumplina) ed il 14.1% (via Turati). Il miglioramento che si registra per il particolato è, come immaginabile, meno marcato, e si attesta su valori inferiori al 2%. Le riduzioni risultano meno significative per il particolato rispetto agli NO_x probabilmente a causa sia dei contributi emissivi più significativi dei comuni attorno a Brescia sia degli effetti di approssimazione numerica, più marcati quando i livelli calcolati di concentrazione sono assai bassi. A livello di percentili, su tutti i punti di misura si osservano riduzioni dei livelli calcolati anche molto significative, ma le percentuali di riduzione non sono riportate in quanto i due valori a confronto potrebbero riferirsi ad eventi non contemporanei.

Tabella 20 - Schema riassuntivo delle concentrazioni stimate presso le stazioni di monitoraggio della rete di qualità dell'aria – Inquinante NO_x (espresse come NO₂).

| Stazioni | Parametri | Misurato | Stato attuale (anno 2004) | | Scenario progettuale | | |
|----------------|----------------------------|----------|------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|--|
| | | | Lamarmora | Sistema riscaldamento | Lamarmora | Sistema riscaldamento | Differenza % rispetto allo stato attuale |
| Broletto | Media (µg/m ³) | 44.9 | 0.247 | 2.771 | 0.105 | 2.538 | -8.4% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 227.9 | 19.460 | 26.300 | 7.817 | 22.179 | |
| | %DV | 89.0 | | | | | |
| Ospitaletto | Media (µg/m ³) | 43.4 | 0.271 | 1.939 | 0.115 | 1.835 | -5.4% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 160.6 | 12.485 | 26.301 | 4.469 | 23.451 | |
| | %DV | 96.0 | | | | | |
| Rezzato | Media (µg/m ³) | 38.6 | 0.330 | 2.064 | 0.136 | 1.885 | -8.7% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 140.4 | 18.740 | 24.933 | 6.232 | 21.400 | |
| | %DV | 95.0 | | | | | |
| Via Triumplina | Media (µg/m ³) | 59.2 | 0.130 | 2.482 | 0.059 | 2.403 | -3.2% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 293.5 | 12.475 | 25.934 | 4.810 | 25.527 | |
| | %DV | 90.0 | | | | | |
| Via Turati | Media (µg/m ³) | 80.2 | 0.680 | 2.522 | 0.287 | 2.167 | -14.1% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 282.2 | 37.783 | 40.954 | 13.803 | 30.461 | |
| | %DV | 94.0 | | | | | |
| Via Ziziola | Media (µg/m ³) | 42.6 | 1.035 | 3.309 | 0.503 | 2.863 | -13.5% |
| | p99.8 (µg/m ³) | 232.0 | 42.460 | 42.878 | 20.428 | 24.512 | |
| | %DV | 90.0 | | | | | |

Tabella 21 - Schema riassuntivo delle concentrazioni stimate presso le stazioni di monitoraggio della rete di qualità dell'aria – Inquinante Polveri.

| Stazioni | Parametri | Misurato | Stato attuale (anno 2004) | | Scenario progettuale | | |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|---|
| | | | Lamarmora | Sistema riscaldamento | Lamarmora | Sistema riscaldamento | Differenza % rispetto allo stato attuale |
| Broletto | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 48.1 | 0.002 | 0.433 | 0.001 | 0.425 | -1.8% |
| | p98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 151.6 | 0.018 | 1.688 | 0.006 | 1.664 | |
| | %DV | 98.0 | | | | | |
| Rezzato | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 49.7 | 0.003 | 0.567 | 0.001 | 0.564 | -0.6% |
| | p98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 163.7 | 0.028 | 2.333 | 0.009 | 2.313 | |
| | %DV | 98.0 | | | | | |
| Via Ziziola (PTS) | Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 40.9 | 0.007 | 0.389 | 0.004 | 0.381 | -2.1% |
| | p98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 182.2 | 0.035 | 1.569 | 0.023 | 1.532 | |
| | %DV | 95.9 | | | | | |

Le figure 12 - 31 visualizzano, secondo lo schema riportato in tabella 22 ed in termini di mappe d'isolivelli, le distribuzioni spaziali delle ricadute calcolate nelle varie configurazioni emissive e le differenze in termini assoluti tra i valori calcolati nel 2004 e nello scenario progettuale (medie e percentili) simulando il sistema di riscaldamento civile.

Allo *stato attuale* il contributo della CTEC Lamarmora ai *livelli medi di inquinamento* di NO_x varia da zero, nella parte sud-occidentale del dominio a punte di meno di $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ in limitate zone nella regione ad est del comune di Brescia (figura 12). Nel suo complesso, il sistema di riscaldamento civile presenta una media annuale di ossidi di azoto inferiore a $3.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, lontana dunque dal valore limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 13) con i valori più alti concentrati in un'area a ridosso della centrale Lamarmora verso nord-est ed un'area nella parte settentrionale della città di Brescia. Il particolato si attesta su valori medi inferiori a circa $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 17).

Rispettano i limiti di legge anche i valori del 99.8° percentile di NO_x (figura 15) e del 98° percentile di Polveri (figura 19), i cui massimi assumono il valore di $108.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $8.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente..

Lo *scenario di progetto* fa registrare, per entrambi gli inquinanti, delle sensibili diminuzioni.

I valori medi di ossidi di azoto raggiungono $3.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ considerando il sistema riscaldamento nel suo complesso, mentre superano di poco il valore di $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ quelli prodotti dalla sola centrale Lamarmora. Anche il 99.8° percentile rispetta i limiti di legge, non raggiungendo i $73\mu\text{g}/\text{m}^3$ su tutto il dominio (22 e 23); inoltre, risultano ridursi notevolmente le ricadute calcolate sulle prime colline a nord-est di Brescia, dovute all'interazione dei pennacchi dei camini con l'orografia.

Analoghe considerazioni valgono per il particolato, che si mantiene entro i valori fissati dalla normativa sia per quanto riguarda i valori medi (massimi: $0.004\mu\text{g}/\text{m}^3$ prodotti dalla centrale Lamarmora e $1.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ dal sistema di riscaldamento civile – figure 24 e 25) sia per il 98°percentile delle medie giornaliere (con valori massimi registrati sul dominio rispettivamente di 0.04 e $8.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ – figure 26 e 27).

Per evidenziare ulteriormente il beneficio stimato tra lo scenario attuale e quello di progetto sono state realizzate mappe di isoconcentrazione sulle differenze calcolate (figure 28 - 31).

Nelle mappe relative alle differenze tra i valori medi orari calcolati sull'anno, si osserva che l'area interessata dalla diminuzione degli ossidi di azoto si sviluppa principalmente sull'asse Nord Ovest - Sud Est, seguendo le direzioni dominanti di provenienza del vento (paragrafo 3.2.1) tuttavia, il maggior scarto tra le medie e tra i valori dei percentili ($0.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, rispettivamente) si registra a Nord Est dell'abitato di Brescia a causa della presenza delle prime colline.

Le differenze relative ai valori medi di particolato, presentano invece un andamento meno marcato, con riduzioni massime pari a $0.0033 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la riduzione dei percentili (al massimo pari a $0.023 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si presenta quasi uniforme.

Tabella 22 - Indice delle mappe d'isoconcentrazione allegate.

| Figura | Inquinante | Parametro | Scenario | Fonti emissive |
|--------|-----------------|---|----------|---------------------------------------|
| 12 | NO _x | Media annuale | 2004 | Lamarmora |
| 13 | | | | SRC (Sistema di Riscaldamento Civile) |
| 14 | | Percentile annuale 99.8 delle concentrazioni orarie | | Lamarmora |
| 15 | | | | SRC |
| 16 | Polveri | Media annuale | | Lamarmora |
| 17 | | | | SRC |
| 18 | | Percentile annuale 98 delle concentrazioni giornaliere | | Lamarmora |
| 19 | | | | SRC |
| 20 | NO _x | Media annuale | progetto | Lamarmora |
| 21 | | | | SRC (Sistema di Riscaldamento Civile) |
| 22 | | Percentile annuale 99.8 delle concentrazioni orarie | | Lamarmora |
| 23 | | | | SRC |
| 24 | Polveri | Media annuale | | Lamarmora |
| 25 | | | | SRC |
| 26 | | Percentile annuale 98 delle concentrazioni giornaliere | | Lamarmora |
| 27 | | | | SRC |
| 28 | NO _x | Differenze tra la media annuale nello scenario progettuale e quella del 2004 | | SRC |
| 29 | Polveri | | | |
| 30 | NO _x | Differenze tra il percentile del nello scenario progettuale e quella del 2004 | | SRC |
| 31 | Polveri | | | |

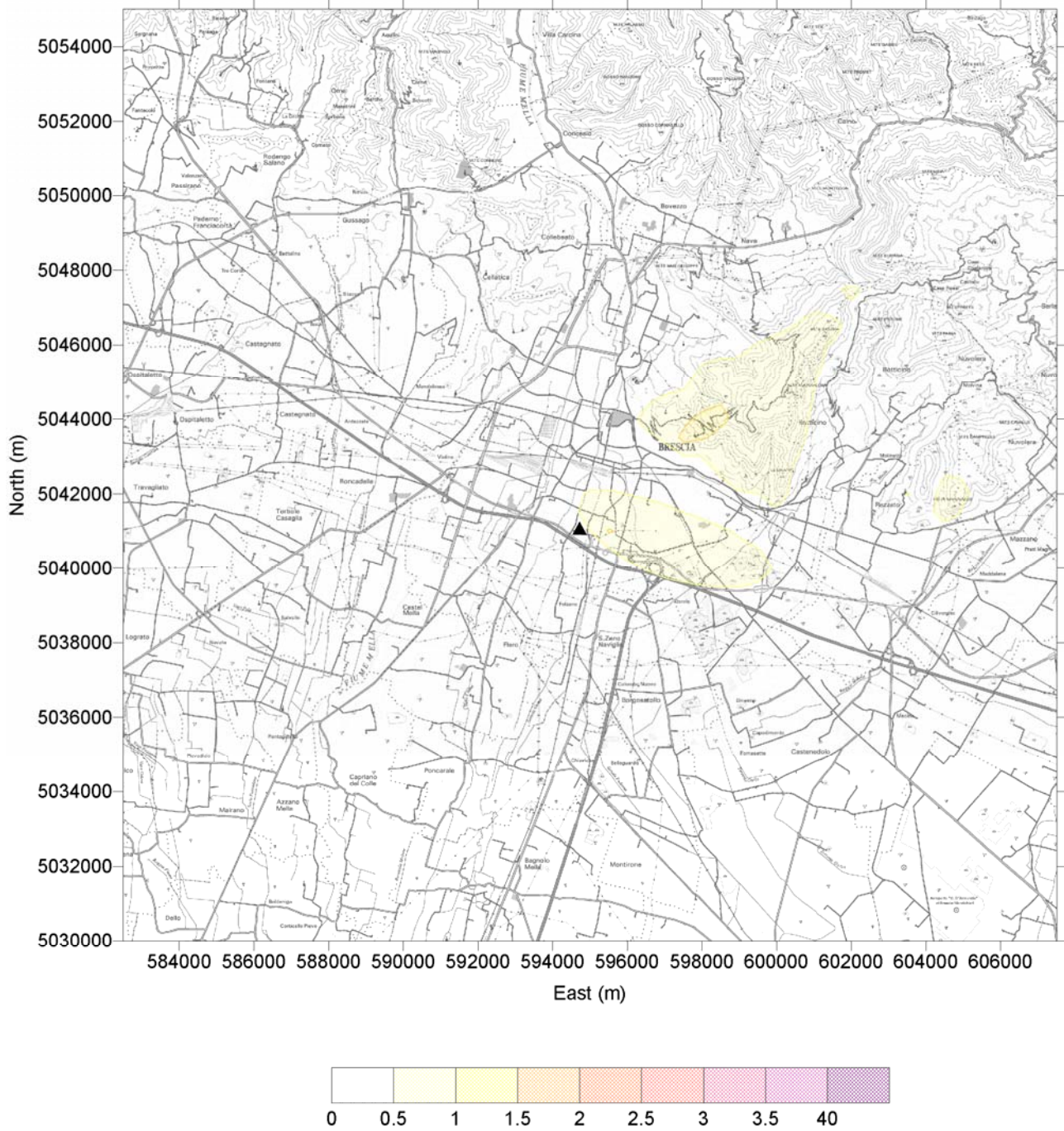


Figura 12 Inquinante NO_x – Concentrazione media annuale calcolata (µg/m³) – Stato anno 2004 centrale Lamarmora.

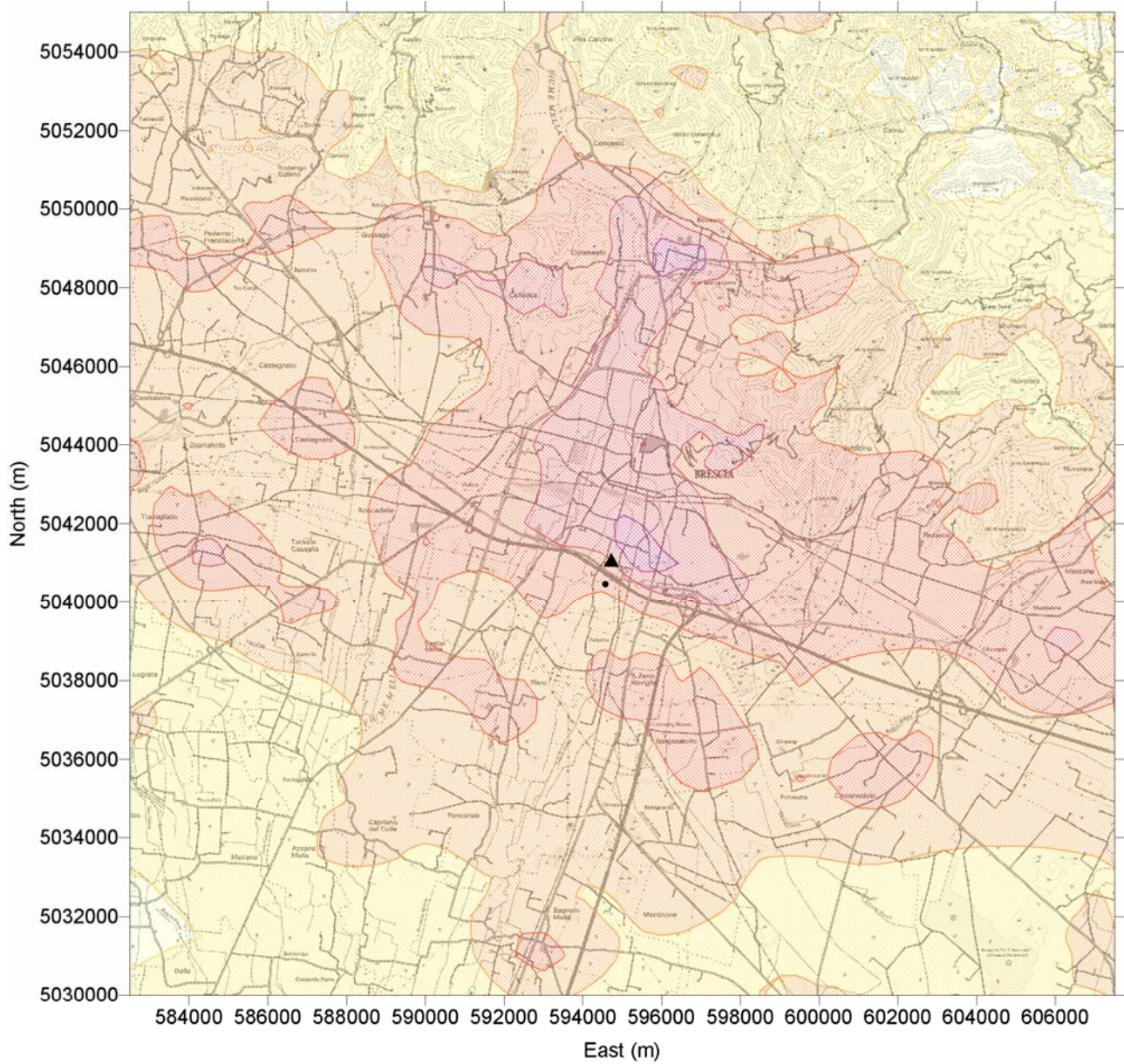


Figura 13 - Inquinante NO_x – Concentrazione media annuale calcolata (µg/m³) – Stato anno 2004, sistema di riscaldamento civile.

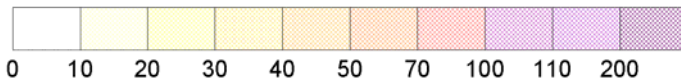
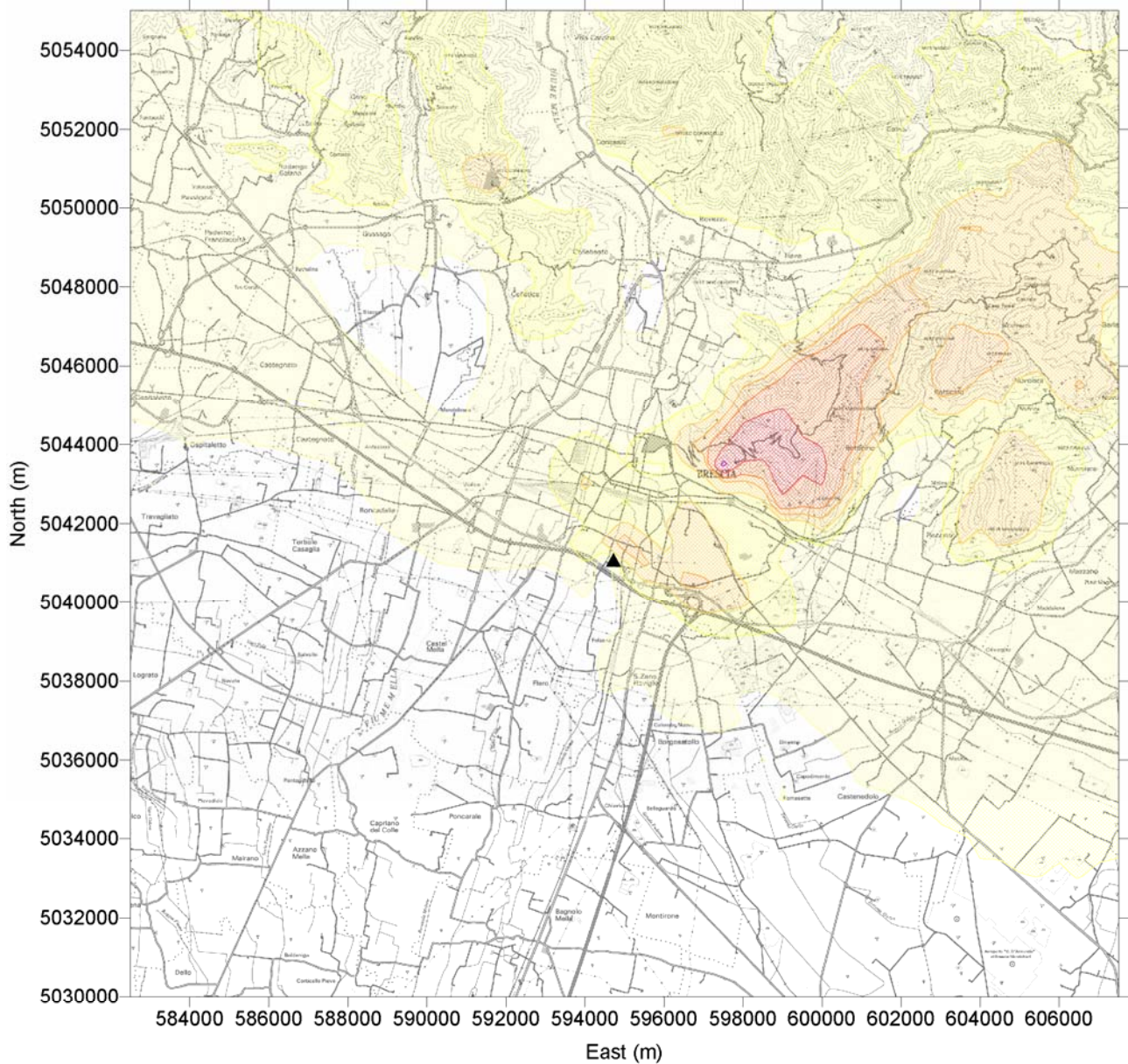


Figura 14 - Inquinante NO_x – Percentile annuale 99.8 della concentrazione media oraria calcolata (µg/m³) – Stato anno 2004 centrale Lamarmora

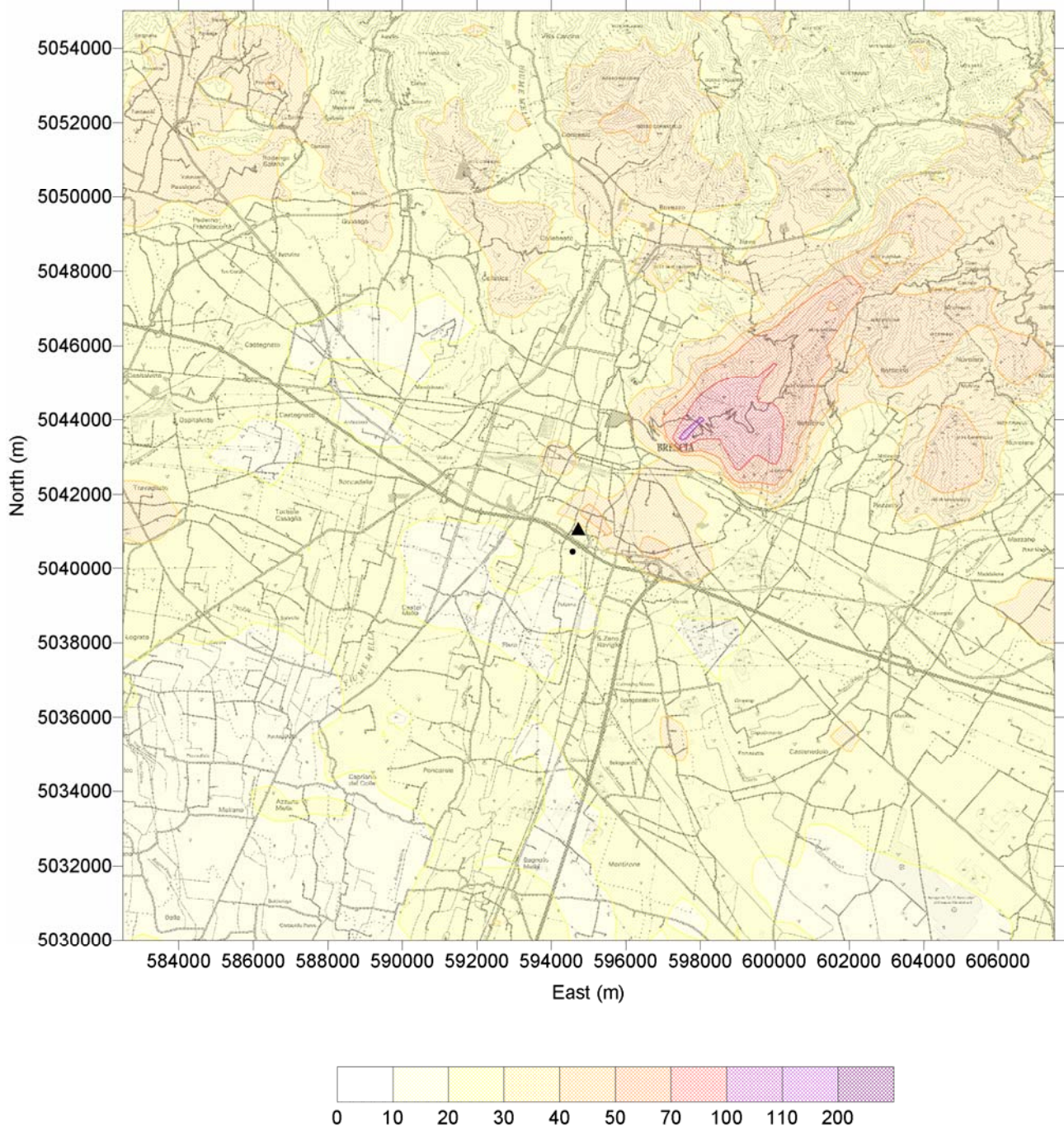


Figura 15 - Inquinante NO_x – Percentile annuale 99.8 della concentrazione media oraria calcolata (µg/m³) – Stato anno 2004, sistema di riscaldamento civile.

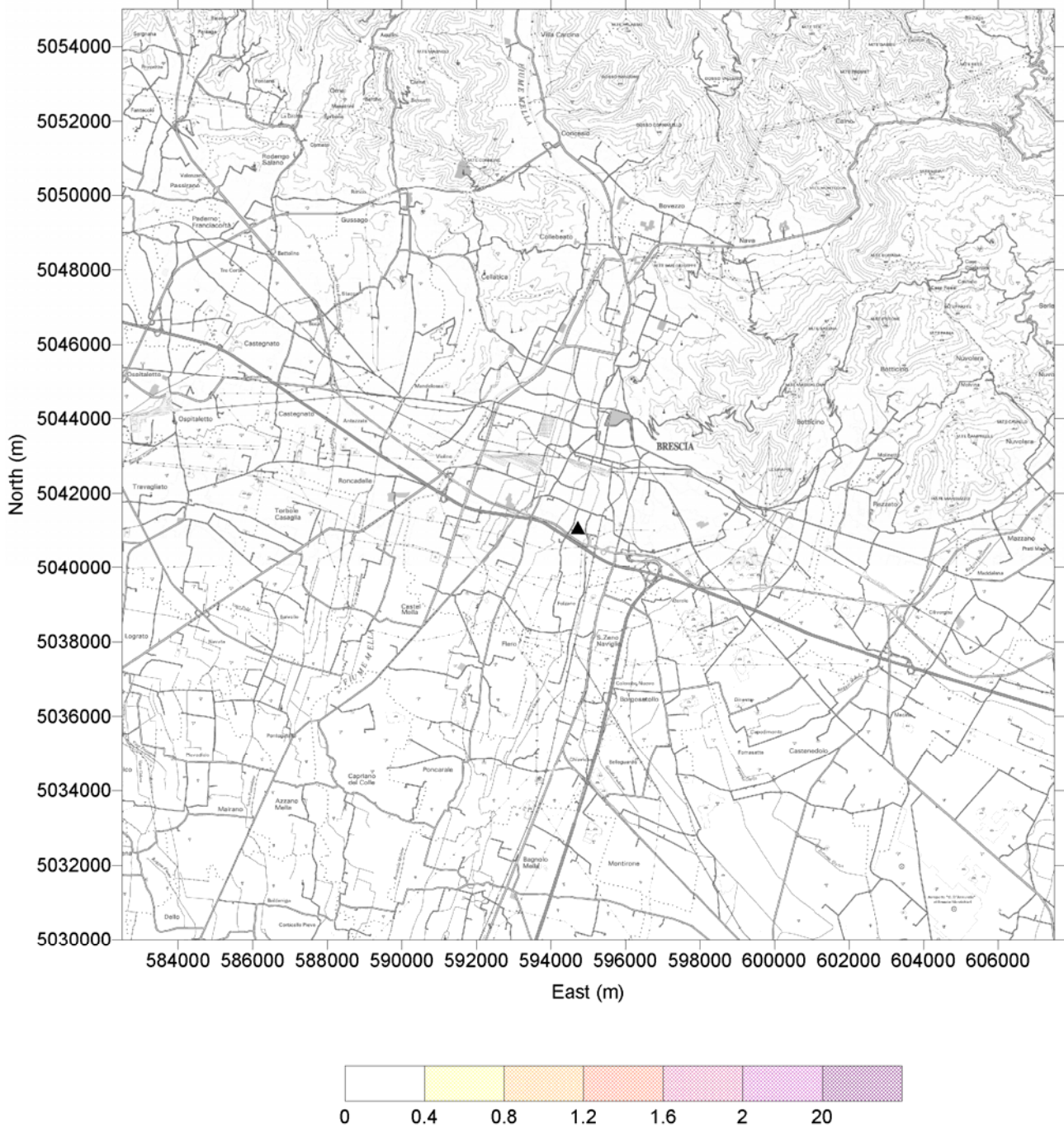


Figura 16 - Inquinante Polveri – Concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato anno 2004, centrale Lamarmora.

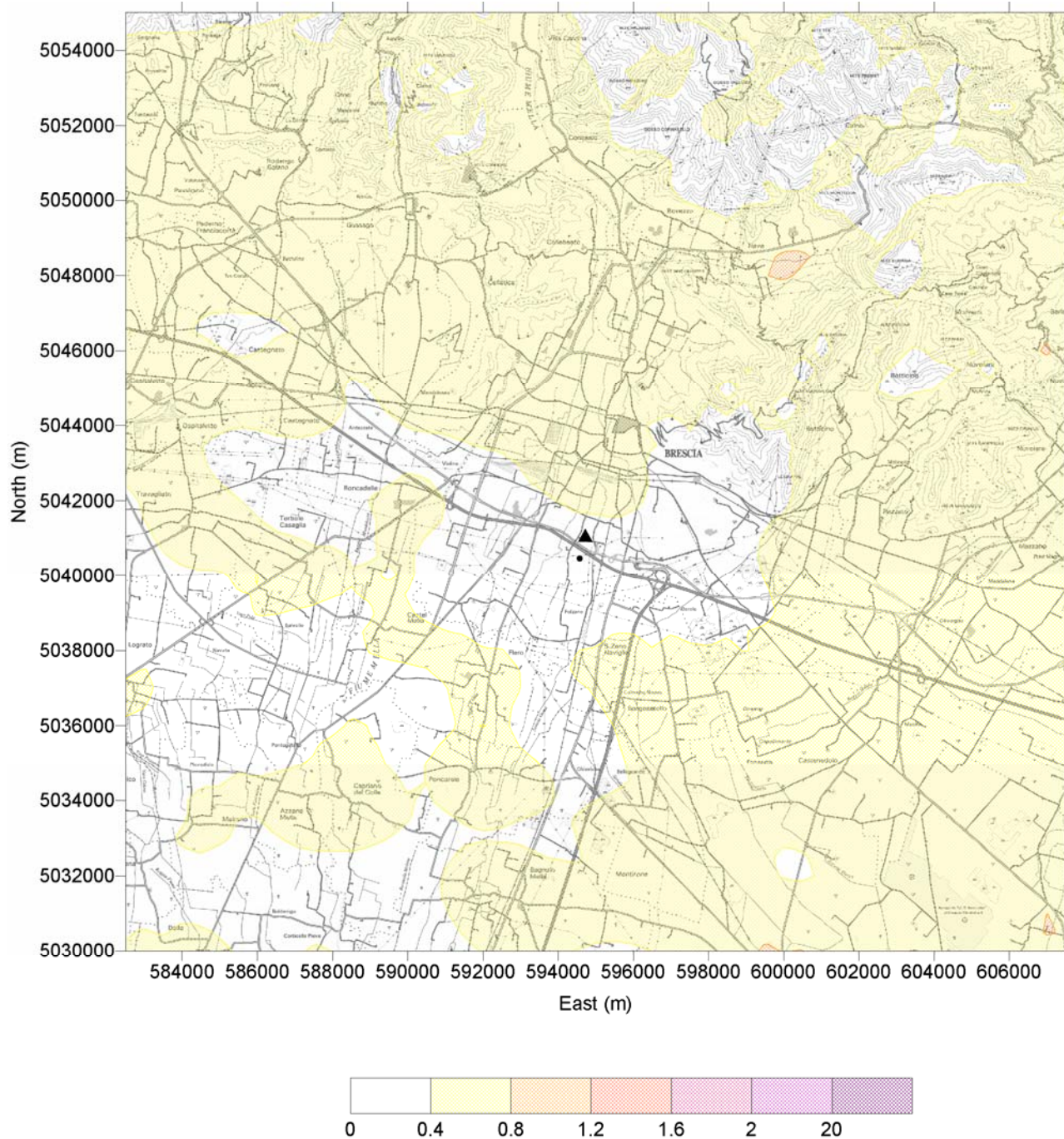


Figura 17 - Inquinante Polveri – Concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato anno 2004, sistema di riscaldamento civile.

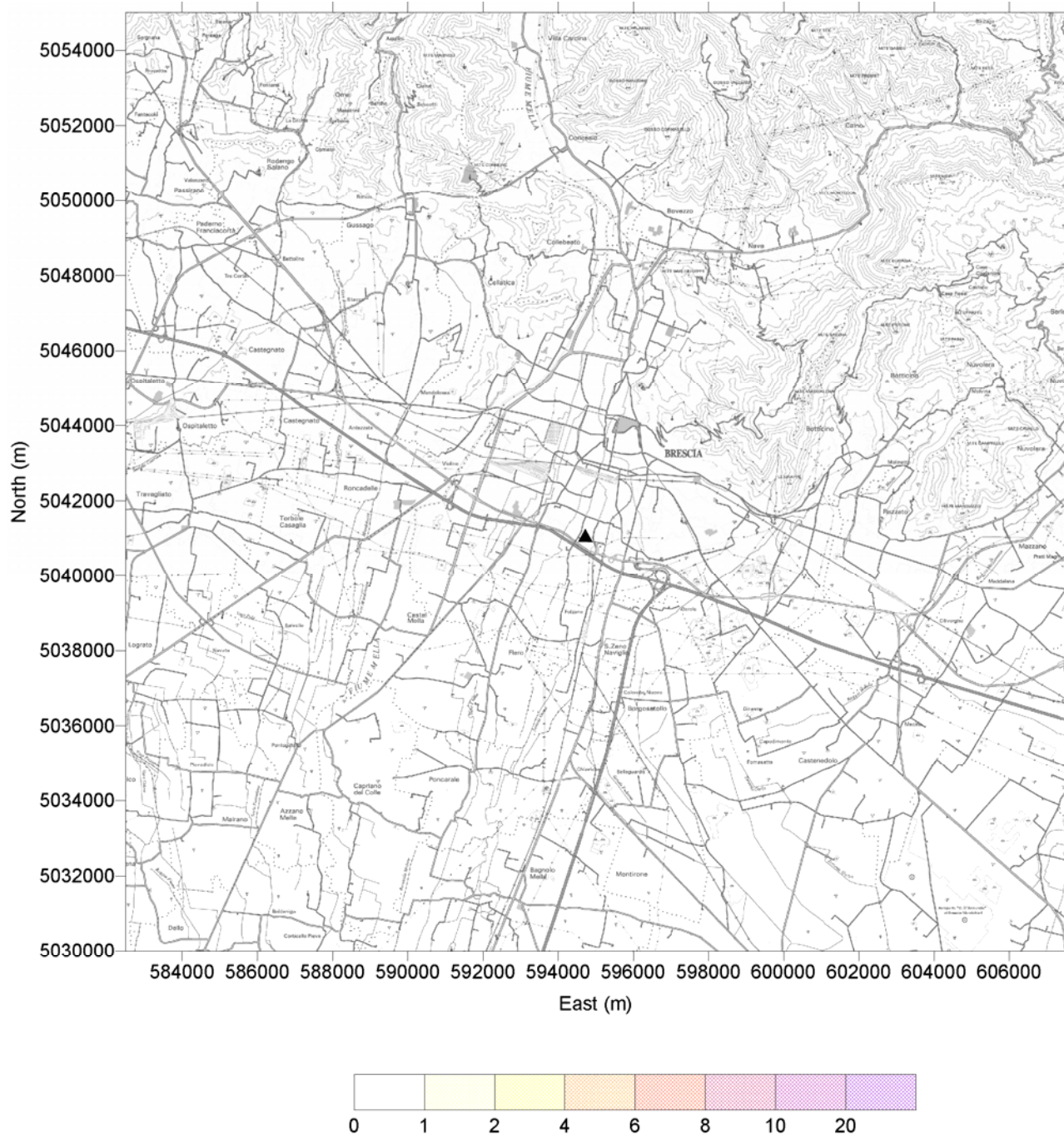
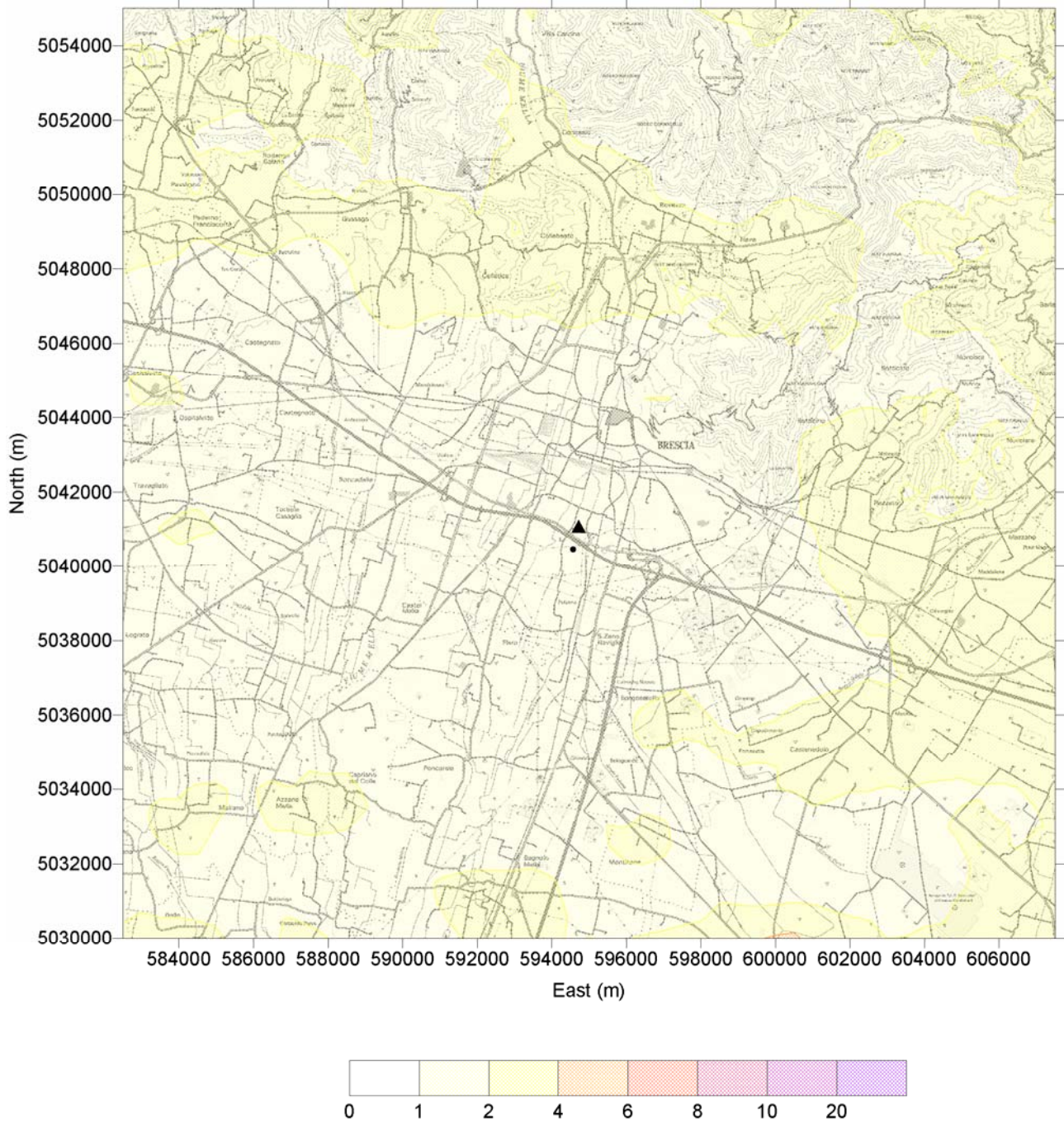


Figura 18 - Inquinante Polveri – Percentile annuale 98 della concentrazione media giornaliera calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato anno 2004, centrale Lamarmora.



**Figura 19 - Inquinante Polveri – Percentile annuale 98 della concentrazione media giornaliera calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
– Stato anno 2004, sistema di riscaldamento civile.**

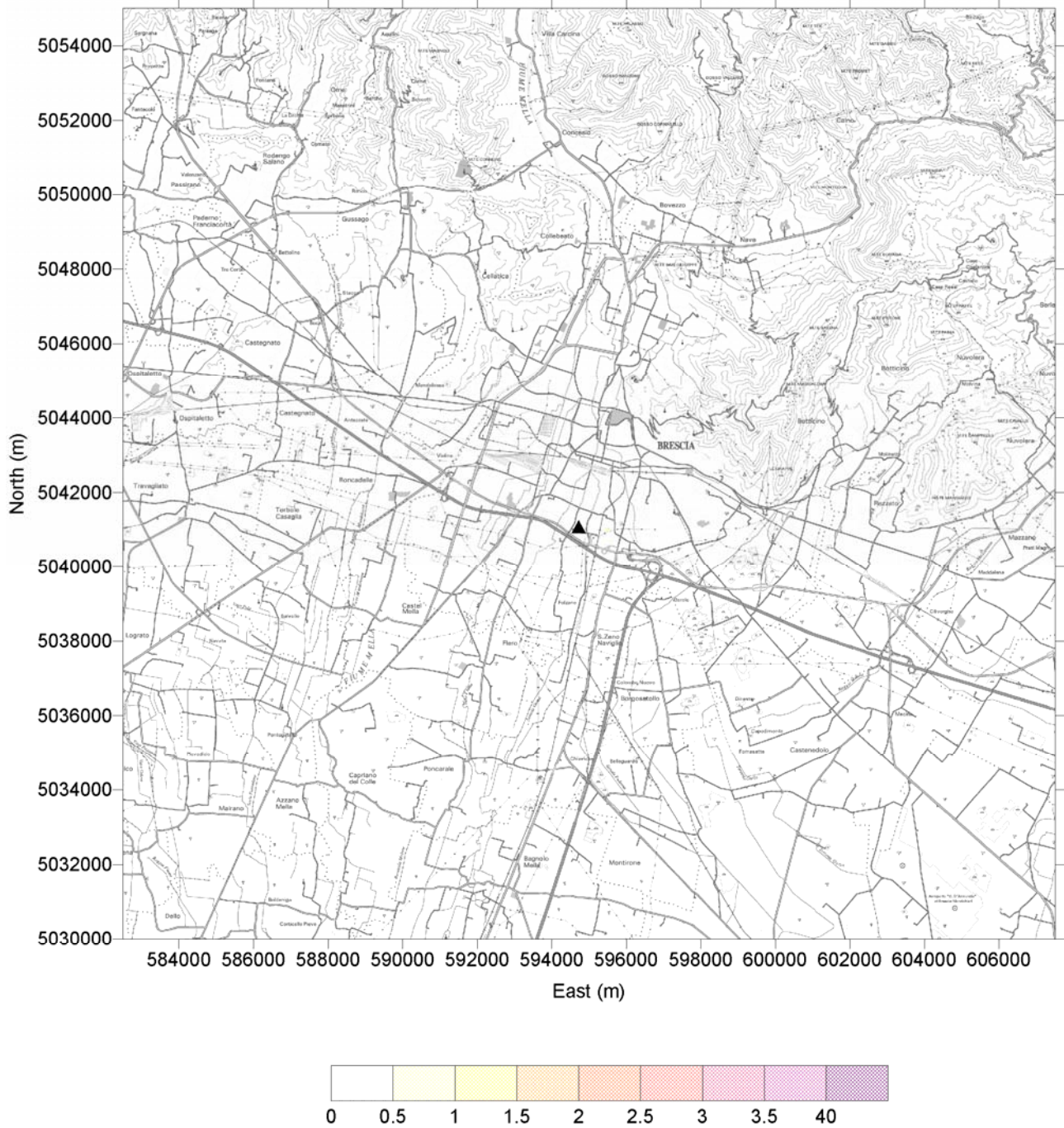


Figura 20 - Inquinante NOx – Concentrazione media annuale calcolata (µg/m3) – Stato scenario progettuale centrale Lamarmora.

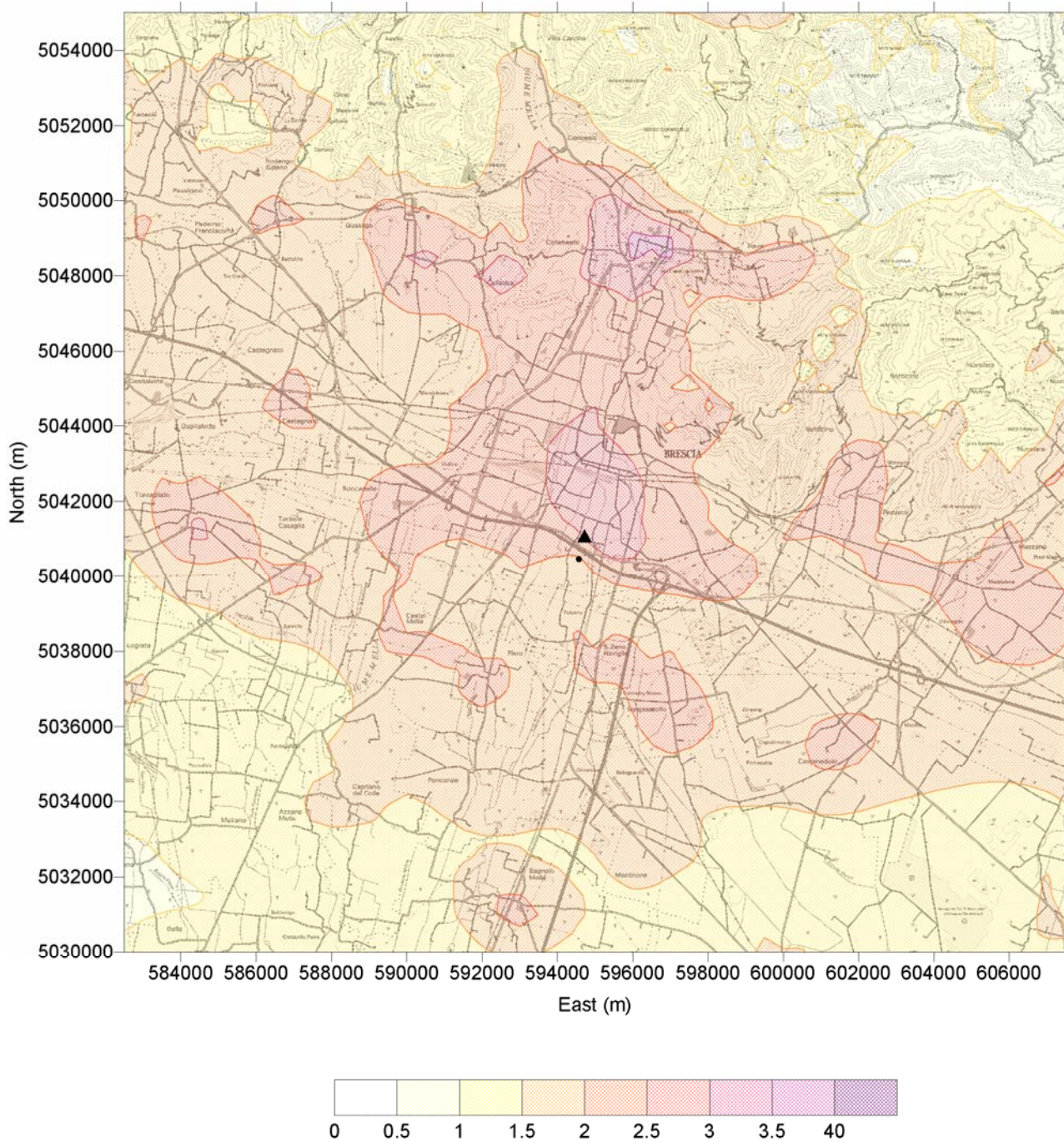


Figura 21 - Inquinante NO_x – Concentrazione media annuale calcolata (µg/m³) – Stato scenario progettuale, sistema di riscaldamento civile.

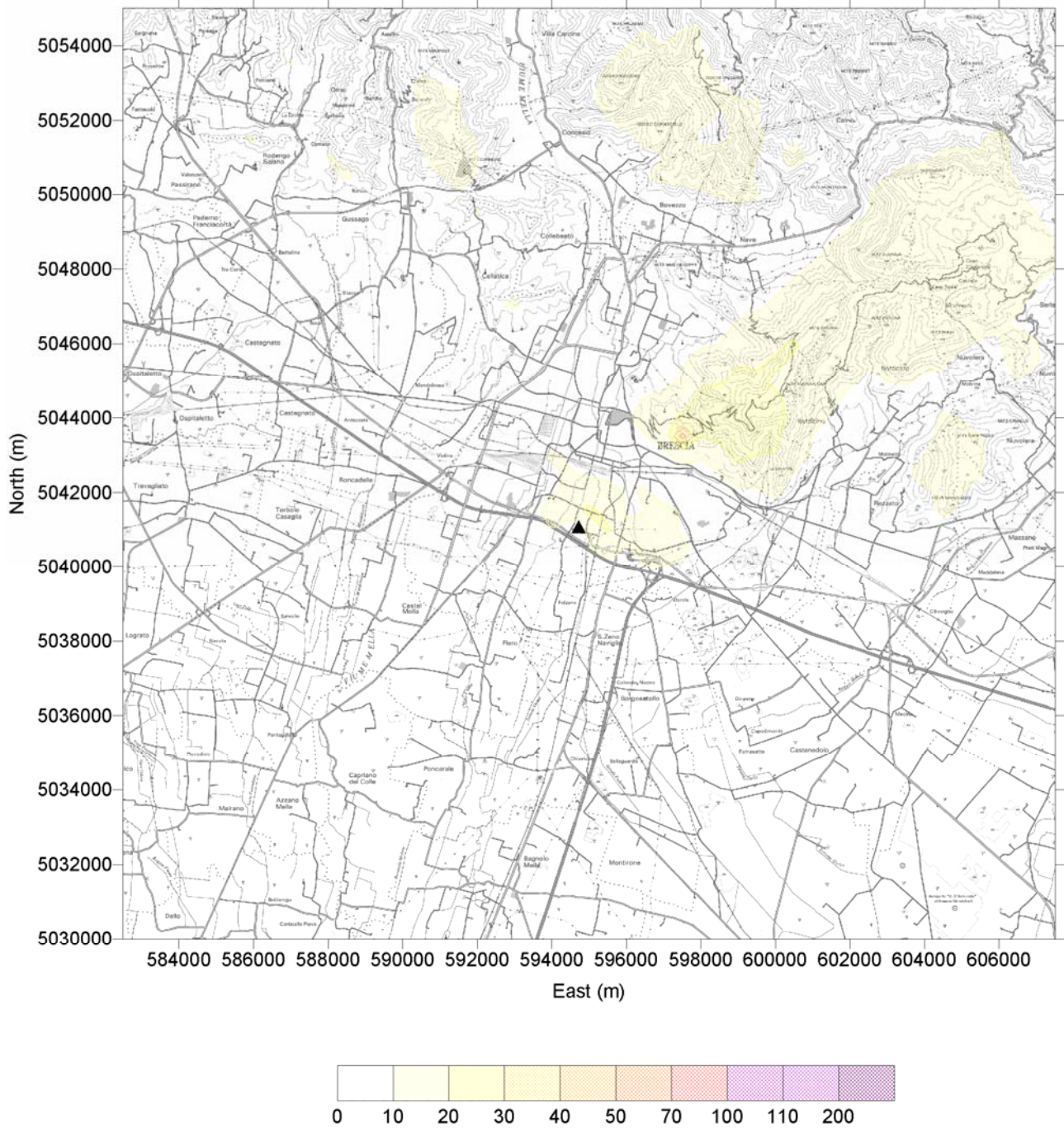


Figura 22 - Inquinante NOx – Percentile annuale 99.8 della concentrazione media oraria calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato scenario progettuale centrale Lamarmora.

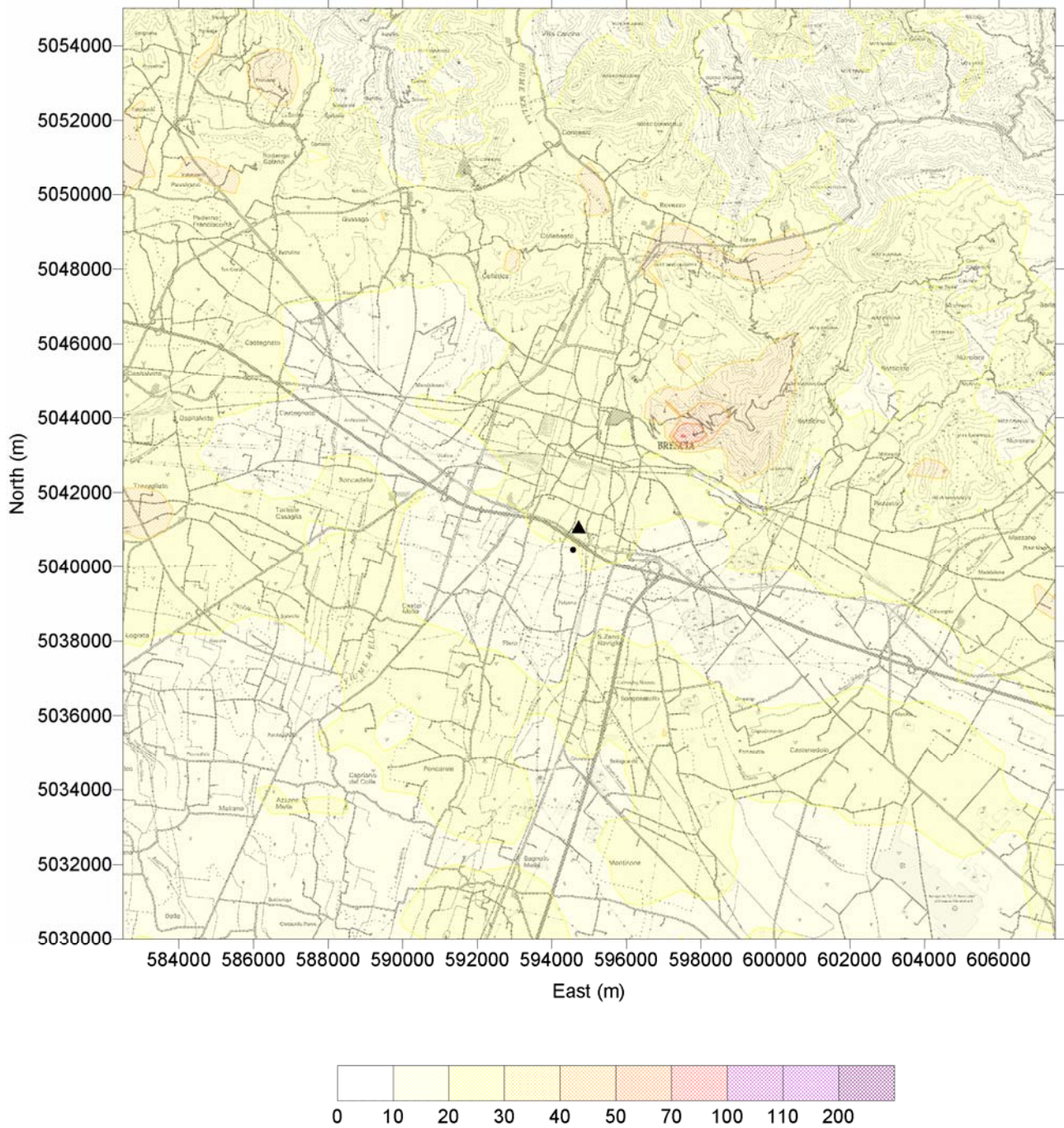


Figura 23 - Inquinante NOx – Percentile annuale 99.8 della concentrazione media oraria calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato scenario progettuale, sistema di riscaldamento civile.

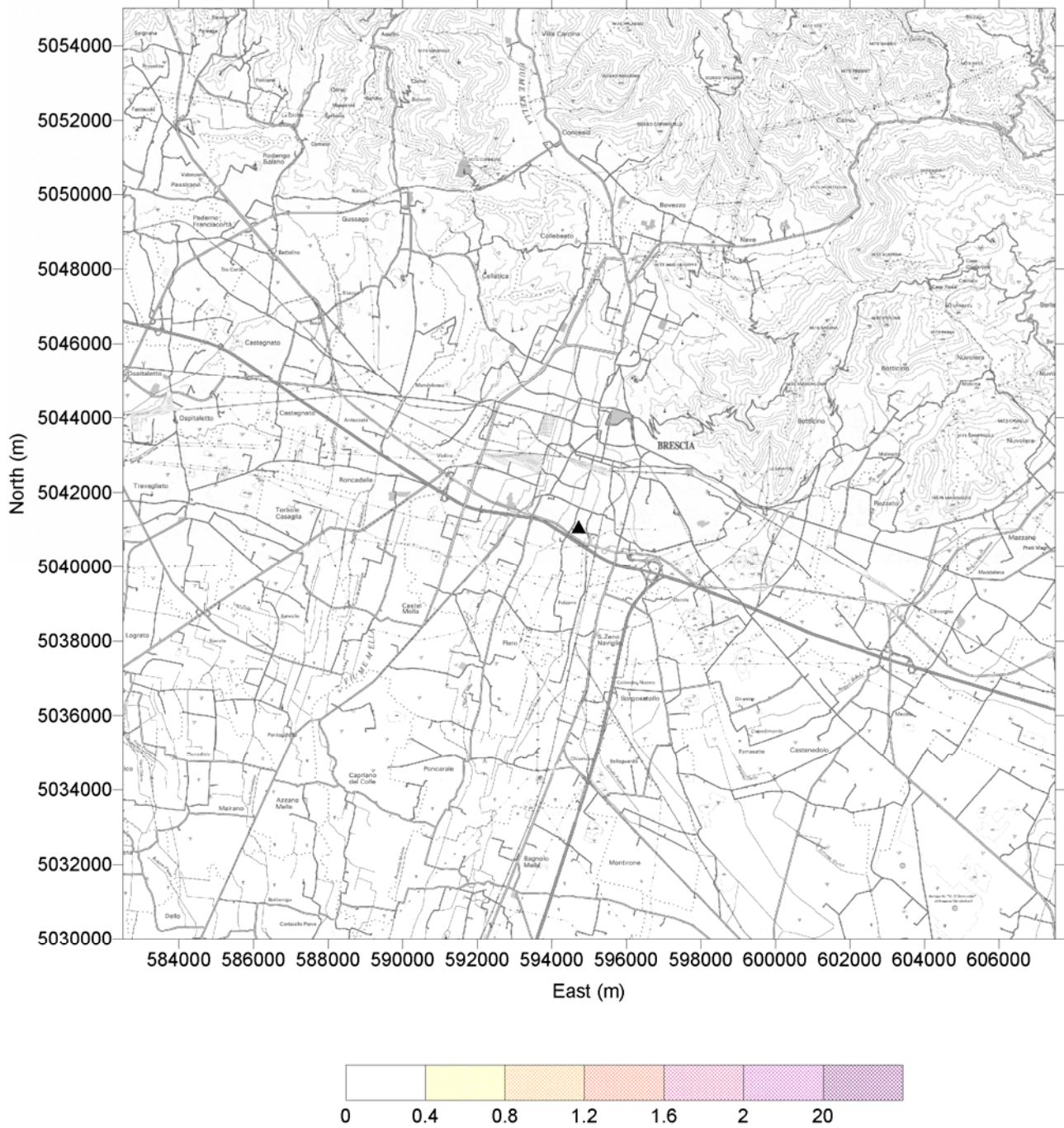


Figura 24 - Inquinante Polveri – Concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato scenario progettuale centrale Lamarmora.

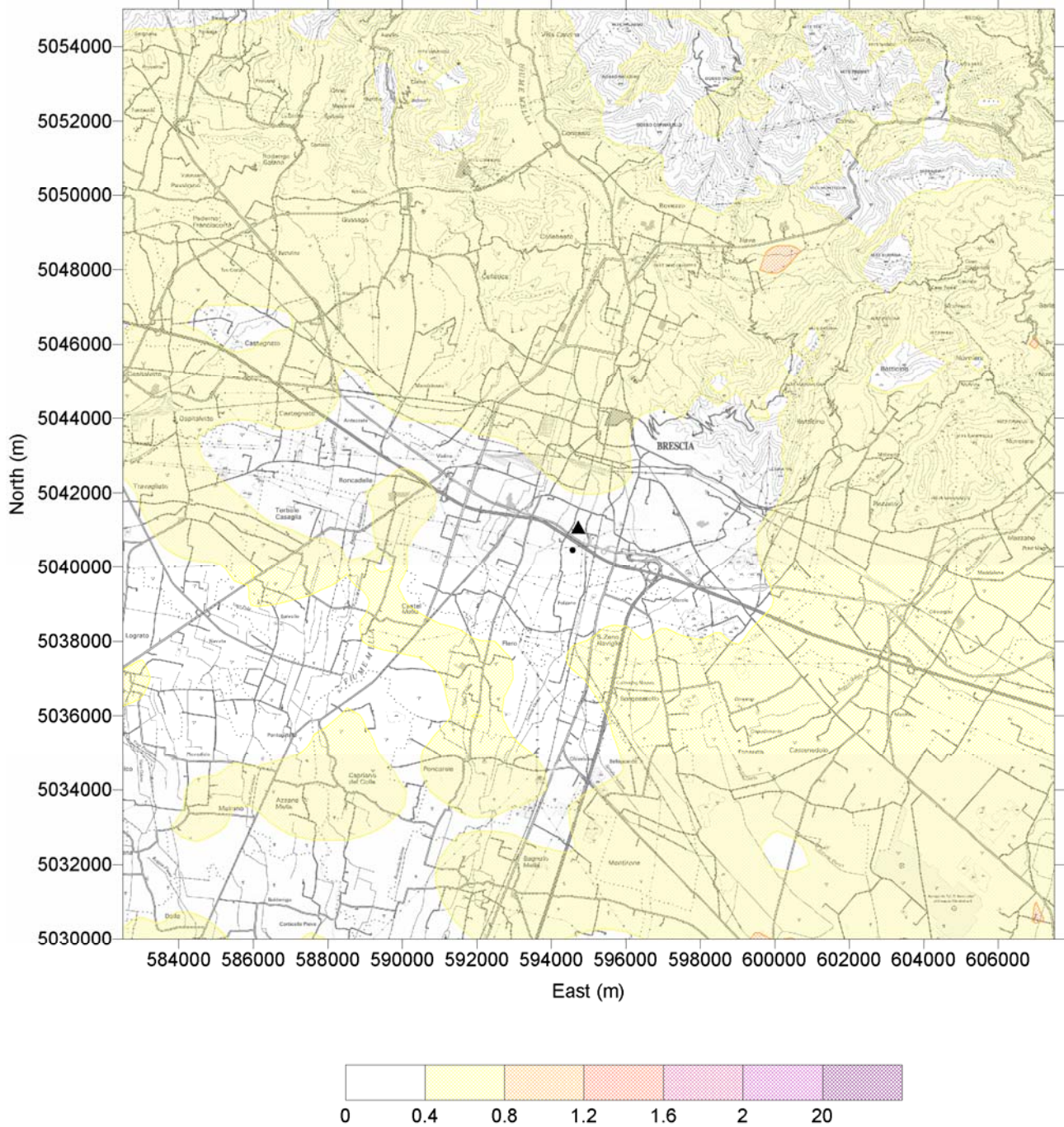
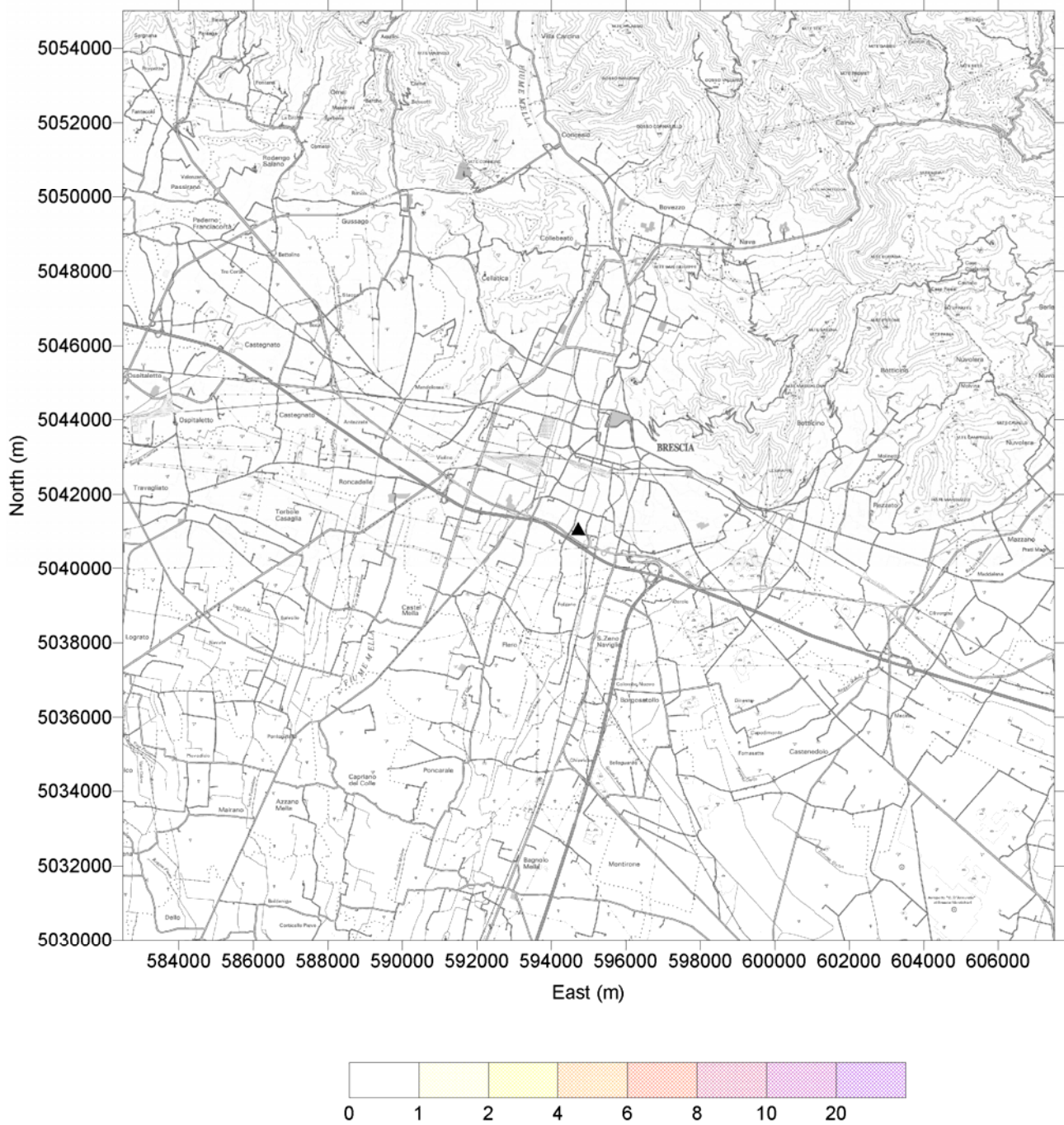


Figura 25 - Inquinante Polveri – Concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato scenario progettuale, sistema riscaldamento civile



**Figura 26 - Inquinante Polveri – Percentile annuale 98 della concentrazione media giornaliera calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
– Stato scenario progettuale centrale Lamarmora.**

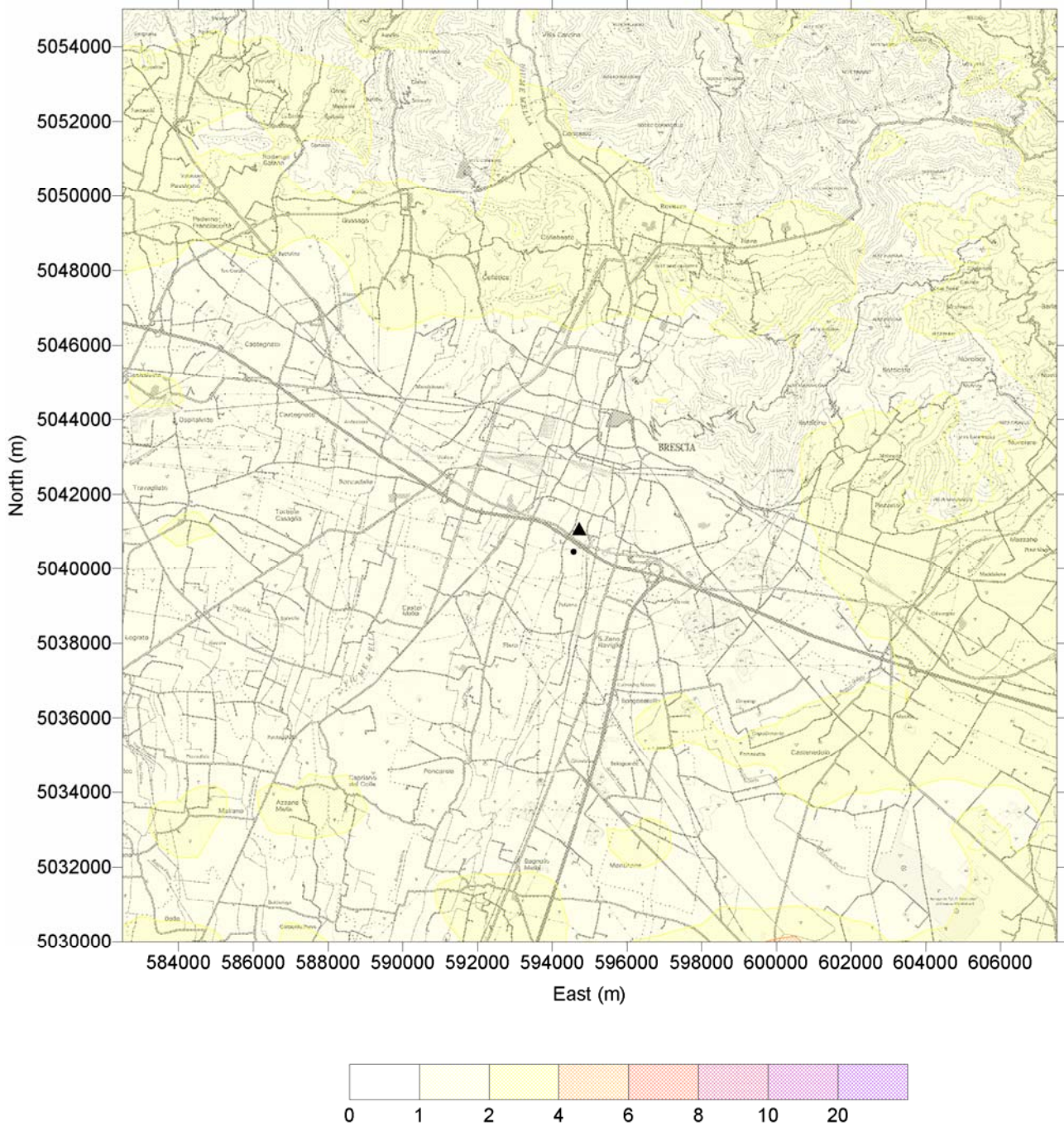


Figura 27 - Inquinante Polveri – Percentile annuale 98 della concentrazione media giornaliera calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Stato scenario progettuale, sistema di riscaldamento civile.

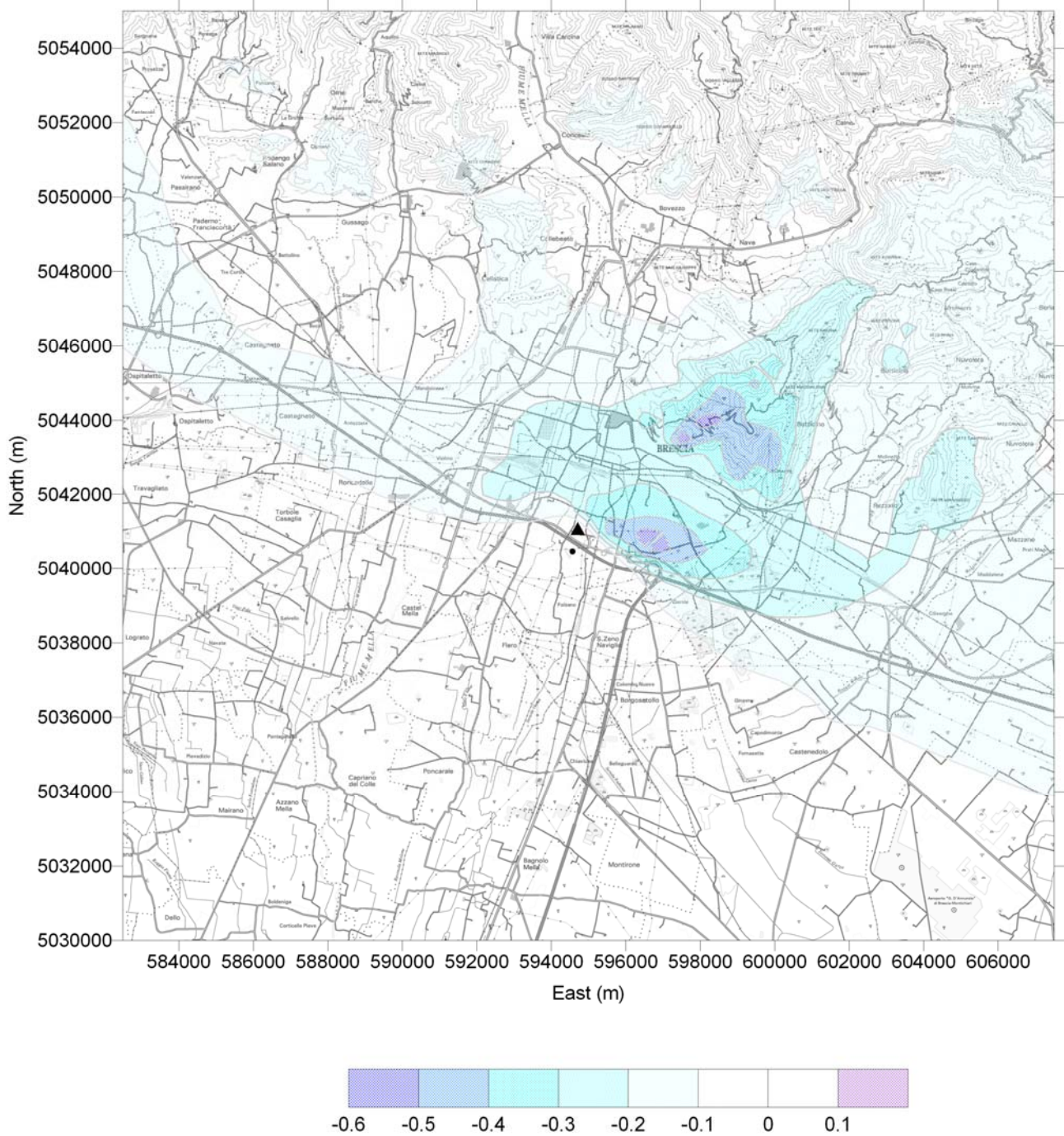


Figura 28 - Inquinante NOx – Differenza assoluta della concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – (Stato scenario progettuale - Stato anno 2004), sistema riscaldamento civile

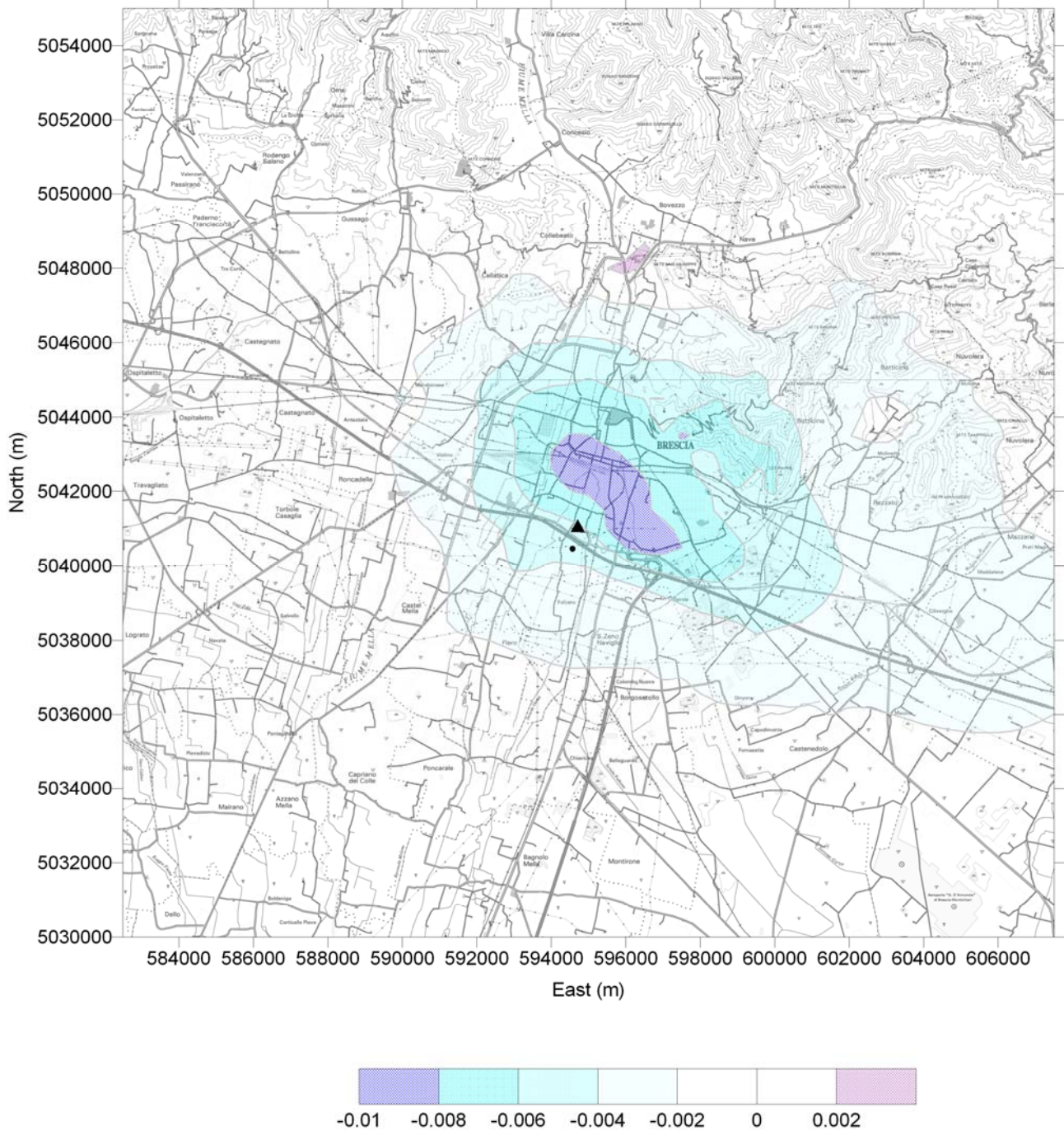


Figura 29 - Inquinante Polveri – Differenza assoluta tra la concentrazione media annuale calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – (Stato scenario progettuale - Stato anno 2004), sistema riscaldamento civile

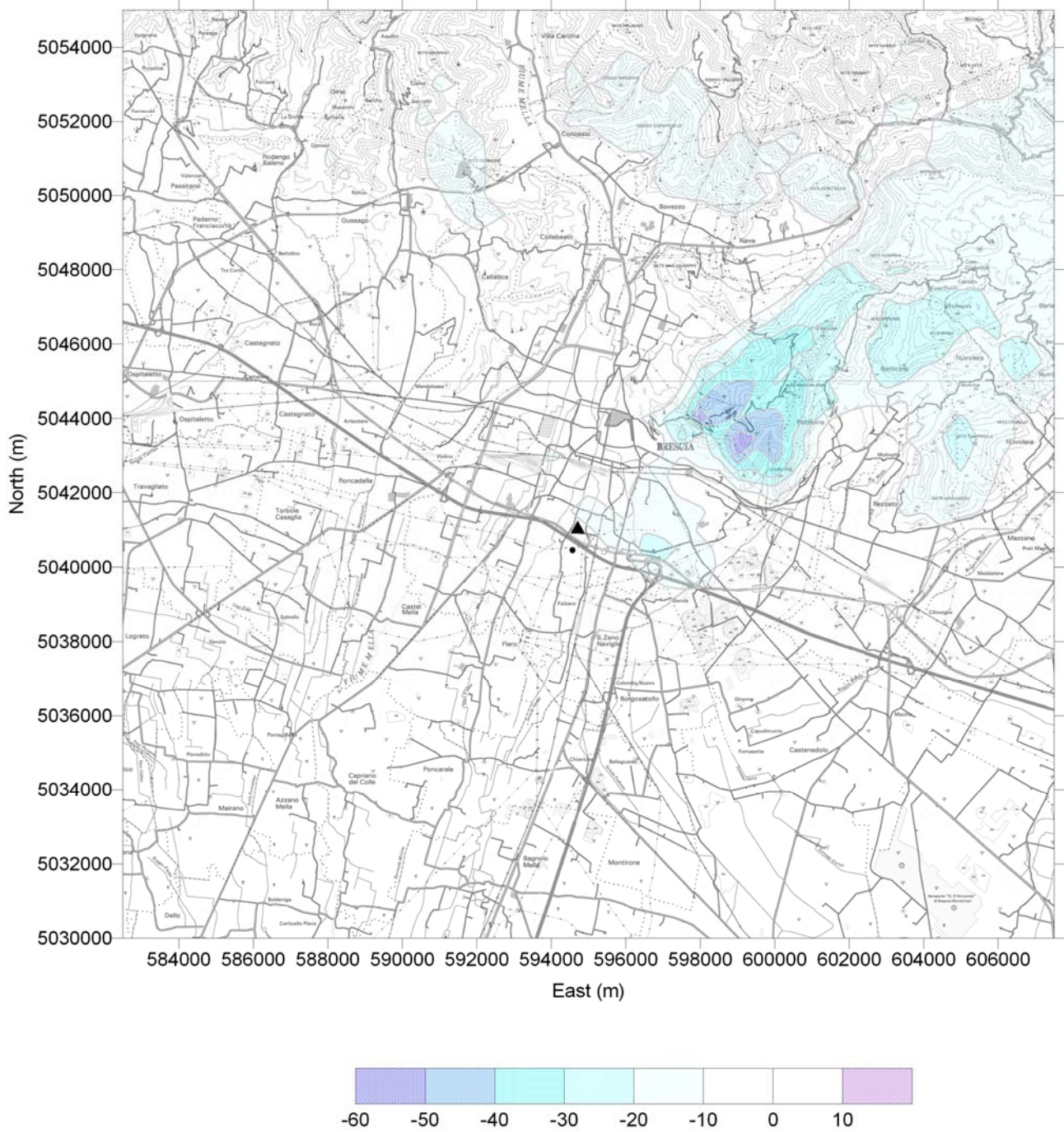


Figura 30 - Inquinante NOx – Differenza assoluta tra il percentile annuale 99.8 della concentrazione media oraria calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – (Stato scenario progettuale - Stato anno 2004), sistema riscaldamento civile

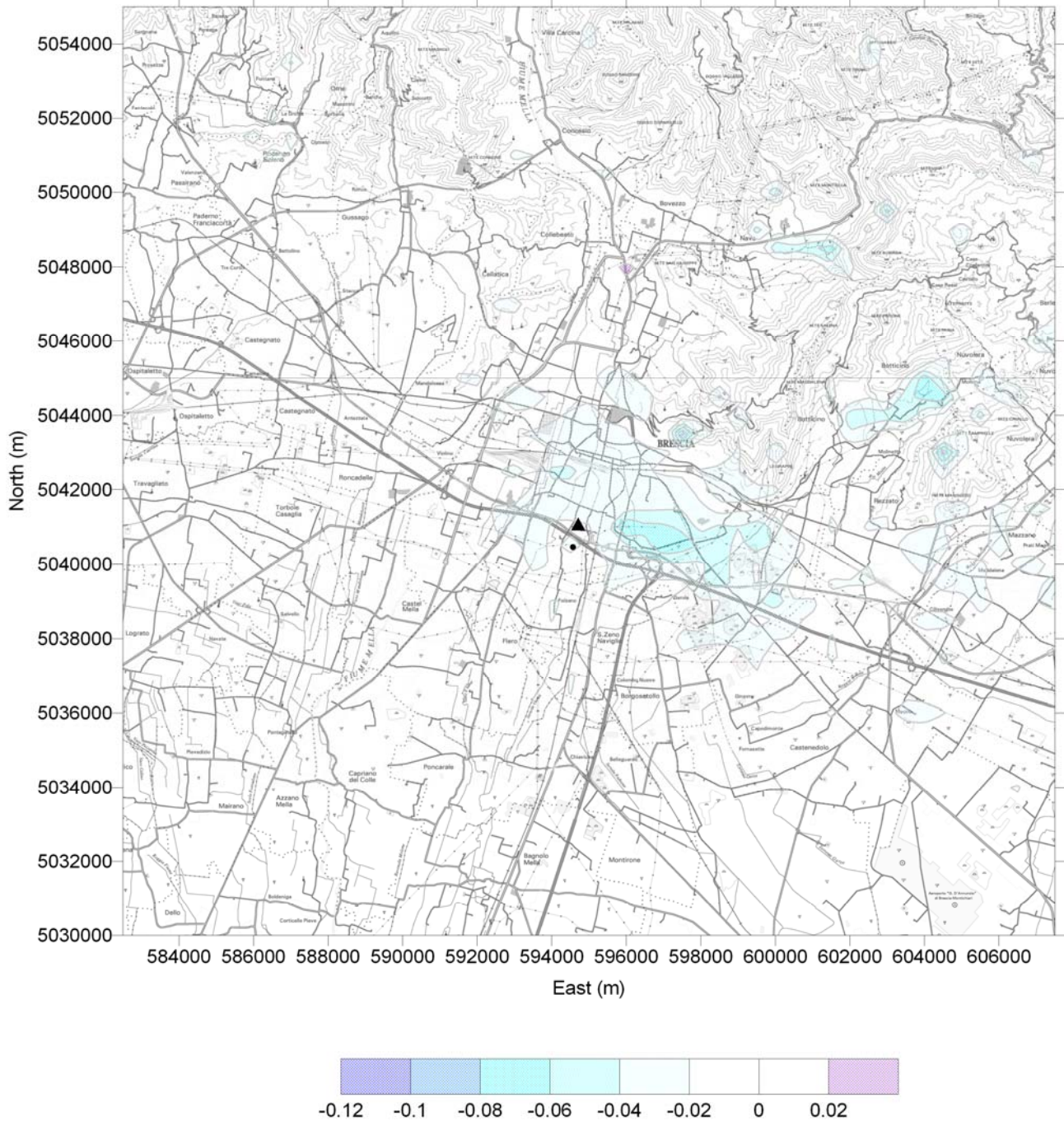


Figura 31 - Inquinante Polveri – Differenza assoluta tra il percentile annuale 98 della concentrazione media giornaliera calcolata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – (Stato scenario progettuale - Stato anno 2004), sistema riscaldamento civile

6 Conclusioni

In vista di una crescente domanda di energia termica nel comune di Brescia e della necessità di ridurre le emissioni dei gruppi 1 e 2 della centrale Lamarmora (mediante una loro conversione in ciclo combinato a metano), la Giunta Comunale di Brescia ha ritenuto opportuno valutare l'integrazione della capacità produttiva del sistema di teleriscaldamento con nuovi impianti di produzione per soddisfare le esigenze future e garantire al contempo un adeguato margine di riserva, per fare fronte ad indisponibilità per guasti o manutenzioni.

Le modifiche apportate alla CTEC Lamarmora e le conseguenze ambientali (comparto atmosfera) sono state analizzate considerando le specie inquinanti emesse (ossidi di azoto, NO_x, e Polveri), e producendo la stima modellistica delle concentrazioni al suolo su un periodo di un anno, in termini di mappe delle statistiche annuali (medie e percentili) confrontabili con gli standard di legge.

Lo stato attuale della qualità dell'aria, analizzato nella sua evoluzione alle stazioni della rete provinciale tra il 2001 ed il 2004, mostra una situazione tipica di un contesto urbano e sub-urbano in Pianura Padana, con superamenti dei limiti di legge praticamente presso tutte le stazioni e di entrambi gli inquinanti analizzati. In una situazione di questo tipo sarebbe raccomandabile che gli interventi di ristrutturazione degli impianti termici esistenti fossero a mitigazione dell'impatto ambientale degli stessi.

Al fine di valutare al meglio l'influenza delle modifiche progettuali della centrale, è stato inizialmente simulato il sistema di riscaldamento civile nel suo complesso ed il singolo apporto della CTEC Lamarmora nell'anno di riferimento 2004; in un secondo tempo, le stesse simulazioni sono state condotte in relazione ad uno scenario progettuale, tenendo dunque in conto i cambiamenti che si verranno a verificare. Già dal punto di vista emissivo risultano evidenti i benefici portati dalla ristrutturazione in progetto, con emissioni della centrale previste in discesa di oltre il 40%, sia per gli NO_x sia per il Polveri. Considerando il sistema di riscaldamento civile della città di Brescia nel suo complesso, tali riduzioni risultano in ogni caso di oltre il 30%.

Per lo studio di dispersione è stato utilizzato un modello gaussiano, che consente di elaborare un numero elevato di situazioni meteorologiche (1 anno di dati orari) e di sorgenti.

L'impatto atmosferico della centrale Lamarmora non mostra particolare rilevanza se confrontato con i livelli di qualità dell'aria che emergono dall'analisi puntuale alle stazioni di monitoraggio e dalla analisi spaziale dei risultati della simulazione modellistica di tutte le sorgenti legate al riscaldamento ambienti. In linea con le emissioni, l'evoluzione dei livelli di qualità dell'aria indotta dallo scenario progettuale genera, per il sistema riscaldamento nel suo complesso, una riduzione dei livelli d'inquinamento, sia di NO_x sia di Polveri: tale riduzione è quantificata alle stazioni della rete di monitoraggio compresa tra il 3.2% ed il 14.1% per quanto riguarda gli ossidi di azoto e tra lo 0.6% ed il 2.1% per il particolato. Anche a livello di percentili, su tutti i punti di misura si osservano riduzioni dei livelli calcolati, in alcuni casi molto significative.

7 Bibliografia

- ARIANET (2004). Studio di impatto ambientale terza linea del termoutilizzatore di brescia. Quadro di riferimento ambientale - modellizzazioni delle emissioni in atmosfera. Appendice A di: D'Appolonia, 2004.
- Briggs G.A. (1973) Diffusion estimation for small emission, ATDL 79 Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Briggs G.A. (1975) Plume rise predictions, in: *Lecture on air pollution and environmental impact analyses*, Workshop Proceedings, Boston, Mass.
- Briggs G.A. (1984): Plume rise and buoyancy effects. *Atmosphere Science and Power Production*, D. Randerson Ed., DOE/TIC-27601, 327-366.
- Comune di Brescia – Settore Ambiente ed Ecologia (2000). Valutazione preliminare della qualità dell'aria e rapporto annuale sulla qualità dell'aria per il 1999.
- Comune di Brescia – Settore Ambiente ed Ecologia (2001). Rapporto annuale sulla qualità dell'aria per il 2000.
- Comune di Brescia – Settore Ambiente ed Ecologia, Università degli Studi di Brescia (2004). Studio di dispersione atmosferica di inquinanti emessi sul territorio bresciano.
- D'Appolonia (2004). ASM Brescia spa. Completamento del Termoutilizzatore mediante l'Installazione della Terza Unità di Combustione. Studio di Impatto Ambientale, Quadro di Riferimento Ambientale. Doc. No. 03-550-H3.
- EMEP/CORINAIR (1999). Atmospheric Emission Inventory Guidebook – Second edition. <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR/en>
- Finzi G. e Brusasca G. (1991) - La qualità dell'aria. Modelli previsionali e gestionali - Masson, Milano, pp 346.
- Finzi G., G. Pirovano, M., Volta L. (2001) – Gestione della qualità dell'aria – McGraw-Hill Milano, pp 409.
- Hanna S.R., Briggs G.A., Deardorff B.A., Egan F.A., Gifford F.A., Pasquill F. (1977): AMS Workshop on stability classification schemes and sigma curves. Summary and recommendations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 58, 1305-1309.
- IAEA (1981) Dispersion atmosphérique et choix des sites de centrales nucléaires, Guide de sureté. Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienna.
- IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis – RAINS-Europe homepage. <http://www.iiasa.ac.at/~rains/>
- INEMAR, 2001. <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.
- Pasquill F. (1983) Atmospheric diffusion, Ellis Horwood.
- S.R. Hanna, G.A. Briggs, R.P. Hosker Jr (1982) Handbook on atmospheric diffusion, Technical Information Center, US Department of Energy.

8 Appendice A - ARIA Impact™

ARIA Impact™ è composto da un pre-processore meteorologico e due codici di diffusione gaussiani (GAUMOD, a pennacchio e DIFFUS, a *puff*), che consentono di simulare rilasci di gas o particolati pesanti a partire da sorgenti puntuali, lineari ed areali.

8.1 Ipotesi fondamentali e formulazione

Le ipotesi su cui è basato il modello sono le seguenti:

- turbolenza omogenea nei bassi strati;
- i dati meteorologici sono rappresentativi del dominio di calcolo nel suo insieme;
- la densità degli inquinanti è paragonabile a quella dell'aria;
- la componente verticale del vento è trascurabile rispetto a quella orizzontale;
- il regime permanente viene raggiunto istantaneamente.

Tali ipotesi sono generalmente conservative e consentono una stima rapida degli ordini di grandezza dell'inquinamento su dei domini di dimensione variabile da 1 a 30 km. Il dominio di calcolo deve essere sufficientemente grande, in modo tale che i pennacchi calcolati risultino in esso contenuti e che gli ostacoli (edifici, alberi, ecc.) possano essere considerati come parte della rugosità del terreno.

Nel caso di camini multipli, il codice effettua il calcolo in modo indipendente per ciascun pennacchio, sommando poi per ogni specie gli effetti dei singoli pennacchi in corrispondenza di tutti i punti del dominio di calcolo. Il fatto di non tenere in conto delle interferenze possibili tra pennacchi è conservativo per la determinazione delle concentrazioni, poiché il sovrainnalzamento viene sottostimato.

Il codice è fondamentalmente basato su un modello a pennacchio gaussiano rettilineo. Tale approccio è valido in regime stazionario, ed è maggiorativo rispetto ad un regime transitorio. E' dunque necessario che le variazioni dei dati meteorologici siano sufficientemente lente in rapporto alla propagazione del pennacchio. Una semplice valutazione dei tempi di scala coinvolti è basata sul rapporto:

$$T \approx L/U$$

essendo L l'estensione del dominio di calcolo ed U la velocità del vento

Nel caso di venti deboli invece, le concentrazioni vengono calcolate tramite un modello a *puff* gaussiani, trasportati dal vento.

Nel caso dei particolati infine, il codice consente di descrivere la granulometria in dieci classi dimensionali e l'impoverimento del pennacchio nel corso della sua progressione.

8.2 La turbolenza atmosferica

La diffusione del pennacchio è supposta avvenire in una porzione di atmosfera omogenea, che parte dal suolo e sia sufficientemente alta da non alterare l'espansione verticale del pennacchio.

La turbolenza viene rappresentata attraverso una classe che permette di scegliere una parametrizzazione per gli scarti orizzontali e verticali utilizzati per rappresentare l'allargamento del pennacchio. Un'inversione termica che parte dal suolo e contiene la totalità del pennacchio sarà così rappresentata tramite un'atmosfera stabile o molto stabile (classi E od F di Pasquill).

Per poter stimare la turbolenza, è necessario disporre di una serie di informazioni, quali tipicamente:

- una misura di vento, per stimare la turbolenza di origine meccanica;
- delle informazioni riguardanti l'irraggiamento (solare ed infrarosso): la posizione astronomica del sole (ora e giorno dell'anno) e la copertura nuvolosa, per stimare la turbolenza di origine termica.

Per ciò che riguarda l'alimentazione del modello con i dati meteorologici, sono possibili diverse alternative: inizializzazione manuale, utilizzo di serie temporali di dati storici ed utilizzo di rose dei venti. Nel caso di

semplice inizializzazione manuale dei dati meteo, la classe di stabilità può essere fornita direttamente da parte dell'utente, oppure dedotta a partire dai dati forniti. Negli altri casi la classe di stabilità viene invece di norma calcolata a partire dai dati introdotti.

All'interno di **ARIA Impact™** la stabilità atmosferica è descrivibile alternativamente tramite le classificazioni di Pasquill, Briggs, Doury o Brookhaven, opportunamente correlate tra di esse. La loro stima può avvenire secondo diversi metodi, selezionabili a seconda dei dati disponibili:

- irraggiamento - vento (IAEA, Agenzia Internazionale per l'Energia Nucleare);
- gradiente di temperatura
- scarti della direzione del vento;
- "giorno-notte" (semplificazione dei due metodi precedenti);
- gradiente di temperatura ed umidità relativa;
- copertura nuvolosa - vento ;
- scarti della direzione della componente verticale del vento (SODAR).

E' possibile utilizzare diverse formulazioni per le deviazioni orizzontale e verticale (σ_y , σ_z) del pennacchio gaussiano:

- Pasquill - Turner (formulazione standard);
- Briggs 'open country' (siti rurali poco accidentati);
- Briggs 'urban' (siti urbani con forte rimescolamento verticale);
- Doury (formulazione del Commissariat à l'Energie Atomique francese);
- Brookhaven (formulazione del Brookhaven National Laboratory).

8.3 Sovrainnalzamento del pennacchio

In **ARIA Impact™** viene tenuto conto del sovrainnalzamento termico per le grosse sorgenti e di quello dinamico per quelle 'piccole', unitamente all'effetto scia causato dall'interazione di venti forti con la sommità del camino. L'altezza effettiva del pennacchio viene calcolata come somma dell'altezza geometrica e del sovrainnalzamento all'equilibrio. Per il calcolo del sovrainnalzamento è possibile utilizzare le seguenti formulazioni:

- Briggs (distinzione tra pennacchi 'caldi' e di tipo 'jet');
- Anfossi (sovrainnalzamento termico in funzione dalla stabilità atmosferica);
- Holland (tiene conto del sovrainnalzamento termico e dinamico, indipendentemente dalla stabilità atmosferica);
- Stumke (per venti superiori ad 1 m/s);
- Concawe (per venti superiori ad 1 m/s).

8.4 Concentrazioni al suolo

Le concentrazioni al suolo per le specie gassose vengono calcolate mediante una formulazione gaussiana:

$$C(x, y, z = 0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \text{Exp} \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \text{Exp} \left[-0,5 \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

dove $C(x, y, 0)$ è la concentrazione al suolo (g/m^3), $(x, y, 0)$ le coordinate del punto di calcolo, in un sistema di coordinate avente come origine la proiezione sul suolo della sorgente e con l'asse x orientato secondo la direzione del vento, U la velocità del vento (m/s), Q la portata dell'effluente (g/s), σ_y , σ_z gli scarti della dispersione orizzontale e verticale (m), H l'altezza effettiva del pennacchio rispetto al suolo (m).

8.5 *Trattamento del terreno*

ARIA Impact™, pur senza essere un modello tridimensionale completo, consente di tenere conto dell'influenza dei rilievi in modo semplificato. Detta h l'altezza dell'asse del pennacchio rispetto al suolo, la modellizzazione è basata sui seguenti principi:

- se l'asse del pennacchio si trova al di sopra di un rilievo di altezza $h_t < h$:
 - in atmosfera neutra o instabile l'altezza dell'asse del pennacchio viene posta pari ad $h + h_t/2$;
 - in atmosfera stabile l'altezza dell'asse del pennacchio non varia;
- se l'asse del pennacchio passa al di sotto di un rilievo di altezza $h_t > h$:
 - in atmosfera neutra o instabile l'altezza dell'asse del pennacchio viene posta pari ad $h_t + h/2$;
 - in atmosfera stabile l'altezza dell'asse del pennacchio viene posta pari ad un valore limite di dieci metri.

La formulazione è conservativa in caso di vento stabile.