

**PROGETTO DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE E SANITARIA NELLE
POPOLAZIONI RESIDENTI NEI COMUNI DI SAVONA, VADO LIGURE,
QUILIANO E AREE LIMITROFE POTENZIALMENTE INTERESSATE
ALL'IMPATTO DI EMISSIONI PUNTIFORMI E DIFFUSE IN ATMOSFERA.**

D.G.R. 1609 del 13 dicembre 2013

Obiettivo A

**Valutazione degli impatti integrati/contributi multi – sorgente delle
emissioni in atmosfera nell'area geografica oggetto di studio.**

RAPPORTO FINALE

Maggio 2015

Indice

Introduzione	7
1 Il sistema modellistico	9
1.1 Setup geografico.....	10
1.2 Setup meteorologico.....	12
2 Input emissivi	15
2.1 Analisi dei dati di emissione sul territorio savonese.....	15
2.2 Sorgenti puntuali.....	19
2.3 Sorgenti lineari.....	21
2.4 Sorgenti areali.....	22
2.5 Sorgenti diffuse.....	23
3 Risultati	24
3.1 Mappe multi-sorgente	24
3.2 Mappe dei porti.....	30
3.3 Mappe del traffico veicolare.....	36
3.4 Mappe dei riscaldamenti civili	42
3.5 Mappe delle attività industriali.....	48
3.6 Analisi dei risultati	59
4 Analisi delle prestazioni del modello.....	65
4.1 SO ₂ – Biossido di zolfo	66
4.2 NO _x – Ossidi di azoto.....	68
4.3 CO – Monossido di carbonio	70
4.4 C ₆ H ₆ – Benzene.....	71
Conclusioni	73

FIGURE

Figura 1:	Schema della catena modellistica e variabili meteorologiche.....	9
Figura 2:	Modello digitale del terreno e griglia di calcolo del codice.....	11
Figura 3:	Rappresentazione schematica della variazione di L_{MO} con la stabilità atmosferica.....	13
Figura 4:	Ubicazione delle sorgenti puntuali (attività industriali).....	20
Figura 5:	Schematizzazione delle sorgenti lineari (trasporti).....	21
Figura 6:	Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).....	25
Figura 7:	Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x espressi come NO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).	26
Figura 8:	Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).....	27
Figura 9:	Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C_6H_6 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011.	28
Figura 10:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.	31
Figura 11:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x espressi come NO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.....	32
Figura 12:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.	33
Figura 13:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C_6H_6 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.	34
Figura 14:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.....	37
Figura 15:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x espressi come NO_2 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.....	38
Figura 16:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.....	39
Figura 17:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C_6H_6 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.....	40

Figura 18:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.	43
Figura 19:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO _x espressi come NO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.	44
Figura 20:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.	45
Figura 21:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C ₆ H ₆ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.	46
Figura 22:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.	50
Figura 23:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.	51
Figura 24:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO _x espressi come NO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.	52
Figura 25:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO _x espressi come NO ₂ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.	53
Figura 26:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.	54
Figura 27:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.	55
Figura 28:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C ₆ H ₆ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.	56
Figura 29:	Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C ₆ H ₆ . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.	57

GRAFICI

Grafico 1:	Analisi delle emissioni totali dell'area savonese – Anno 2011.	17
Grafico 2:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Varaldo.....	60
Grafico 3:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Quiliano.....	60
Grafico 4:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Vado Ligure.....	60
Grafico 5:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di San Genesio.....	61
Grafico 6:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Voze.....	61
Grafico 7:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Corso Ricci.....	62
Grafico 8:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Albisola Superiore.....	62
Grafico 9:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Monte Ciuto.....	63
Grafico 10:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Bergeggi.....	63
Grafico 11:	Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Termine.....	63
Grafico 12:	Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale dell' SO_2	67
Grafico 13:	Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale degli NO_x espressi come NO_2	69
Grafico 14:	Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale del Benzene.....	72

TABELLE

Tabella 1:	Valori tipici di rugosità.....	11
Tabella 2:	Valori di velocità del vento, L_{MO} , e altezza dello strato limite, in relazione alle classi di Pasquill-Gifford.....	13
Tabella 3:	Elenco dei macrosettori (Snap 11).....	15
Tabella 4:	Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei porti.....	30
Tabella 5:	Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei trasporti stradali.....	36
Tabella 6:	Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei riscaldamenti civili.....	42
Tabella 7	Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni delle attività industriali.....	49
Tabella 8:	SO ₂ - Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.	66
Tabella 9:	NO _x - Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.	68
Tabella 10:	Confronto tra la media annuale osservata e simulata.	70
Tabella 11:	Valori della massima media giornaliera su otto ore nell'anno civile di CO per il triennio 2012 – 2014.	70
Tabella 12:	C ₆ H ₆ -Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.	71

Introduzione

L'attività progettuale in esame ha permesso di ricostruire un quadro integrato delle pressioni ambientali delle principali sorgenti emissive, che insistono sul territorio di Savona, Vado Ligure e aree limitrofe, attraverso la modellizzazione della dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Per raggiungere tale obiettivo ARPAL ha realizzato mappe di ricaduta degli inquinanti SO₂, NO_x¹, CO e Benzene, derivanti dalle emissioni in atmosfera delle principali sorgenti presenti nell'area di studio.

Le mappe sono state ottenute mediante l'applicazione della catena modellistica MOLOCH – ABLE – ADMS, già utilizzata per lo studio dell'impatto della centrale termoelettrica Tirreno Power (v. Programma di monitoraggio e controllo della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012).

Le mappe fanno riferimento all'anno meteorologico 2013, mentre la caratterizzazione delle sorgenti è stata effettuata sulla base dell'ultimo aggiornamento disponibile dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera, anno 2011², eccetto i dati emissivi della centrale termoelettrica Tirreno Power di Vado Ligure, per la quale sono stati utilizzati i dati SME, relativi all'anno 2013³, in quanto ultimo anno completo disponibile, in relazione alla data di avvio dello studio prospettico.

Il dominio di calcolo individuato ricopre un'area di 50 km x 40 km, mentre la griglia dei recettori si estende su un'area interna a tale dominio di circa 20 km x 26 km, aventi risoluzioni variabili tra i 200 m a terra e i 1000 m sul mare.

Il setup del modello ha consentito di effettuare simulazioni Long Term di un intero anno, a step di calcolo orari, dalle quali è stato possibile determinare le concentrazioni al suolo degli inquinanti di interesse espresse come medie annuali in µg/m³.

Nella fattispecie, al fine di discriminare i diversi impatti emissivi all'interno dell'area di studio, sono state simulate tutte le maggiori pressioni che insistono sulla zona.

¹ In tutto il documento gli NO_x sono espressi come NO₂.

² I dati dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera, anno 2011, sono stati resi disponibili dal Dipartimento Ambiente della Regione Liguria e sono in fase di pubblicazione sul sito regionale.

³ Per approfondimenti vedere "Modellazione delle emissioni in atmosfera della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - Rapporto finale del Programma di monitoraggio e controllo della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012".

Il lavoro svolto ha portato all'elaborazione di mappe multi – sorgente e mappe specifiche per le attività portuali, il traffico veicolare, i riscaldamento civili e le attività industriali.

Per le mappe multi – sorgente è stato possibile effettuare l'analisi delle prestazioni del sistema, avvalendosi dei dati rilevati dalla Rete Regionale di Monitoraggio di Qualità dell'Aria.

1 Il sistema modellistico

Il sistema modellistico in versione diagnostica di lungo periodo è stato sviluppato per effettuare simulazioni annuali sul territorio savonese.

Tale attività è stata svolta mediante l'applicazione della catena modellistica MOLOCH-ABLE – ADMS. Di seguito la struttura della catena appena citata (**Figura 1**):

- modello previsionale meteorologico a scala regionale (MOLOCH di CFMI-ARPAL);
- codice di calcolo dei parametri micro - meteorologici, che descrivono lo strato limite atmosferico nell'area di interesse (ABLE);
- modello diagnostico gaussiano di dispersione degli inquinanti in atmosfera (ADMS 5).

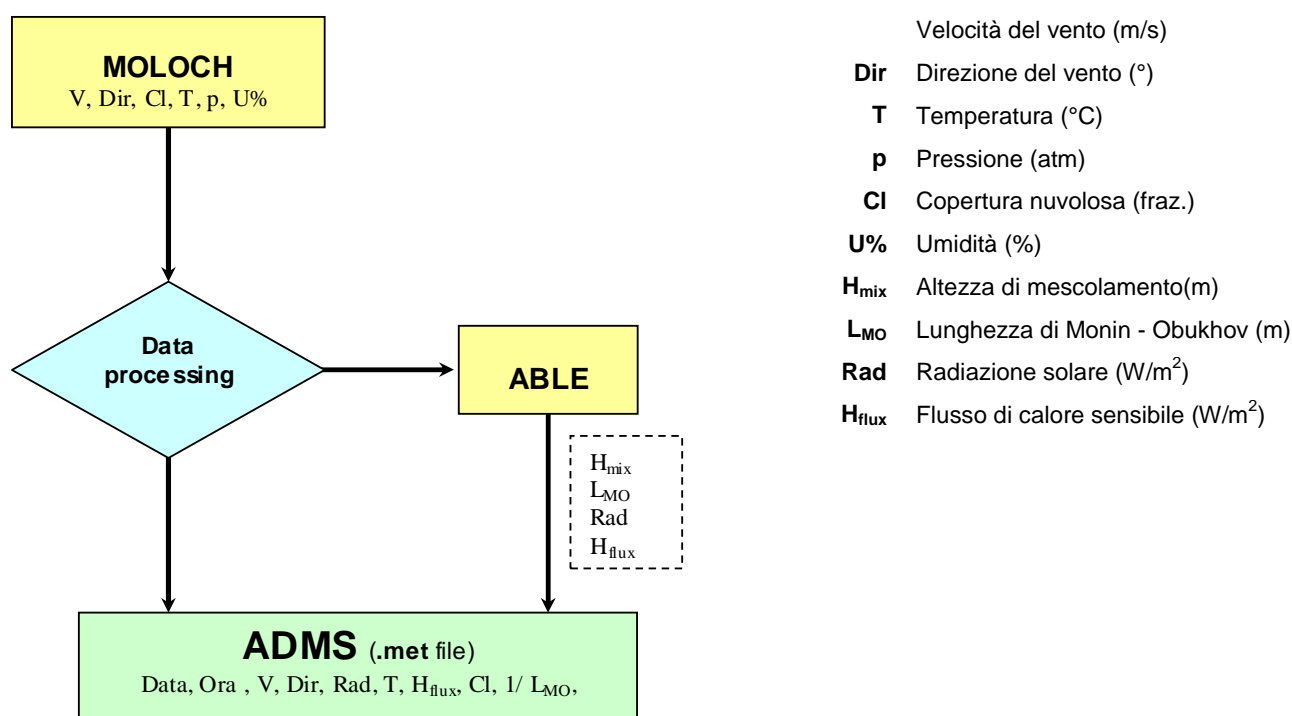


Figura 1: Schema della catena modellistica e variabili meteorologiche.

1.1 Setup geografico

Per quanto riguarda la descrizione dell'area geografica da simulare, è stato predisposto un modello digitale del terreno (a partire dai dati cartografici digitali della Regione Liguria), a risoluzione ottimale, sia per la descrizione dell'orografia del territorio, sia per le velocità di calcolo del modulo *complex terrain* di ADMS 5. Tale modulo consente al pre - processore meteorologico Flowstar di trasformare l'input meteorologico del modello MOLOCH, in un campo di vento tridimensionale alla risoluzione desiderata.

Il dominio di calcolo individuato ricopre un'area di 50 km x 40 km, mentre la griglia dei recettori si estende su un'area interna a tale dominio di circa 20 km x 26 km, aventi risoluzioni variabili tra i 200 m a terra e i 1000 m sul mare (**Figura 2**).

Ogni cella del dominio di calcolo contiene l'informazione digitalizzata sulla quota del terreno e sulla rugosità (roughness) del suolo, parametro necessario al modello per simulare l'interazione del boundary layer atmosferico con il suolo, nei bassi strati (interazione aria - terra).

I valori di rugosità sono stati ricavati dall'interpretazione della Carta di Uso del Suolo: al variare della rugosità (lunghezza che assume valori che vanno da prossimi a zero sulle superfici lisce all'ordine dei metri sulle asperità del terreno) cambia localmente il profilo del vento in funzione della quota (**Tabella 1**), con conseguenze sulla ricostruzione dei campi di vento nel dominio.

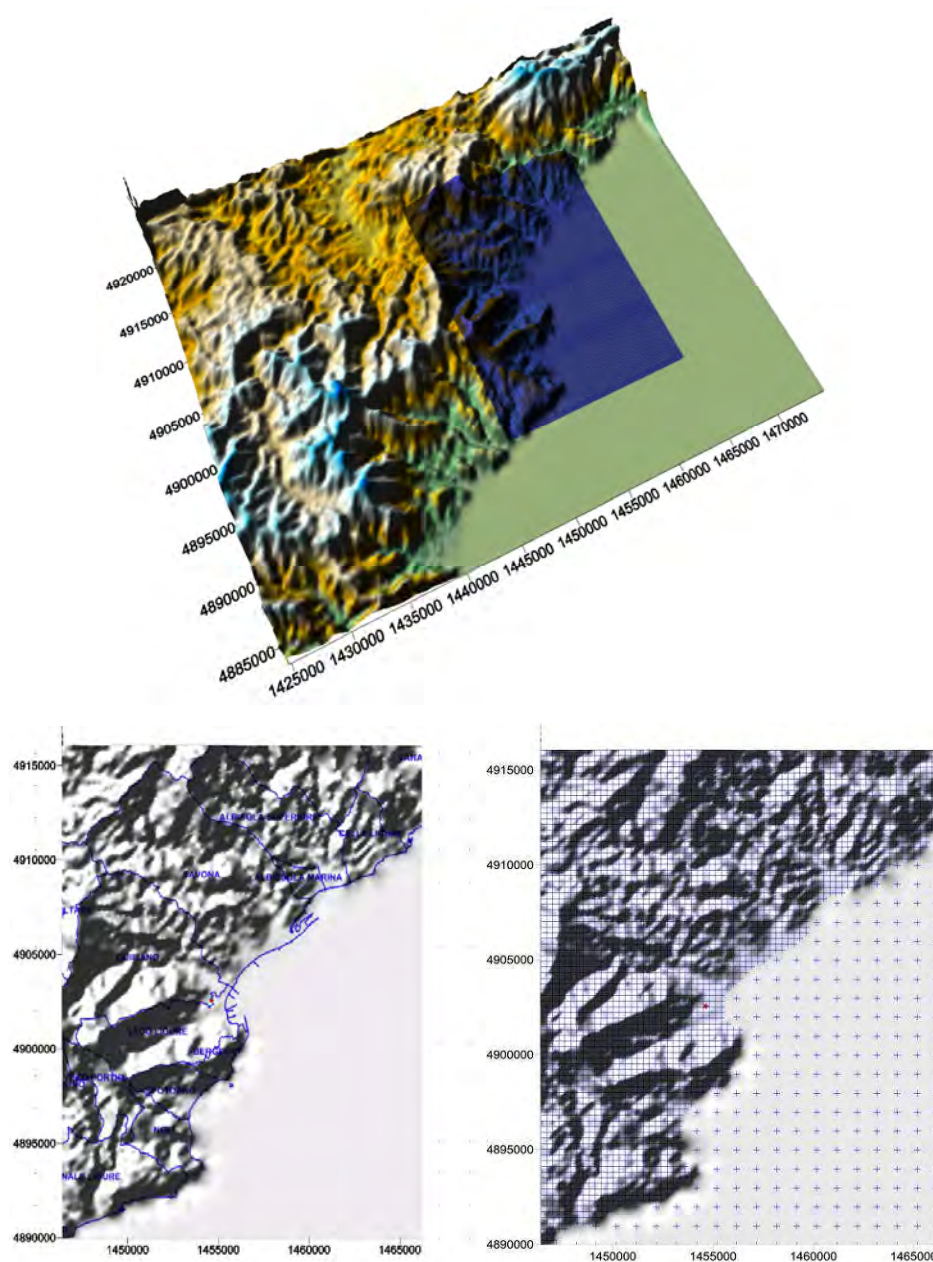


Figura 2: Modello digitale del terreno e griglia di calcolo del codice.

Land use	Surface roughness (m)
Large urban areas	1.5
Cities, woodlands	1
Parkland, open suburbia	0.5
Agricultural areas (max)	0.3
Agricultural areas (min)	0.2
Root crops	0.1
Open grassland	0.02
Short grass	0.005
Sea	0.0001

Tabella 1: Valori tipici di rugosità.

1.2 Setup meteorologico

Gli input meteorologici necessari all'alimentazione del modello di dispersione vengono forniti dal modello previsionale del Centro Funzionale Meteo - Idrologico di ARPAL (MOLOCH). In particolare per lo scopo del presente studio sono stati estratti i dati di intensità del vento, direzione del vento e altre grandezze termodinamiche (Cl, T, p, U%), calcolati da MOLOCH, nel corso dell'anno 2013.

Attraverso le procedure della catena MOLOCH – ABLE – ADMS viene realizzato un pacchetto di informazione che descrive l'andamento delle condizioni meteorologiche ora per ora, per 365 giorni e che consente di effettuare una simulazione di lungo periodo (*hourly sequential*), al fine di riprodurre tutte le condizioni meteorologiche che si sono avute dal 1/1/2013 al 31/12/2013.

Tutti questi dati vengono assimilati da ADMS in un *.MET file* contenente una parte delle informazioni relative alla dinamica dei venti e una parte di parametri micro - meteorologici calcolati da ABLE, secondo il procedimento schematizzato in **Figura 1**.

Il complesso dei parametri così ottenuti (Data, Ora, V, Dir, Rad, T, H_{flux} , Cl, $1/L_{MO}$) descrive il grado di turbolenza / stabilità atmosferica in cui viene a trovarsi lo "strato limite" (PBL) atmosferico in ogni condizione simulata dal software.

Si evidenzia che in ADMS la parametrizzazione del PBL avviene, non semplicemente attraverso la classificazione di stabilità di Pasquill - Gifford come nei gaussiani tradizionali, ma come funzione continua dell'altezza di mescolamento (H_{mix} che indica lo spessore delle strato d'aria "rimiscolato") e del reciproco della Lunghezza di Monin - Obukhov ($1/L_{MO}$ che indica il rapporto tra l'intensità della turbolenza prodotta da fattori meccanici e quella di origine termica) (**Tabella 2 e Figura3**).

U (m/s)	L_{MO} (m)	$1/L_{MO}$ (m^{-1})	h (m)	h/L_{MO}	P-G Category
1	-2	-0.5	1300	-650	A
2	-10	-0.1	900	-90	B
5	-100	-0.01	850	-8.5	C
5	∞	0	800	0	D
3	100	0.01	400	4	E
2	20	0.05	100	5	F
1	5	0.2	100	20	G

Tabella 2: Valori di velocità del vento, L_{MO} , e altezza dello strato limite, in relazione alle classi di Pasquill - Gifford.

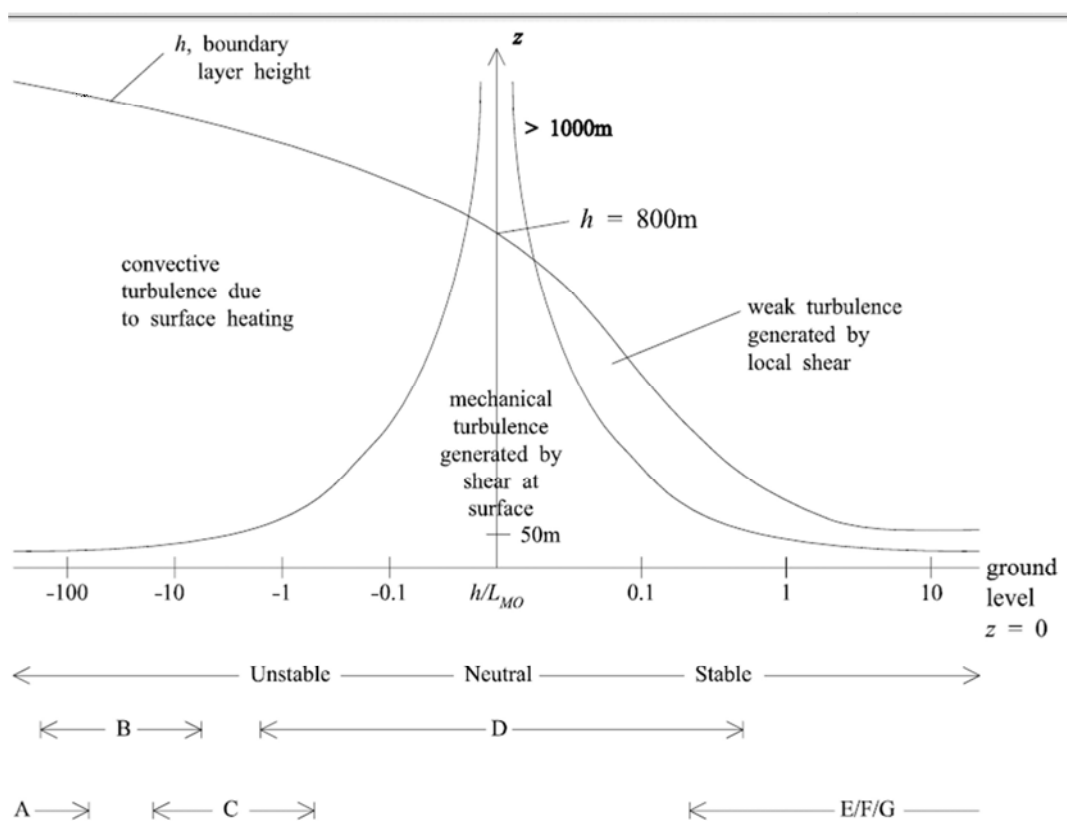


Figura 3: Rappresentazione schematica della variazione di L_{MO} con la stabilità atmosferica.

Per ognuna delle condizioni meteorologiche che si verificano negli step del run (8760, uno per ogni ora, dell'intero anno), il modulo Flowstar di ADMS5, sviluppa un campo di vento consistente con le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto. Esso calcola i parametri di flusso e di turbolenza su orografia complessa, utilizzando l'altezza e la rugosità del terreno assieme alle condizioni meteorologiche, viste in precedenza.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando in ingresso i campi meteo di MOLOCH, alla quota di 500 m, in quanto la più rappresentativa delle condizioni di vento indisturbato (upstream condition), ovvero lontano dagli effetti orografici del terreno nel dominio di calcolo. Lo sviluppo dei venti a terra, effettuato dal modulo Flowstar, ha determinato una frequenza di condizioni di calme di vento⁴, nell'arco dell'anno, pari a circa il 27%. Al fine di tenere conto di tali condizioni di calme di vento, in ogni step escluso dal computo, si sono sostituite le condizioni limite accettate dal codice di calcolo (pari a 0.75 m/s di intensità del vento).

Fanno eccezione le simulazioni relative alle sorgenti puntuali, le quali in omogeneità con il precedente studio monosorgente della CTE Tirreno Power (D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012), sono il risultato della media di due input meteorologici: il modello previsionale MOLOCH nella località di Vado Ligure, alla quota di 500 m e i dati misurati dalla stazione di Capo Vado 1.

⁴ La calma di vento indica un vento di intensità inferiore a 0.75 m/s, a 10 m da terra.

2 Input emissivi

2.1 Analisi dei dati di emissione sul territorio savonese

L'Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera è lo strumento che consente di stimare l'entità e la distribuzione delle principali sorgenti di emissione sul territorio regionale e pertanto la pressione esercitata da tali sorgenti sulla qualità dell'aria ambiente. L'inventario regionale contiene la stima delle quantità emesse, dalle sorgenti sia naturali che antropiche, presenti sull'intero territorio regionale, degli inquinanti principali (NO_x, SO₂, CO, PM10, PM2.5, COV), Gas serra, Benzene, IPA, Ammoniaca, Metalli (As, Cd, Ni, Pb, Cr, Hg, Cu, Se, Zn).

Le emissioni sono stimate, sulla base dei criteri stabiliti dalle norme europee e nazionali, con riferimento ad un elenco di attività la cui nomenclatura è adottata a livello internazionale. Le attività sono raggruppate in settori e a loro volta i settori in macrosettori, di cui si riporta l'elencazione nel seguito:

Codice	Macrosettore
01	Combustione nell'industria dell'energia e trasformaz.fonti energetiche
02	Impianti di combustione non industriali
03	Impianti di combustione industriale e processi con combustione
04	Processi senza combustione
05	Altro trasporto interno e immag. di comb. liquidi
06	Uso di solventi
07	Trasporti
08	Altre sorgenti mobili e macchine
09	Trattamento e smaltimento rifiuti
10	Agricoltura
11	Altre sorgenti/assorbenti in natura

Tabella 3: Elenco dei macrosettori (Snap 11).

Per un utilizzo corretto dell'inventario è necessario tenere conto che i dati in questo contenuti possono differire dalla realtà in quanto valutati per lo più da stime statistiche e non da misure. L'incertezza nei dati deriva da diverse cause nella procedura di valutazione, che possono essere legate alla qualità delle informazioni statistiche disponibili, alla effettiva possibilità di fotografare specificità locali, alle metodologie di valutazione che vengono adottate in ambito nazionale e internazionale. Per tali motivi, l'incertezza, per alcuni inquinanti e alcune attività, può anche essere rilevante.

Il sistema informativo regionale di supporto all'inventario raccoglie le informazioni necessarie alla stima delle emissioni quali indicatori di attività, fattori di emissione e variabili utilizzate per la disaggregazione spaziale delle emissioni.

Nel sistema sono inoltre disponibili dati di emissione sino al livello comunale e subcomunale: maglia di 1 km², punto (stabilimenti principali e banchine portuali) o linea (strade). Nella fattispecie è possibile selezionare la tipologia di sorgente emissiva di interesse, suddivise tra sorgenti diffuse (statistiche) o strutture (areali, lineari e puntuali).

L'ultimo aggiornamento disponibile dell'inventario fa riferimento al 2011.

In **Grafico 1** si riporta l'analisi delle emissioni totali dell'area in esame – anno 2011. I comuni interessati sono: Albissola Marina, Albisola Superiore, Altare, Bergeggi, Cairo Montenotte, Celle Ligure, Finale Ligure, Noli, Orco Feglino, Quiliano, Savona, Spotorno, Stella, Vado Ligure, Varazze, Vezzi Portio.

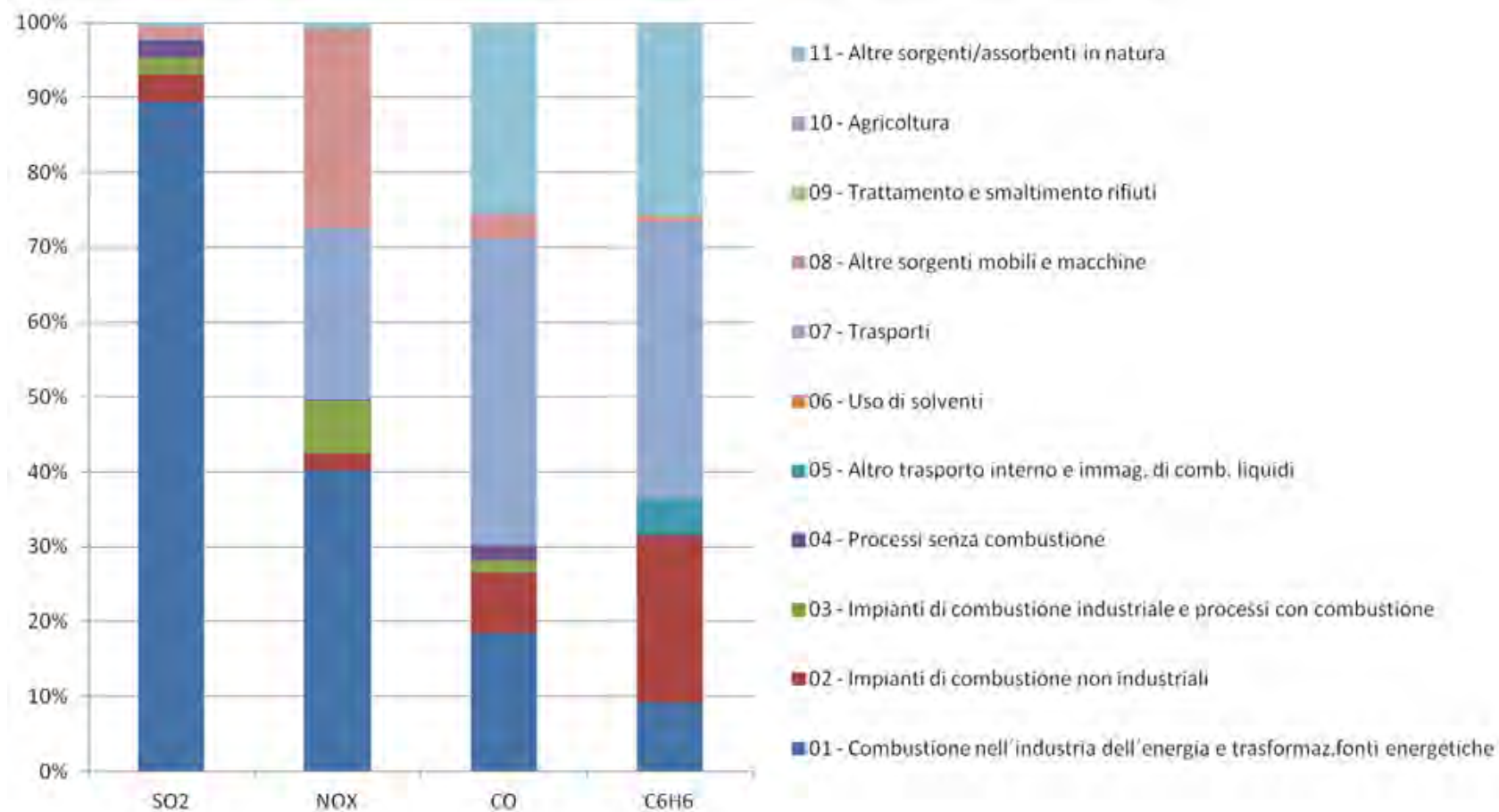


Grafico 1: Analisi delle emissioni totali dell'area savonese – Anno 2011.

L'analisi dei dati dell'inventario 2011 per macrosettore, con riferimento alle emissioni totali dell'area savonese degli inquinanti NO_x, SO₂, CO e C₆H₆, evidenzia quanto segue (**Grafico 1**):

- il macrosettore01 "industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche" è quello che apporta le maggiori emissioni di Ossidi di zolfo (89%), di Ossidi di azoto (40%). Inoltre tale macrosettore fornisce un apporto rilevante di Monossido di carbonio (18%), mentre contribuisce per il 9% alle emissioni di Benzene.
- il "trasporto stradale"(macrosettore07) rappresenta il macrosettore che contribuisce maggiormente alle emissioni di Monossido di carbonio (41%) e di Benzene (37%). Inoltre tale macrosettore fornisce un apporto rilevante di Ossidi di azoto (23%).
- il macrosettore08 "altre sorgenti mobili e macchine" (emissioni dalle navi in porto e aeroporti) fornisce un contributo non trascurabile alle emissioni di NO_x (27%), leggermente superiore ai trasporti stradali, mentre contribuisce per il 3% alle emissioni di CO e rispettivamente per il 2% e 1% a quelle di SO₂ e Benzene.
- il macrosettore02 "processi di combustione non industriale" (cioè gli impianti termici del settore civile) fornisce un contributo non trascurabile alle emissioni di Benzene (22%), mentre contribuisce per l'8% alle emissioni di CO e rispettivamente per il 4% e 2% a quelle di SO₂ e NO_x.

2.2 Sorgenti puntuali

Le sorgenti industriali di interesse per la modellazione degli inquinanti previsti dal progetto sono state individuate in base al criterio di selezione geografica, con riferimento all'area di calcolo delle concentrazioni (20 km x 26 km).

La maggior parte delle suddette sorgenti sono state implementate come puntuali, corredate di informazioni geometriche del camino (coordinate, altezza, diametro) e dei dati emissivi dei fumi e dei singoli inquinanti. Le informazioni emissive sono state ricavate dall'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera – Anno 2011; ove i dati sono risultati insufficienti si è proceduto all'estrapolazione degli stessi dalle Autorizzazioni Integrate Ambientali delle singole aziende.

Per alcune aziende, inoltre, sono stati simulati non solo i camini (sorgenti puntuali), ma anche le aree emissive, come ad esempio per i depositi (sorgenti areali).

Si riporta l'elenco delle aziende considerate e in **Figura 4** la loro collocazione sul territorio:

- ✓ Artigo
- ✓ Bormioli Rocco
- ✓ Discarica Ecosavona
- ✓ Discarica Ramognina
- ✓ Ferrania
- ✓ Infineum Italia
- ✓ Italiana Coke
- ✓ Ligure Piemontese Laterizi
- ✓ Mantobit
- ✓ Petrolig
- ✓ Piaggio Aereo Industries
- ✓ S.a.r.p.o.m
- ✓ Sanac
- ✓ Tirreno Power - Centrale Termoelettrica Vado Ligure
- ✓ Vetreria Etrusca
- ✓ Zinox

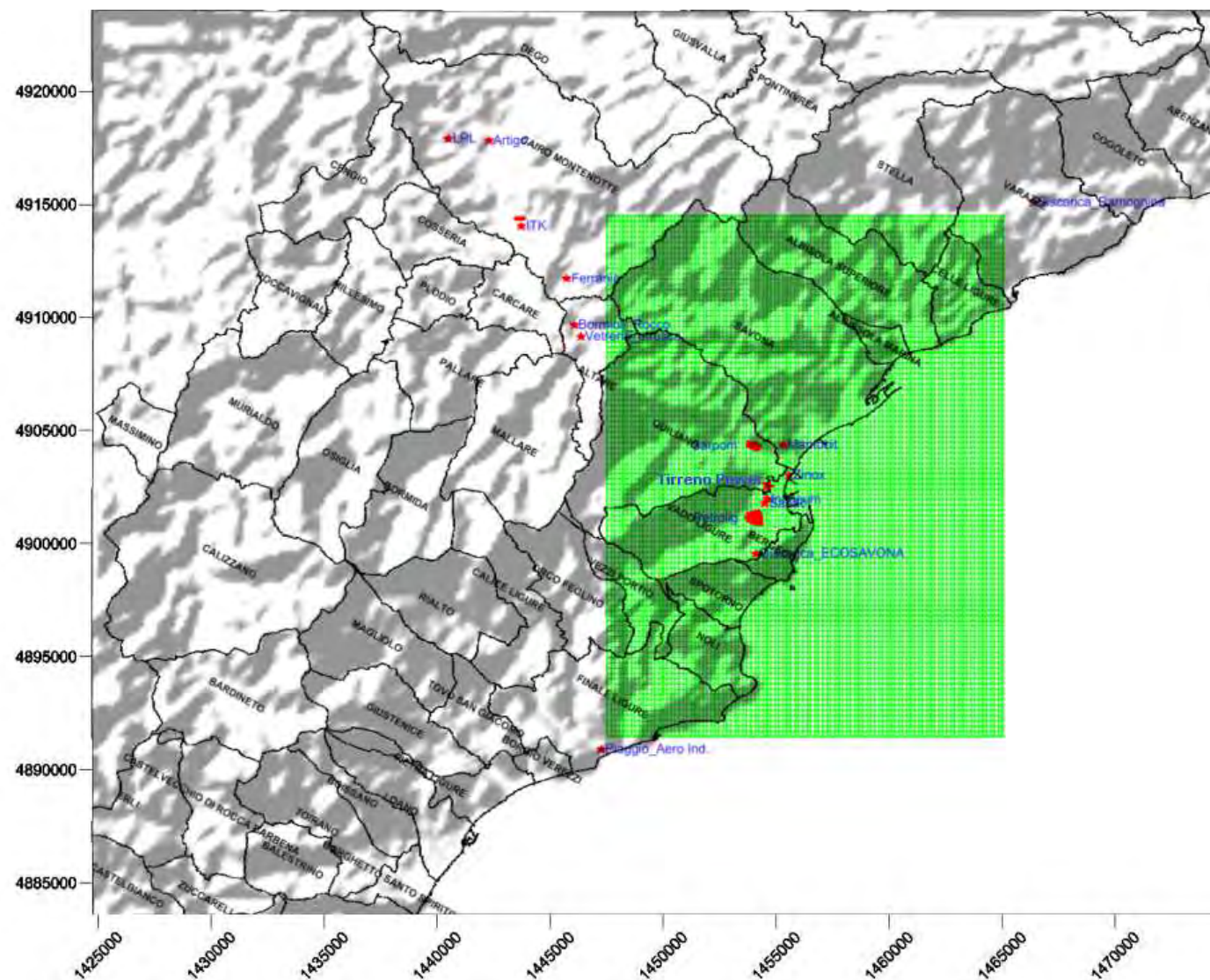


Figura 4: Ubicazione delle sorgenti puntuali (attività industriali).

2.3 Sorgenti lineari

Nell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera le sorgenti lineari contribuiscono alla quota parte emissiva relativa al macrosettore 7 – Trasporti (esiste un altro contributo legato al diffuso) e ADMS 5 tratta le sorgenti lineari come segmenti di linea (emettenti la portata dell'inquinante per unità di lunghezza).

Al fine di rappresentare al meglio la realtà si è proceduto alla simulazione delle sorgenti lineari per la rete stradale urbana ed extraurbana principale presente sul territorio savonese (**Figura 5**) ed emettente al livello del suolo. Per quanto riguarda il contributo della rete autostradale, a causa delle problematiche orografiche legate alle quote dei viadotti autostradali, è stato rappresentato come sorgente diffusa, disaggregando le relative emissioni su reticolo 1 km x 1 km.

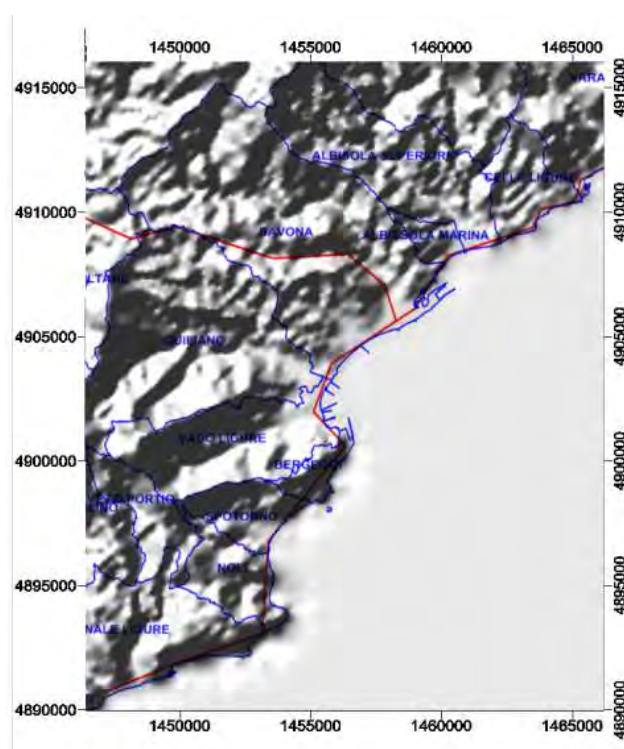


Figura 5: Schematizzazione delle sorgenti lineari (trasporti).

2.4 Sorgenti areali

I porti si collocano tra le sorgenti areali dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera e le emissioni di tali strutture sono disaggregabili fino ad ogni singola unità della struttura, cioè la banchina.

L'analisi dei dati relativi alle emissioni dalle attività portuali mette in evidenza che la maggior parte delle emissioni di NO_x e PM10 sono emesse dalle navi in fase di stazionamento in porto, mentre le emissioni di SO₂ derivano principalmente dalla fase di manovra in entrata e uscita dal porto e in seconda misura dallo stazionamento. Pertanto, essendo gli Ossidi di azoto gli inquinanti di maggiore rilievo in riferimento alle attività portuali, al fine di rappresentare al meglio la realtà, si è proceduto alla simulazione delle attività portuali (per banchina) come sorgenti puntuali.

Di seguito l'elenco delle banchine simulate per il Porto di Savona – Vado:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| ✓ Banchina di Riva | ✓ Campo boe |
| ✓ Banchina est | ✓ Eni - Petrolig |
| ✓ Banchina N-E | ✓ Molo Boselli |
| ✓ Banchina nord | ✓ Molo Nuova Calata Boselli |
| ✓ Banchina principale | ✓ Molo sopraflutti |
| ✓ Bricchetto nord 1 | ✓ Molo sottoflutti |
| ✓ Bricchetto nord 2 | ✓ Pontile Erg |
| ✓ Bunkeraggio | ✓ Pontile Esso |
| ✓ Calata Boselli | ✓ Pontile San Raffaele |
| ✓ Calata delle Vele | ✓ Terzo accosto |
| ✓ Calata Nord Vado | |

Le attività portuali, gestite da terminalisti privati, coprono ogni settore del trasporto marittimo, merci (container, general cargo, rinfuse solide e liquide) e passeggeri (crociere e traghetti). I parametri geometrici dei camini sono stati differenziati in base all'attività delle banchine: quelle destinate all'attracco di navi mercantili sono caratterizzate da un diametro pari a 1,3 m e un'altezza di 20 m, mentre a quelle adibite all'attracco delle navi passeggeri è stata attribuita un'altezza paria 50 m. La velocità media dei fumi è stata stimata in 6 m/s e la temperatura di uscita dei fumi risulta di circa 145°C.

2.5 Sorgenti diffuse

Le sorgenti diffuse sono state estratte dall'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera, disaggregando su un reticolo spaziale regolare di 1 km x 1 km tutti i macrosettori di interesse ai fini del presente studio.

Si sottolinea che il macrosettore 11, seppur abbia un impatto rilevante per gli inquinanti CO e Benzene, è stato escluso, in quanto risente fortemente degli incendi boschivi, variabili a seconda dell'anno in corso. Per l'elenco dei macrosettori presenti nell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera si rimanda alla **Tabella 3**.

Al fine di importare le sorgenti diffuse in ADMS, tali input sono stati trasformati in una serie opportuna di aree, ognuna emettente la corrispondente portata di inquinante per unità di superficie. I parametri generali impiegati nelle simulazioni delle sorgenti diffuse sono l'altezza dell'area pari a 5 m, velocità dei fumi di 0 m/s e temperatura di uscita dei fumi di 25°C.

3 Risultati

3.1 Mappe multi - sorgente

Le mappe multi-sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), Monossido di carbonio (CO) e Benzene (C_6H_6) (v. **Figura 6,7,8,9**) sono il risultato dell'interpolazione geostatistica dei risultati sulla base della griglia dei recettori di 20 km x 26 km (v. paragrafo 1.1). Tali mappe sono state ottenute impiegando l'anno meteorologico 2013 (v. paragrafo 1.2) e il contributo emissivo globale di tutte le principali attività presenti sul territorio savonese, riferito all'anno 2011 (v. paragrafo 2). L'unica azienda per la quale sono stati utilizzati i dati SME, per gli inquinanti SO_2 , NO_x e CO , è la centrale termoelettrica Tirreno Power di Vado Ligure, relativi all'anno 2013 (v. Modellazione delle emissioni in atmosfera della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - Rapporto finale del Programma di monitoraggio e controllo della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012).

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

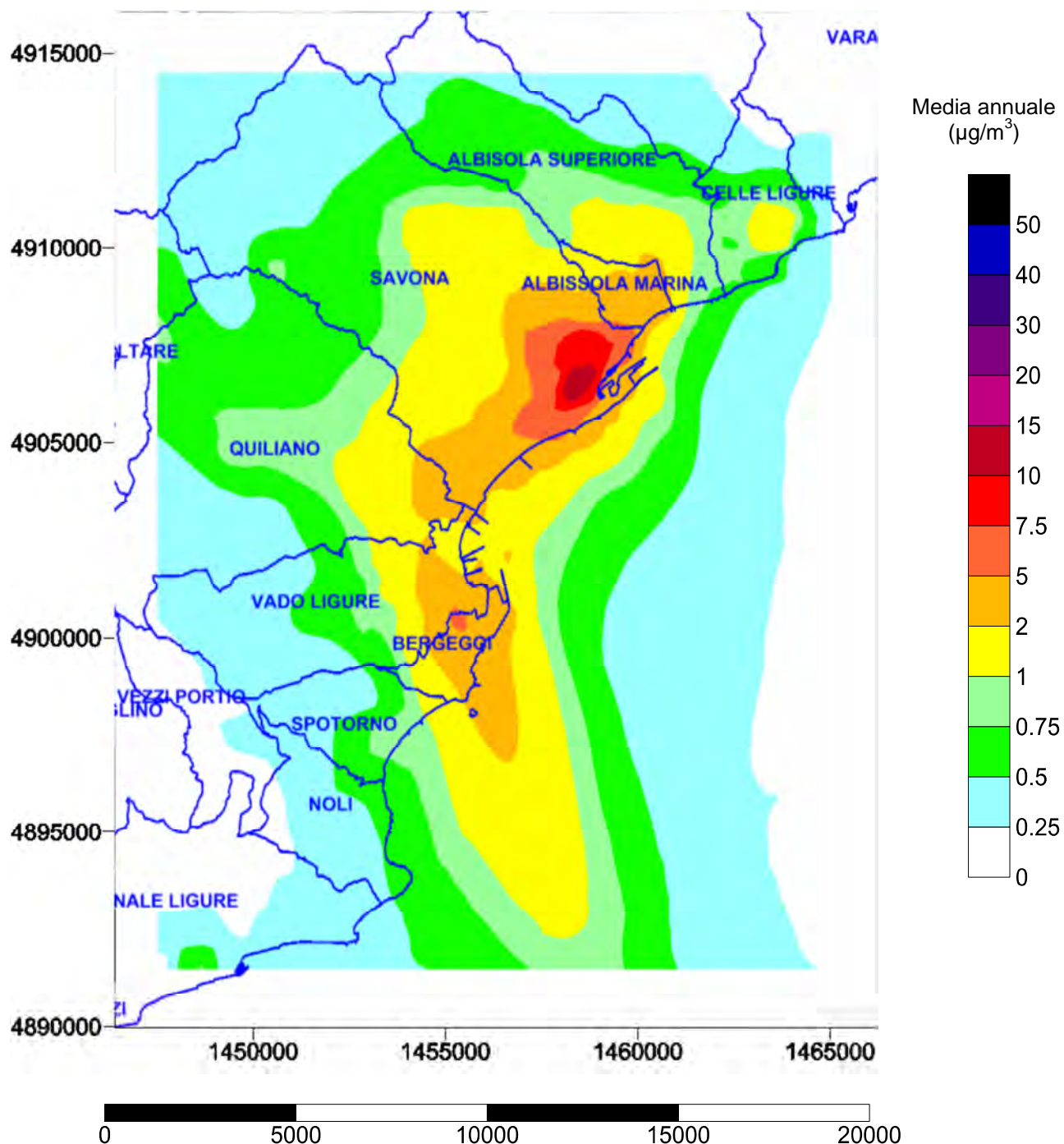


Figura 6: Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

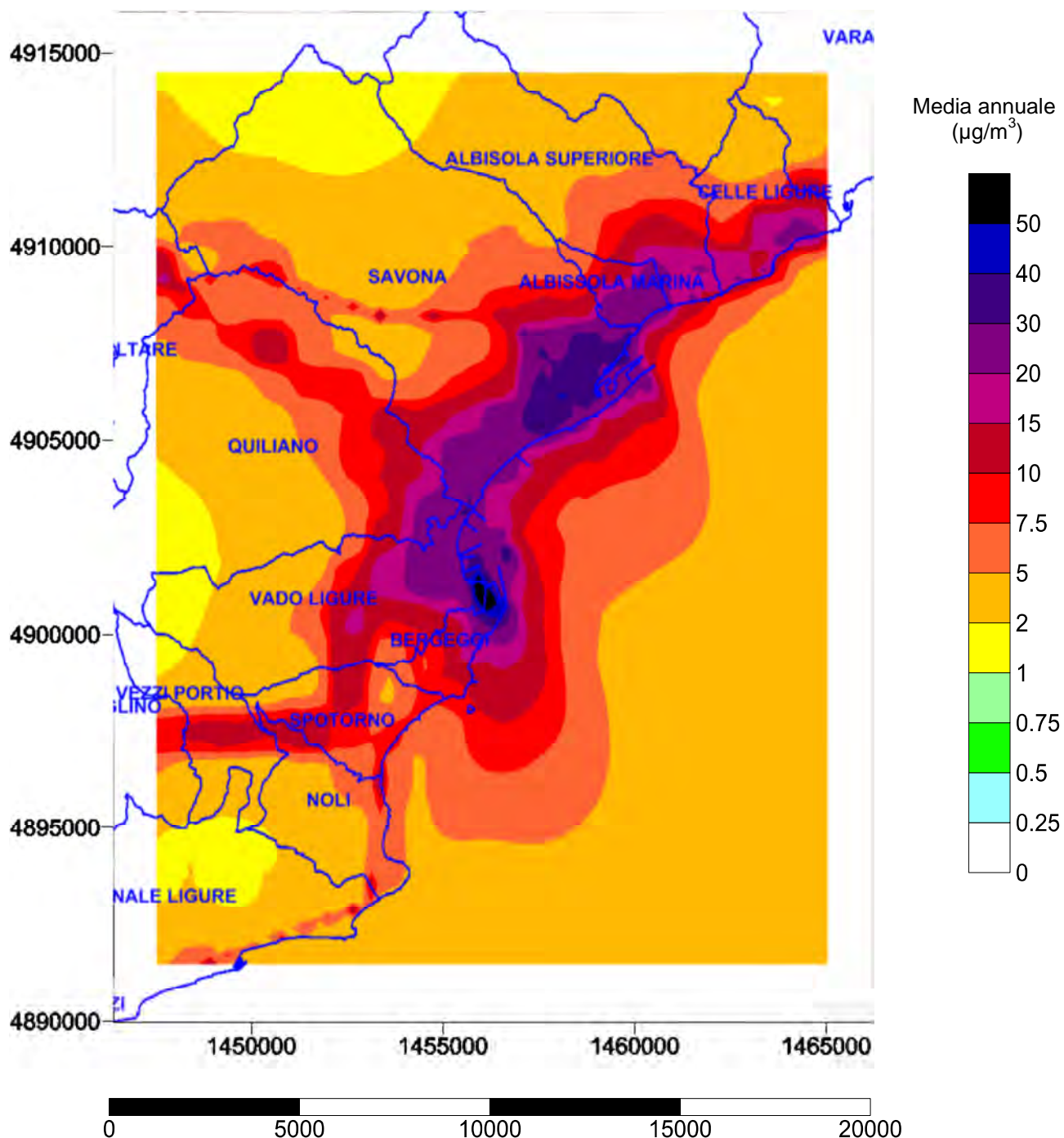


Figura 7: Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

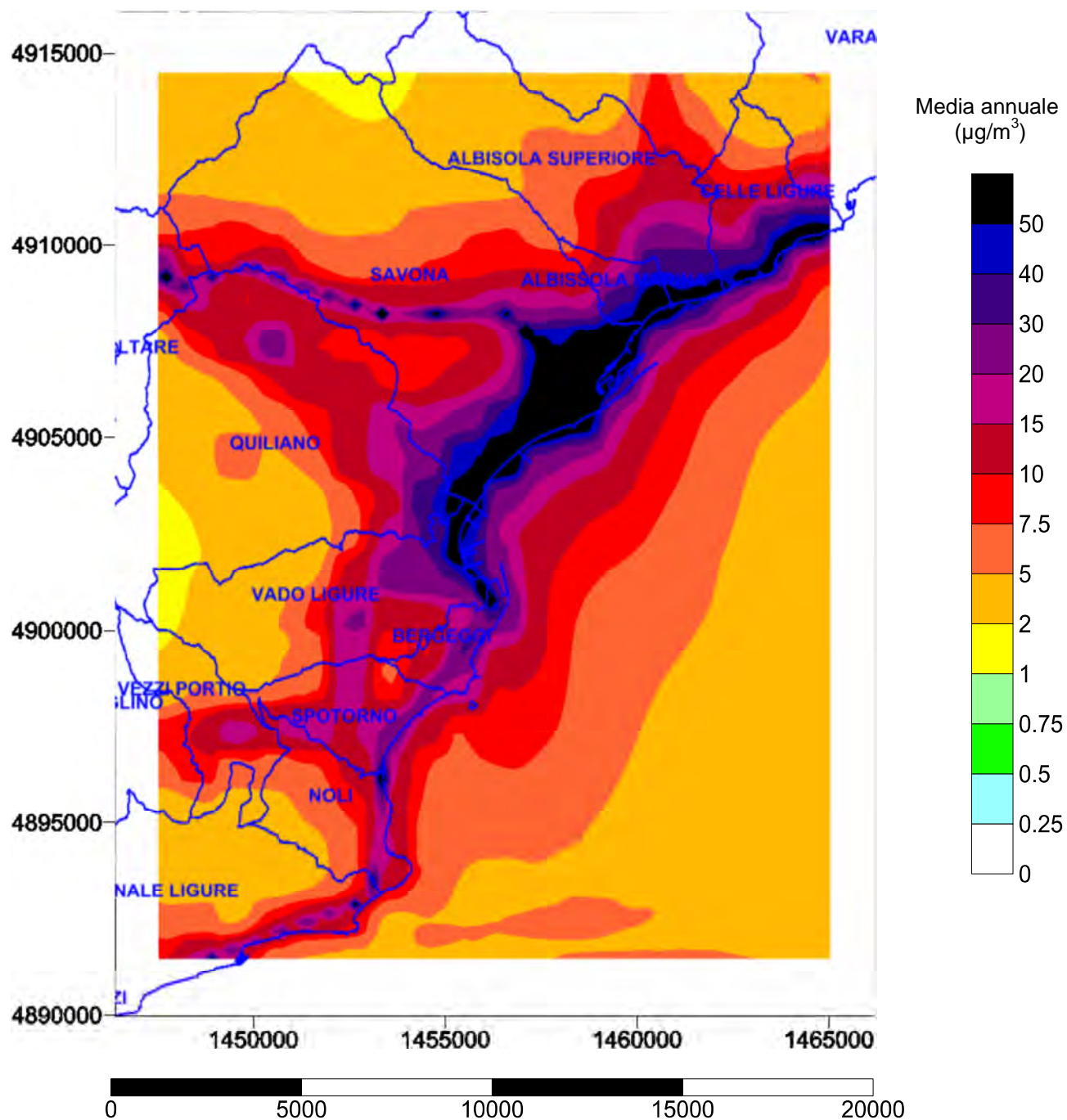


Figura 8: Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013).

Inquinante: C₆H₆

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

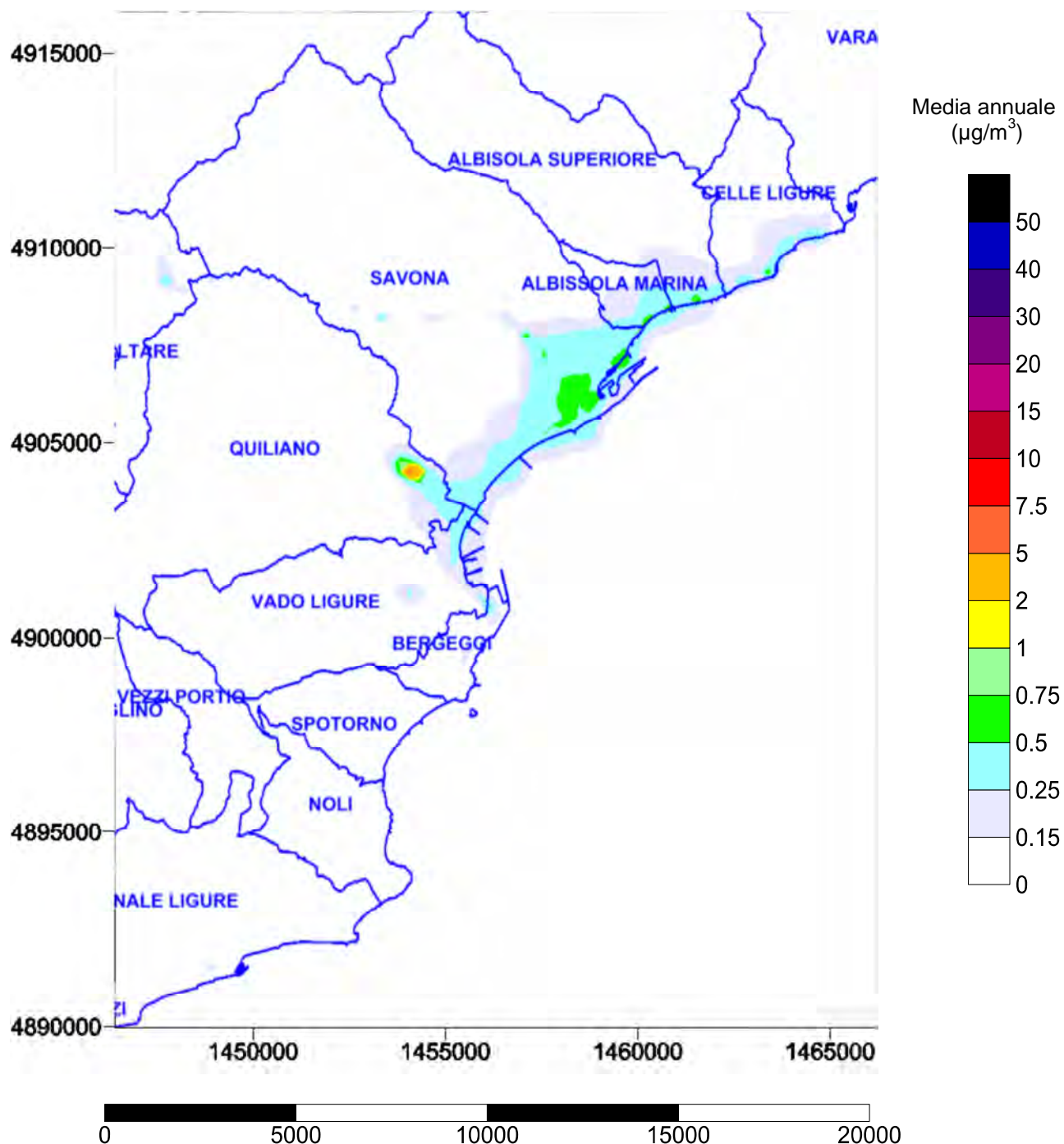


Figura 9: Mappa multi – sorgente di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C₆H₆. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011.

Le mappe multi - sorgente mostrano che le massime concentrazioni al suolo delle medie annuali di SO₂ e CO vengono raggiunte nel centro di Savona (SO₂ inferiore a 15 µg/m³; CO superiore ai 100 µg/m³). Per l'SO₂, inoltre, si distinguono l'impronta della centrale termoelettrica Tirreno Power e dei centri abitati nell'area in esame, mentre per il CO risaltano le principali direttrici stradali. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo raggiungono i valori massimi nell'area limitrofa alla ditta Sarpom (con valori massimi di circa 6µg/m³) e valori apprezzabili nel centro di Savona; mentre per gli NO_x, espressi come NO₂, vengono raggiunte concentrazioni al suolo medie annue massime superiori ai 50µg/m³ nell'area portuale di Vado Ligure – Bergeggi, nonché valori particolarmente elevati in prossimità delle principali direttrici stradali e dei centri abitati.

3.2 Mappe dei porti

Le mappe dei porti, rappresentanti la ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), Monossido di carbonio (CO) e Benzene (C_6H_6), (v. **Figura 10, 11, 12, 13**), sono il risultato dell'interpolazione geostatistica dei risultati sulla base della griglia dei recettori di 20 km x 26 km (v. paragrafo 1.1). Tali mappe sono state ottenute impiegando l'anno meteorologico 2013 (v. paragrafo 1.2) e il contributo emissivo relativo al Porto di Savona - Vado, riferito all'anno 2011 (v. paragrafo 2.4).

Di seguito si riporta uno schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei porti:

Tipo Sorgente	Meteo	Dati emissivi	Inquinanti
Puntuali	MOLOCH 500 -2013	Inventario Regionale – 2011 Areali – Porto di Savona Vado Disaggregazione per struttura (Banchine)	NO_x , SO_2 , CO , C_6H_6

Tabella 4: Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei porti.

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

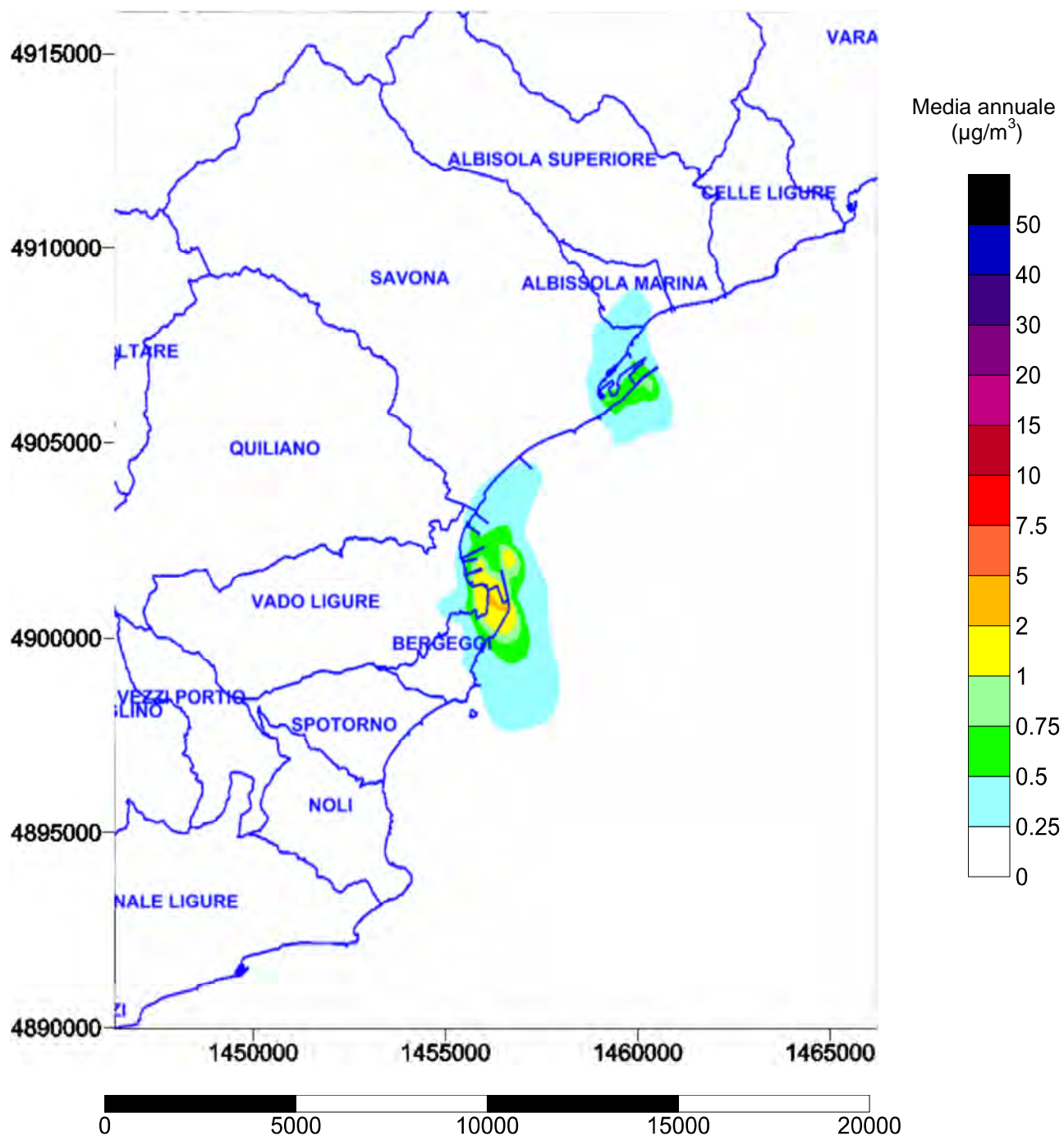


Figura 10: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

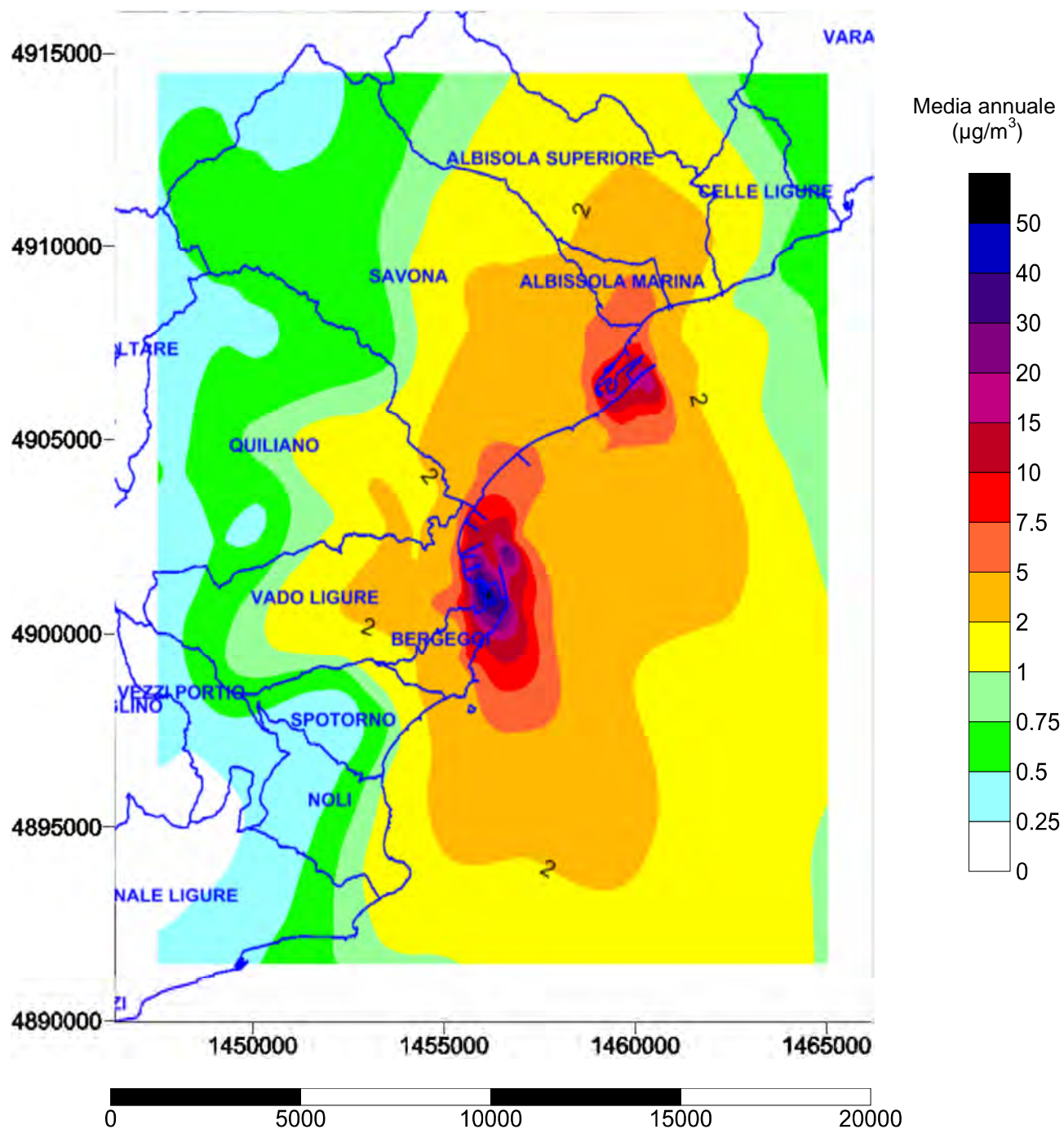


Figura 11: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x, espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

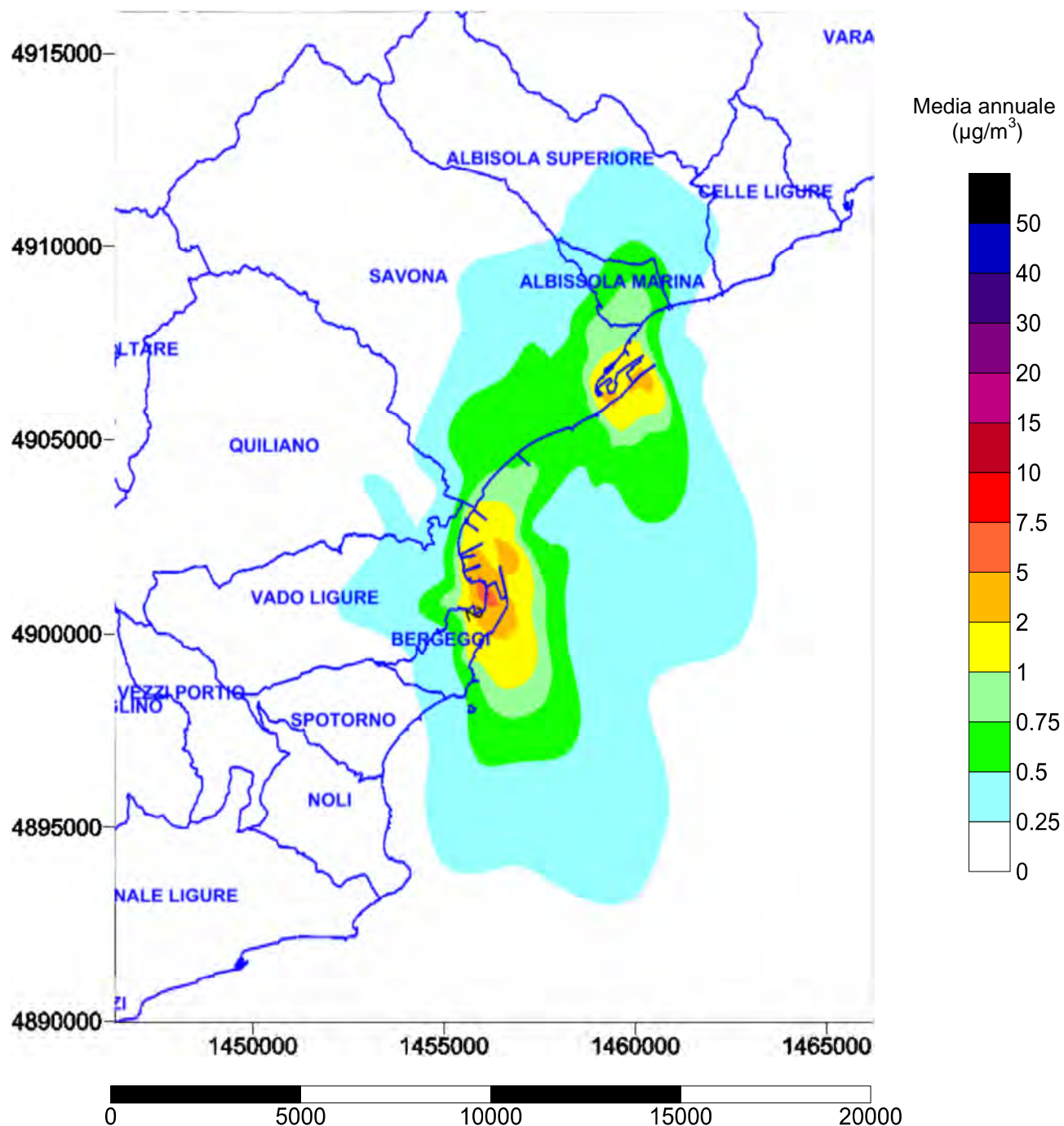


Figura 12: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.

Inquinante: C₆H₆

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

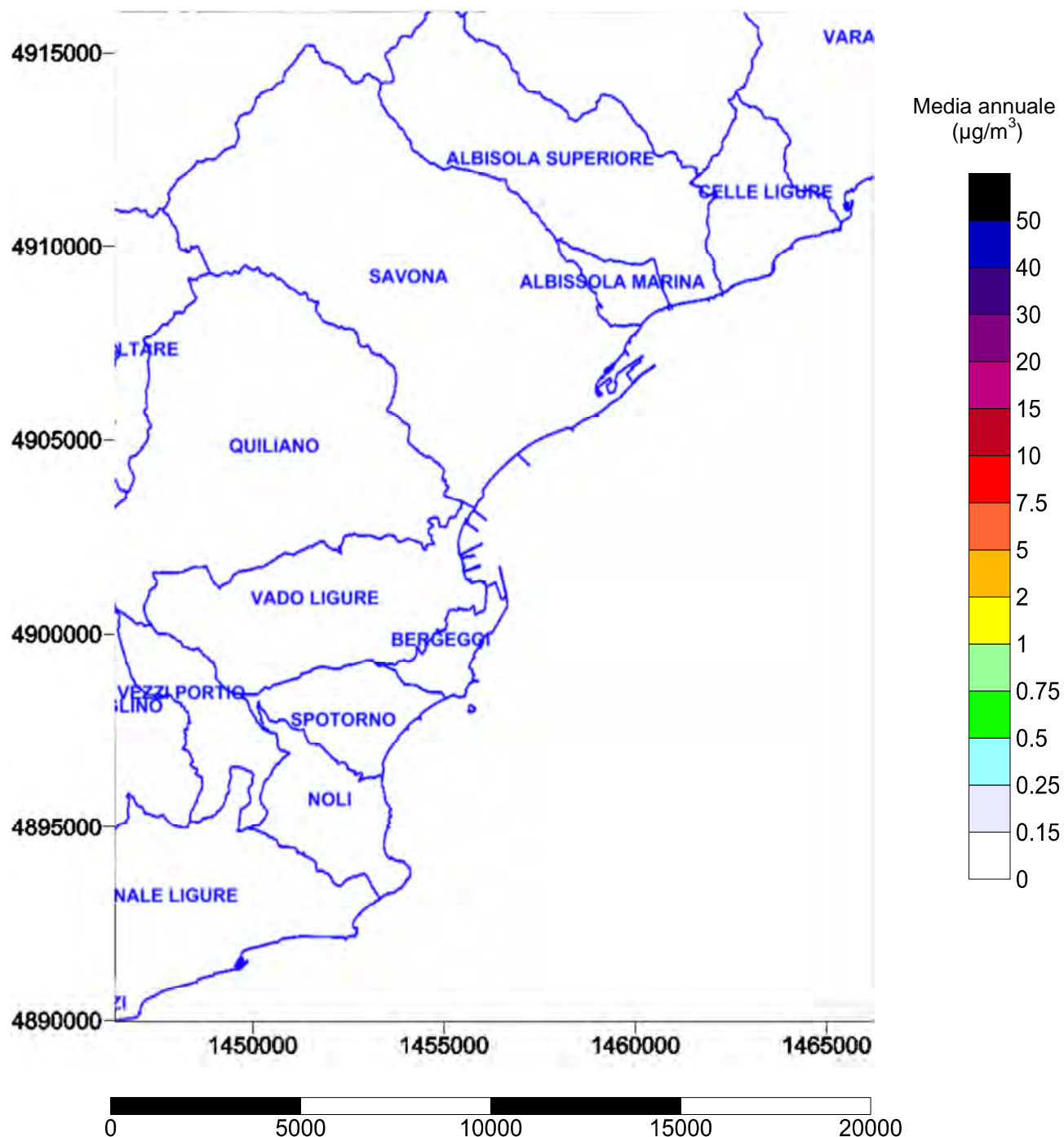


Figura 13: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C₆H₆. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del Porto di Savona - Vado.

Le mappe dei porti mostrano che l'impatto medio annuo del porto di Vado Ligure – Bergeggi è superiore a quello del porto di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo non risultano essere apprezzabili per il settore in esame, mentre l'apporto di SO₂ raggiunge concentrazioni al suolo medie annue massime di circa 5 µg/m³, per gli NO_x si stimano valori al di sopra dei 50 µg/m³ e per il CO di circa 7.5 µg/m³.

3.3 Mappe del traffico veicolare

Le mappe del traffico veicolare, rappresentanti la ricaduta al suolo delle concentrazioni di Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), Monossido di carbonio (CO) e Benzene (C_6H_6), (v. **Figura 14, 15, 16, 17**), sono il risultato dell'interpolazione geostatistica dei risultati sulla base della griglia dei recettori di 20 km x 26 km (v. paragrafo 1.1). Tali mappe sono state ottenute impiegando l'anno meteorologico 2013 (v. paragrafo 1.2) e il contributo emissivo relativo al traffico veicolare presente sul territorio savonese (Macrosettore 7), riferito all'anno 2011, disaggregato su reticolo (1km x 1km) e su unità lineari (v. Paragrafo 2.3 e 2.5).

Di seguito si riporta uno schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei trasporti stradali:

Tipo Sorgente	Meteo	Dati emissivi	Inquinanti
Areali	MOLOCH 500 -2013	Inventario Regionale – 2011 Diffuse - Macrosettore 7 e Lineari (Autostrade) Disaggregazione su reticolo 1 km x 1 km	NO_x , SO_2 , CO , C_6H_6
Lineari		Inventario Regionale – 2011 Lineari (Strade urbane ed extraurbane) Disaggregazione per struttura	

Tabella 5: Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei trasporti stradali.

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

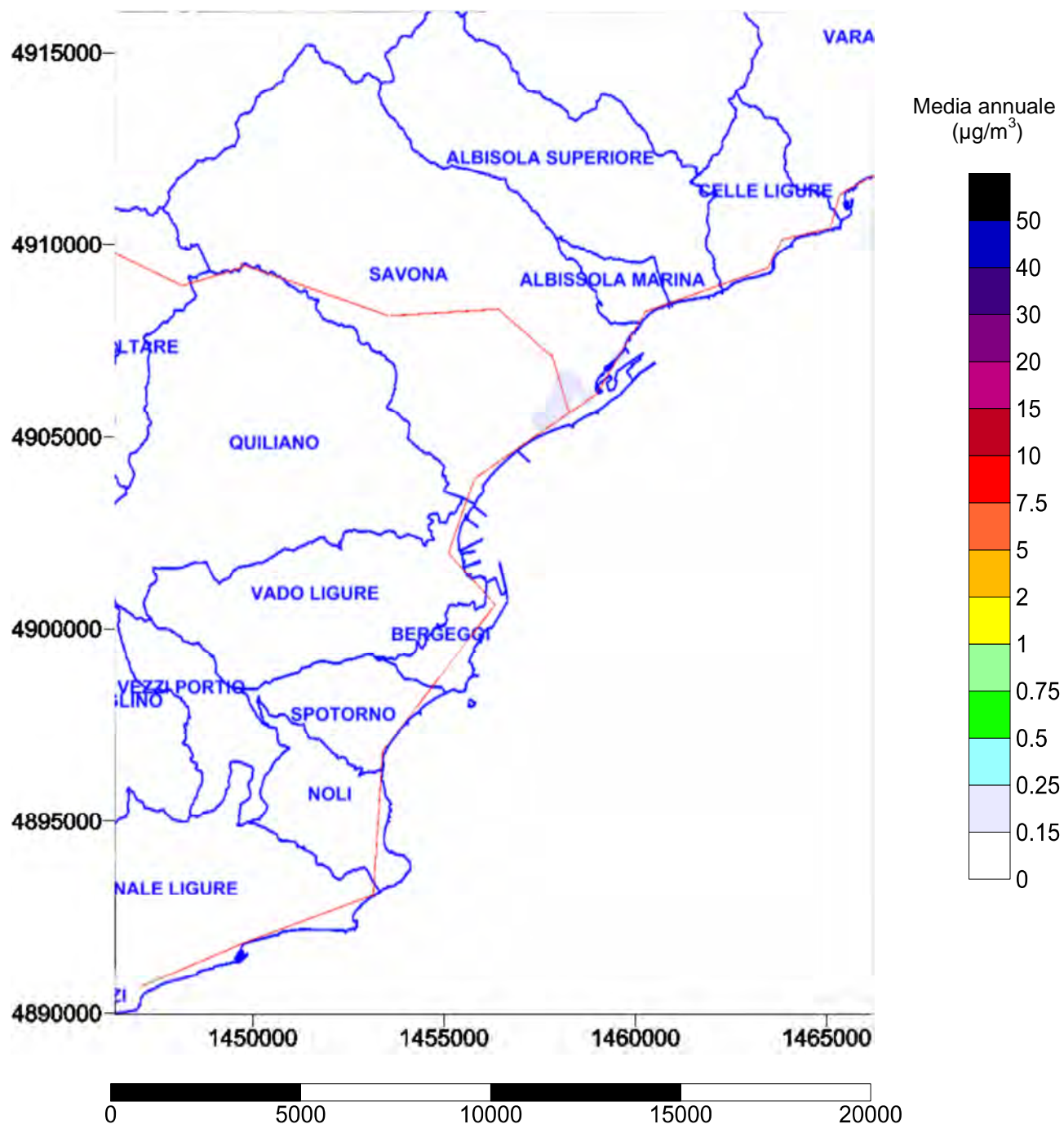


Figura 14: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

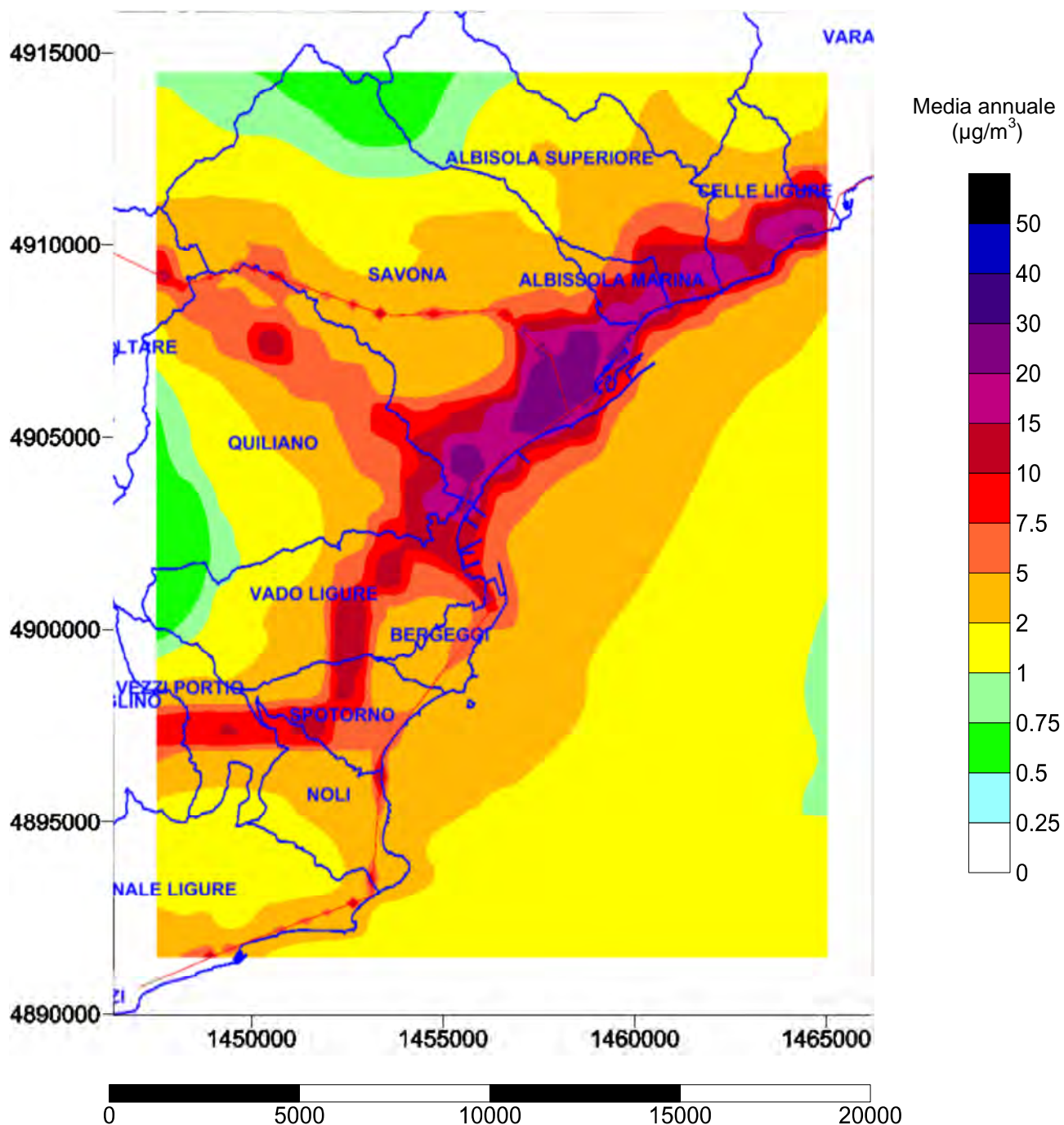


Figura 15: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x, espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

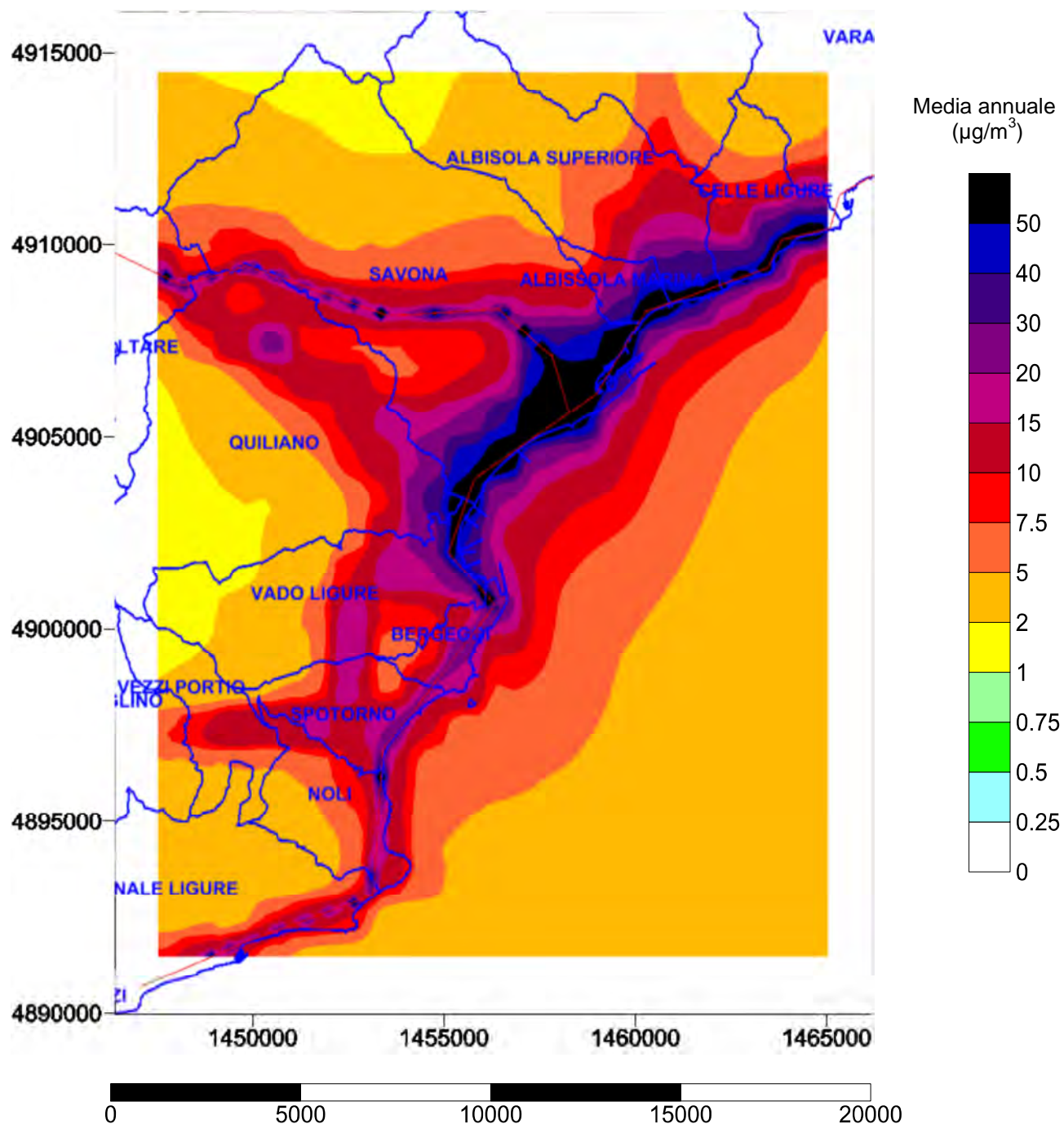


Figura 16: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.

Inquinante: C₆H₆

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

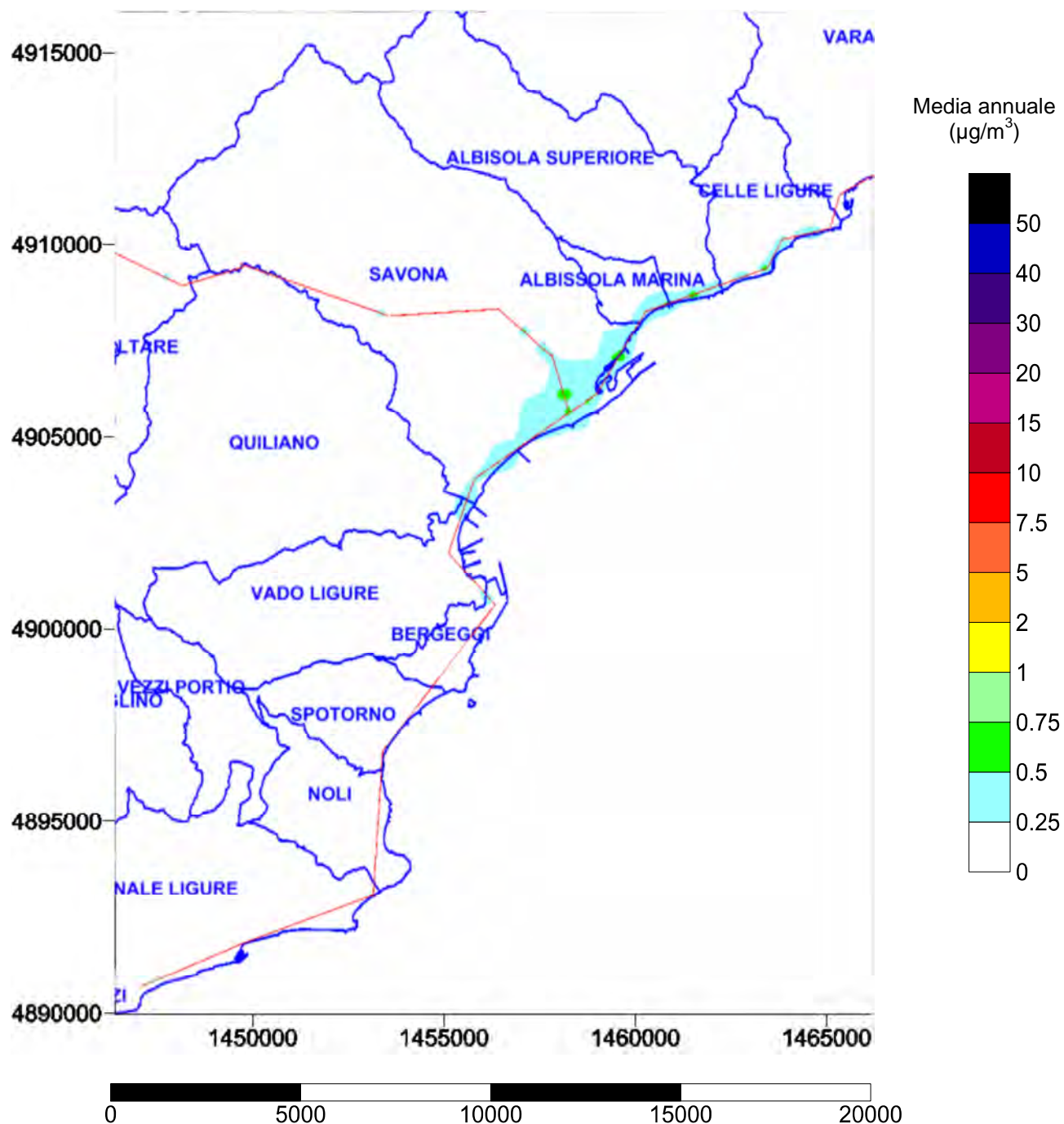


Figura 17: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C₆H₆. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 del traffico veicolare.

Le mappe del traffico veicolare mostrano che l'impatto maggiore si concentra nel centro di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di SO_2 al suolo non risultano essere rilevanti per il settore in esame ($< 0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre l'apporto di NO_x raggiunge concentrazioni al suolo medie annue massime di circa $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel centro di Savona e fino a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lungo le strade urbane, extraurbane e autostrade. Per il CO, inquinante tipicamente da traffico, si registrano valori simulati ben oltre i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel centro di Savona e lungo le direttrici principali. Per il Benzene si ottengono valori massimi, sempre nel centro di Savona, pari a circa $0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.4 Mappe dei riscaldamenti civili

Le mappe dei riscaldamenti civili, rappresentanti la ricaduta al suolo delle concentrazioni di Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), Monossido di carbonio (CO) e Benzene (C_6H_6), (v. **Figura 18, 19, 20, 21**), sono il risultato dell'interpolazione geostatistica dei risultati sulla base della griglia dei recettori di 20 km x 26 km (v. paragrafo 1.1). Tali mappe sono state ottenute impiegando l'anno meteorologico 2013 (v. paragrafo 1.2) e il contributo emissivo relativo ai riscaldamenti civili presenti sul territorio savonese (Macrosettore 2), riferito all'anno 2011, disaggregato su reticolo (1 km x 1km) (v. Paragrafo 2.5).

Di seguito si riporta uno schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei riscaldamenti civili:

Tipo Sorgente	Meteo	Dati emissivi	Inquinanti
Areali	Moloch 500 -2013	Inventario Regionale – 2011 Diffuse - Macrosettore 2 Disaggregazione su reticolo 1 km x 1 km	NO_x , SO_2 , CO , C_6H_6

Tabella 6: Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni dei riscaldamenti civili.

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

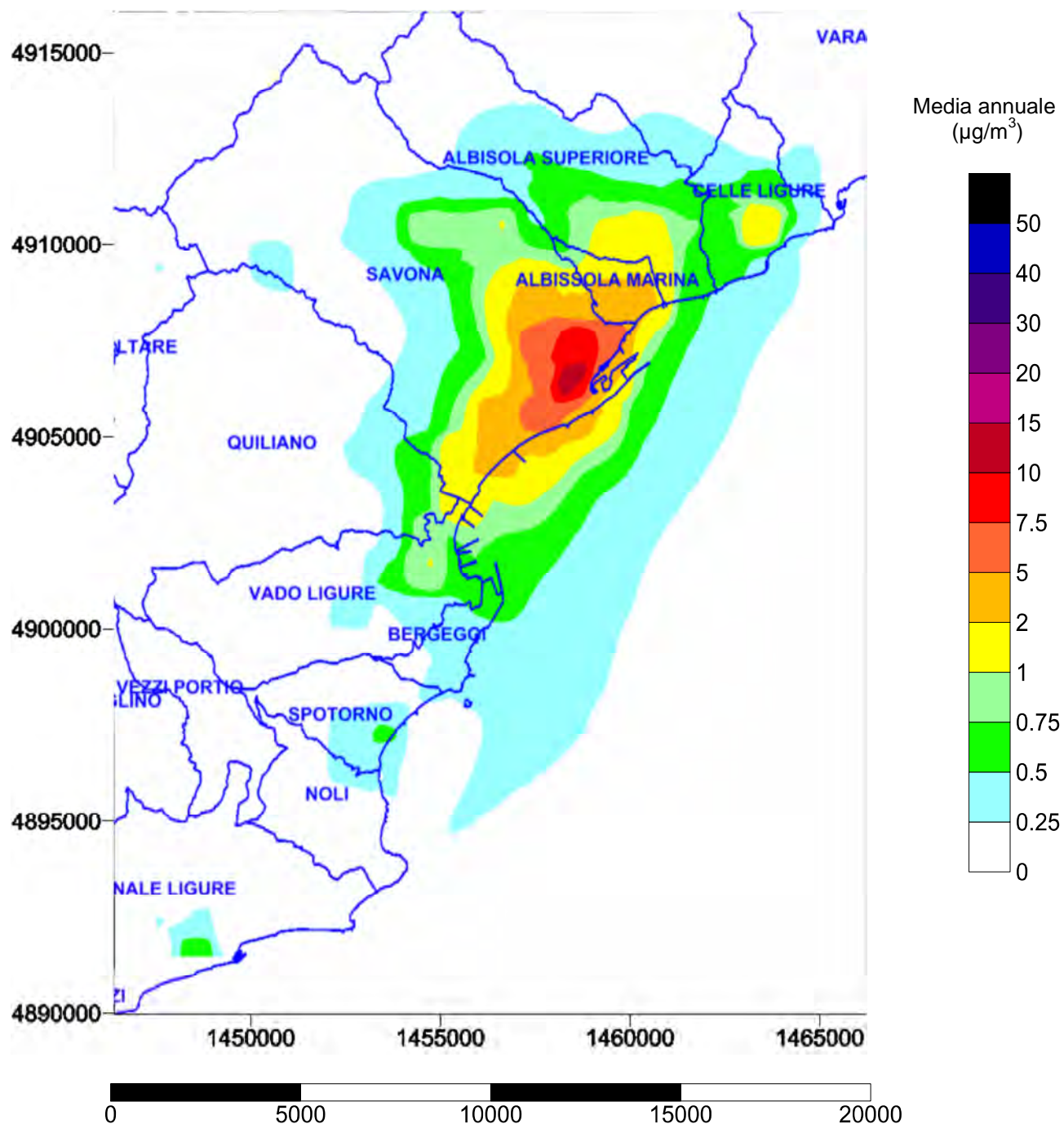


Figura 18: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

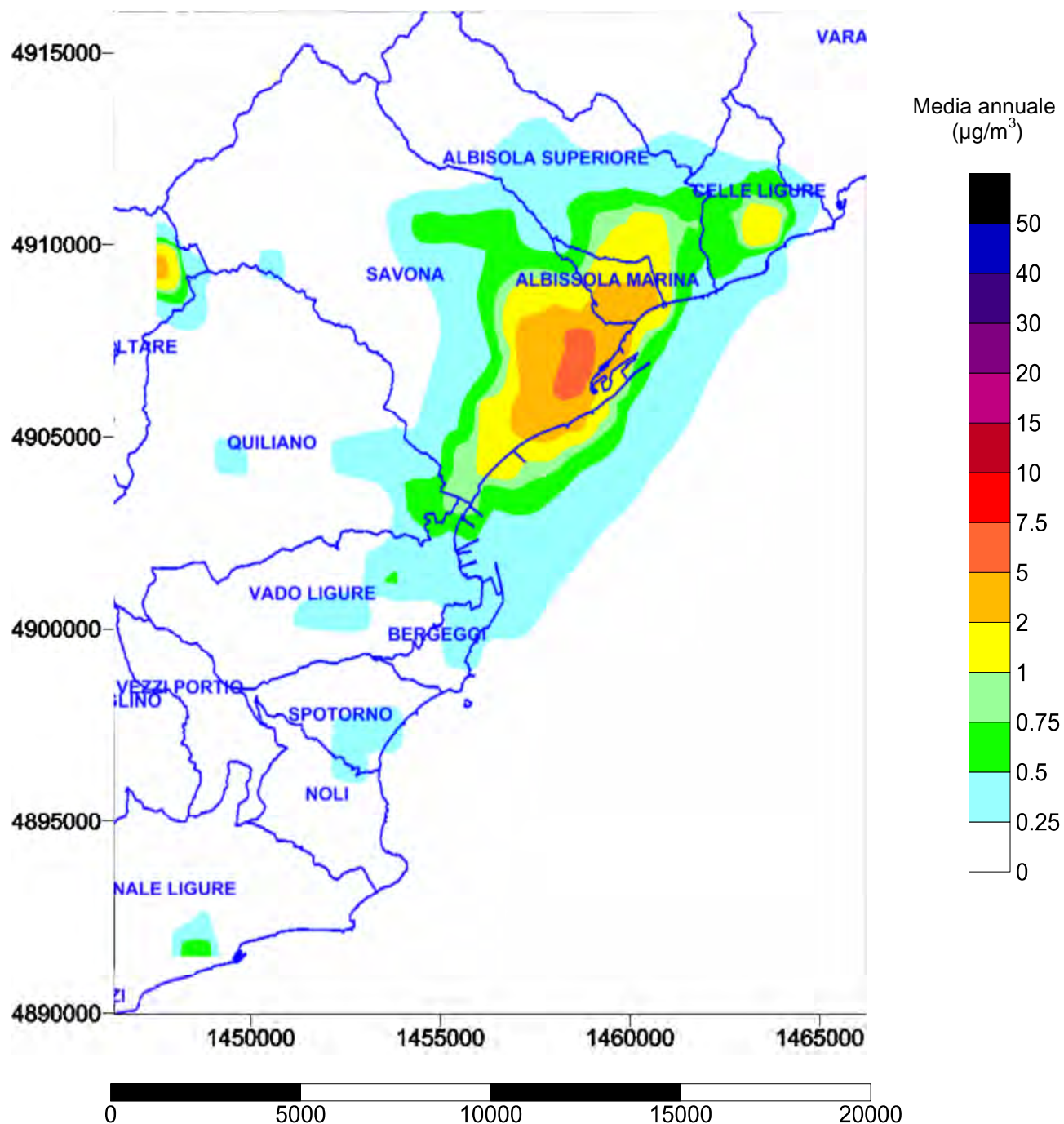


Figura 19: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x, espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamento civili.

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

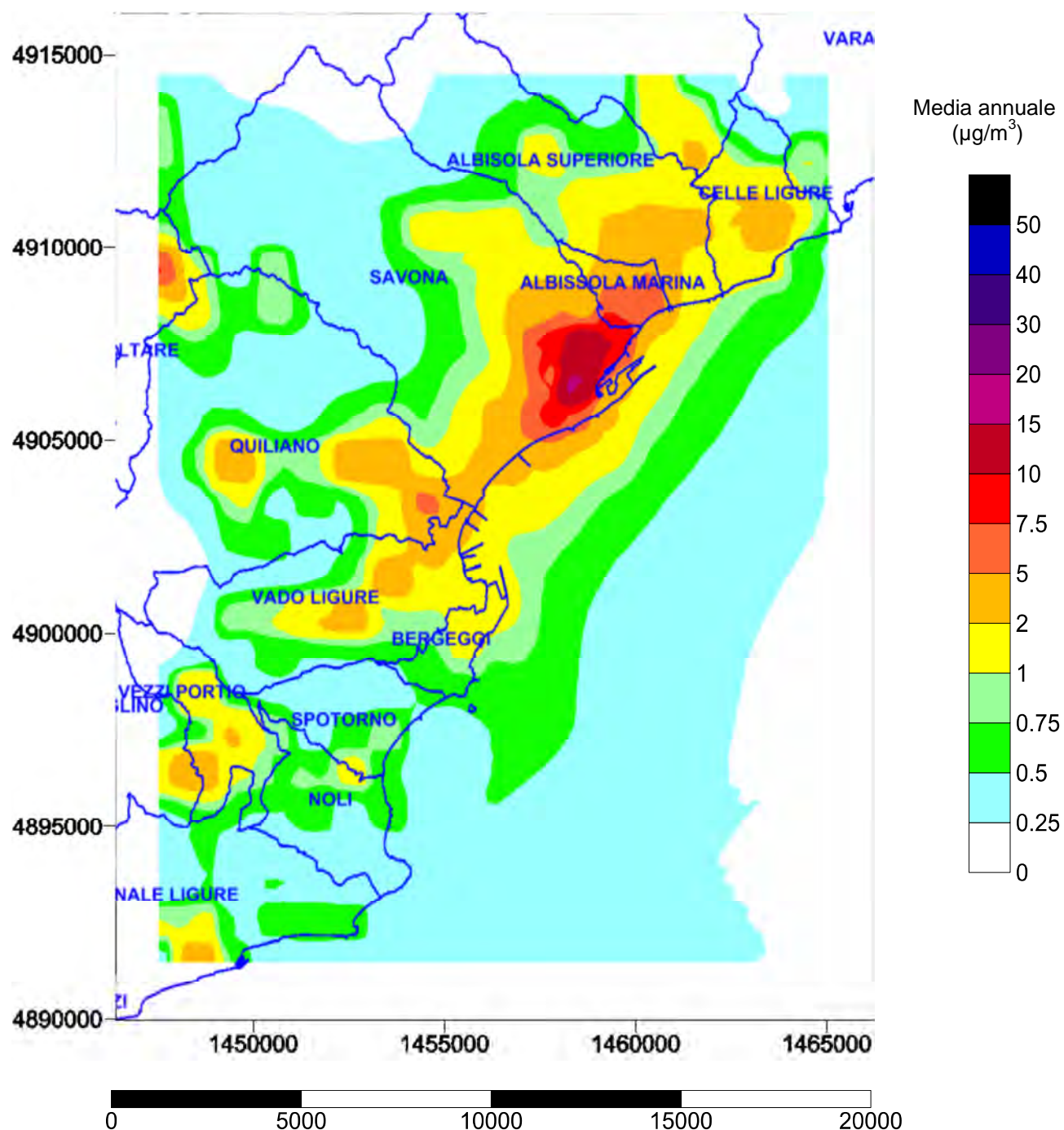


Figura 20: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.

Inquinante: C₆H₆

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

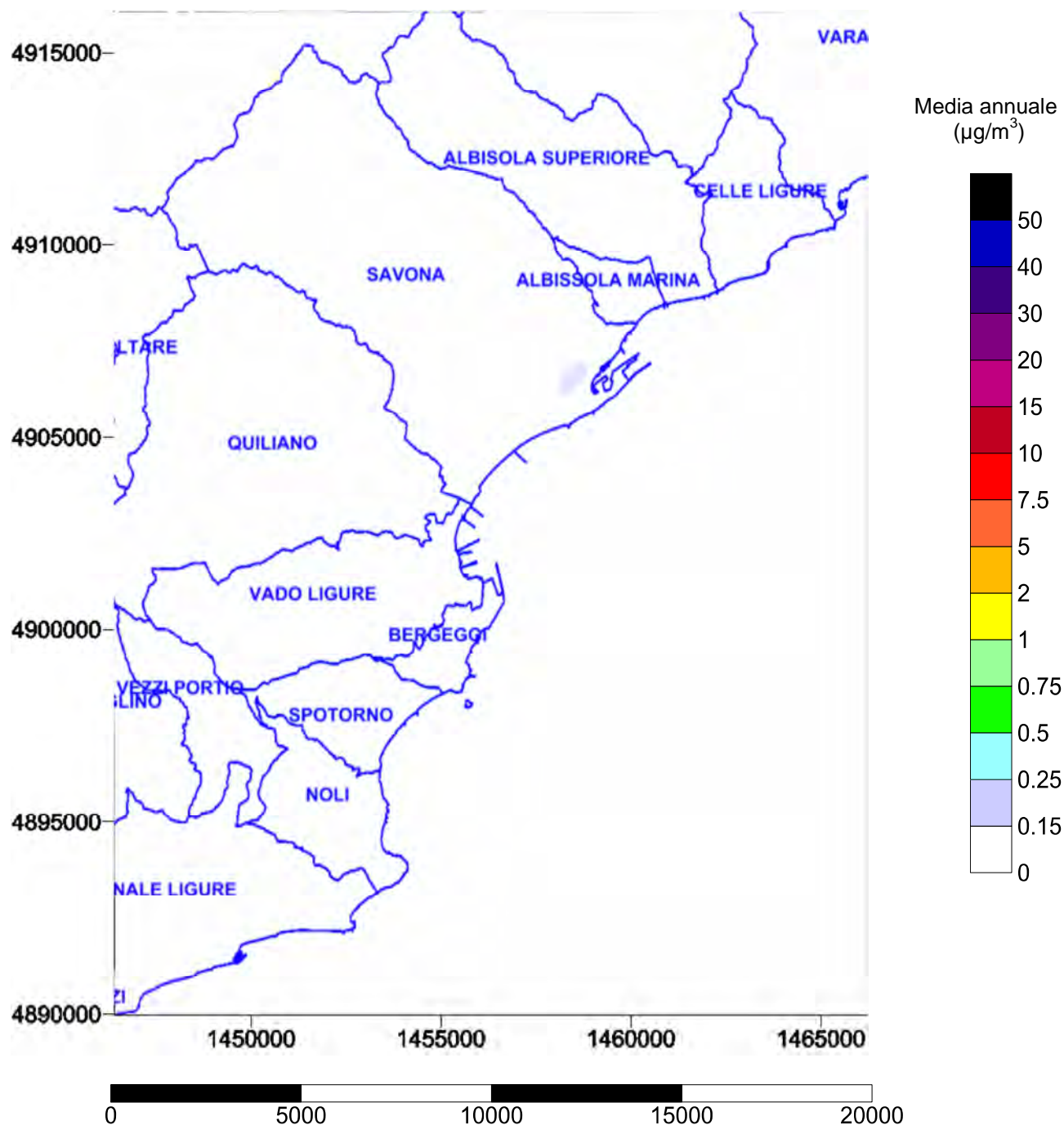


Figura 21: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C₆H₆. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 dei riscaldamenti civili.

Le mappe dei riscaldamenti civili mostrano che l'impatto maggiore si concentra nel centro di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo non risultano essere rilevanti per il settore in esame ($< 0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre per gli NO_x si raggiungono concentrazioni al suolo medie annue massime di circa $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, per il CO di circa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e per l' SO_2 pari a circa $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.5 Mappe delle attività industriali

Le mappe delle attività industriali, rappresentanti la ricaduta al suolo delle concentrazioni di Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), Monossido di carbonio (CO) e Benzene (C_6H_6), (v. **Figura 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29**), sono il risultato dell'interpolazione geostatistica dei risultati sulla base della griglia dei recettori di 20 km x 26 km (v. paragrafo 1.1). Tali mappe sono state ottenute impiegando l'anno meteorologico 2013 (v. paragrafo 1.2) e il contributo emissivo relativo alle attività industriali presenti sul territorio savonese, riferito all'anno 2011. Fa eccezione la centrale termoelettrica Tirreno Power, per la quale sono stati utilizzati i dati degli SME relativi all'anno 2013 per Biossido di zolfo (SO_2), Ossidi di azoto (NO_x), Monossido di carbonio (CO) (v. Programma di monitoraggio e controllo della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012); i dati di Benzene (C_6H_6), invece, sono stati estratti dall'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera e sono relativi al 2011.

Per quanto riguarda l'implementazione delle sorgenti puntuali si rimanda al Paragrafo 2.1, mentre per le sorgenti diffuse sono stati implementati i dati relativi al Macrosettore 3 – *Impianti di combustione industriale e processi con combustione*, Macrosettore 4 – *Processi senza combustione*, Macrosettore 5 – *Altro trasporto interno e immagazzinamento di combustibili liquidi*, Macrosettore 6 – *Uso di solventi* e si rimanda al Paragrafo 2.5.

Di seguito si riporta uno schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni delle attività industriali:

Tipo Sorgente	Elenco aziende	Meteo	Dati emissivi	Inquinanti
Puntuali	Tirreno Power	Media Capo Vado 200 - 2013 Moloch 500 - 2013	SME - 2013	NO _x , SO ₂ CO
			Inventario Regionale - 2011	C ₆ H ₆
Puntuali	Discarica Ecosavona Discarica Ramognina Infineum Mantobit Zinox Sanac (A) Bormioli Rocco Ferrania Ligure Piemontese Laterizi Piaggio Aereo Industries Vetreria Etrusca Artigo Italiana Coke	Media Capo Vado 200 - 2013 Moloch 500 - 2013	Inventario Regionale – 2011 AIA	NO _x , SO ₂ , CO, C ₆ H ₆
Areali	Sarpom Petrolig			
Areali	-	Moloch 500 - 2013	Inventario Regionale – 2011 Diffuse - Macrosettori 3,4,5,6 Disaggregazione su reticolo 1kmx1km	NO _x , SO ₂ , CO, C ₆ H ₆

Tabella 7 Schema riepilogativo degli input utilizzati per le simulazioni delle attività industriali.

Di seguito si riportano le mappe di ricaduta al suolo delle concentrazioni derivanti dalle attività industriali presenti nel savonese, con e senza l'impatto della centrale termometrica Tirreno Power.

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011 (per Tirreno Power 2013)

Meteorologia: Anno 2013

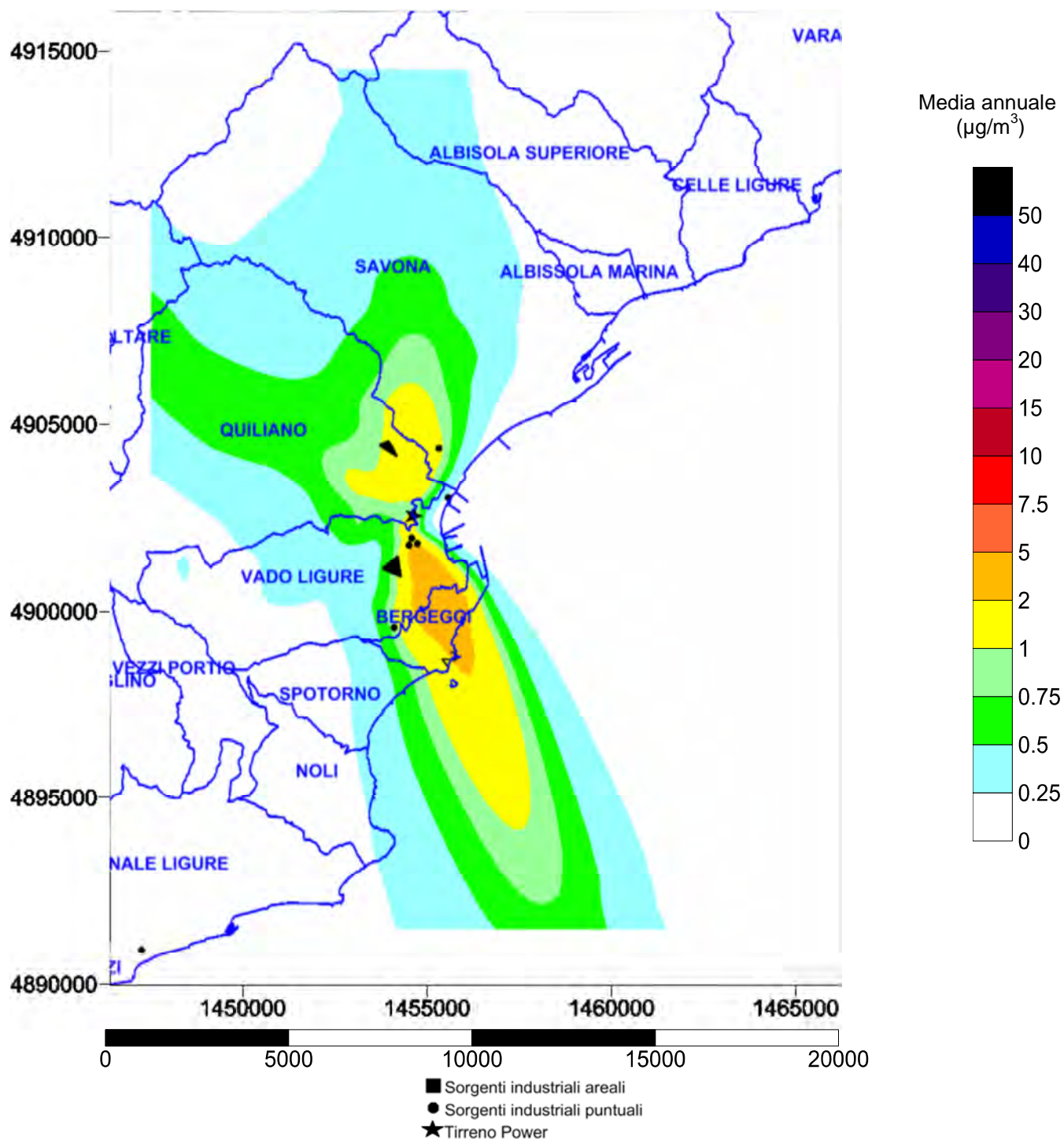


Figura 22: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.

Inquinante: SO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

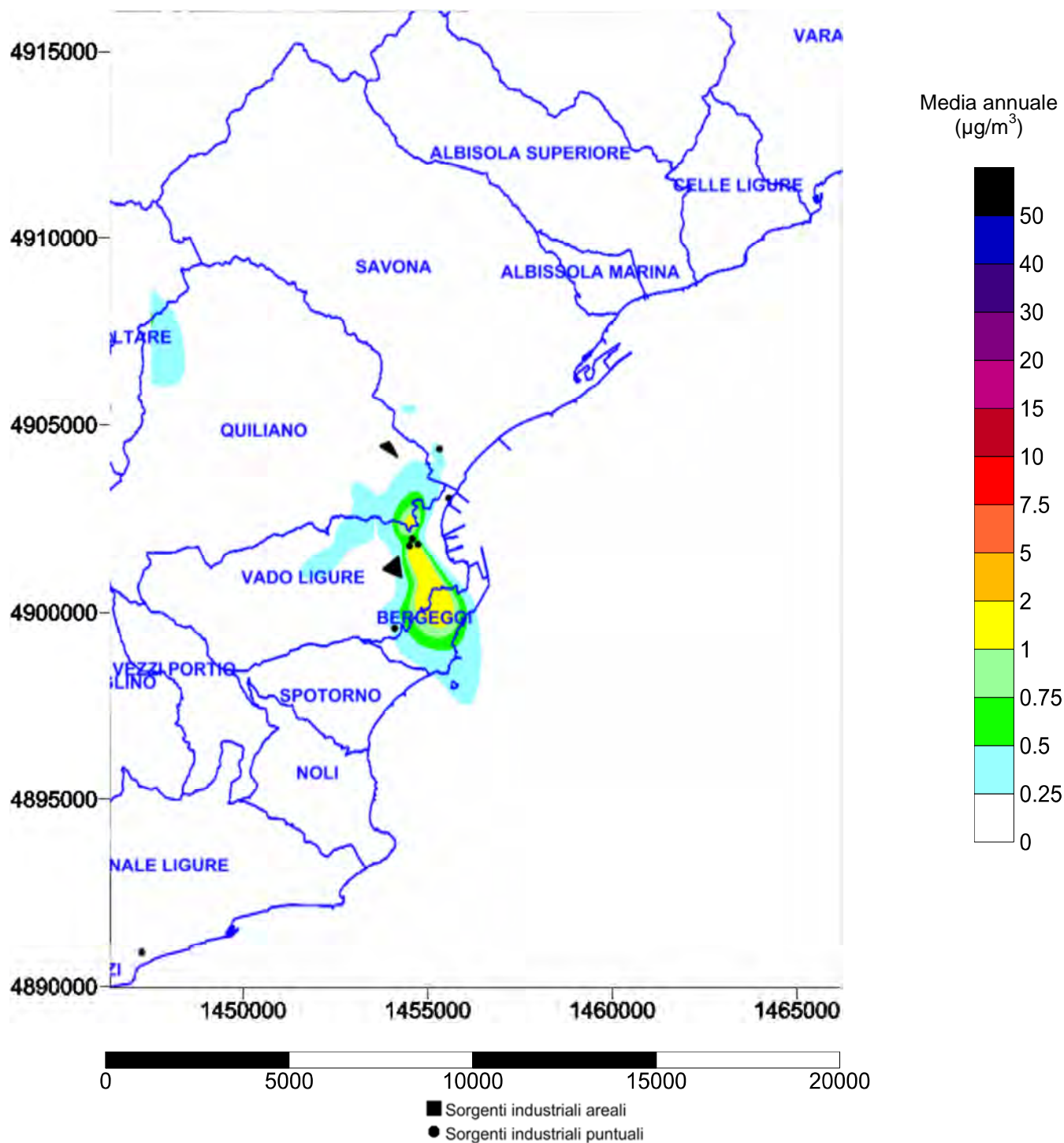


Figura 23: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di SO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

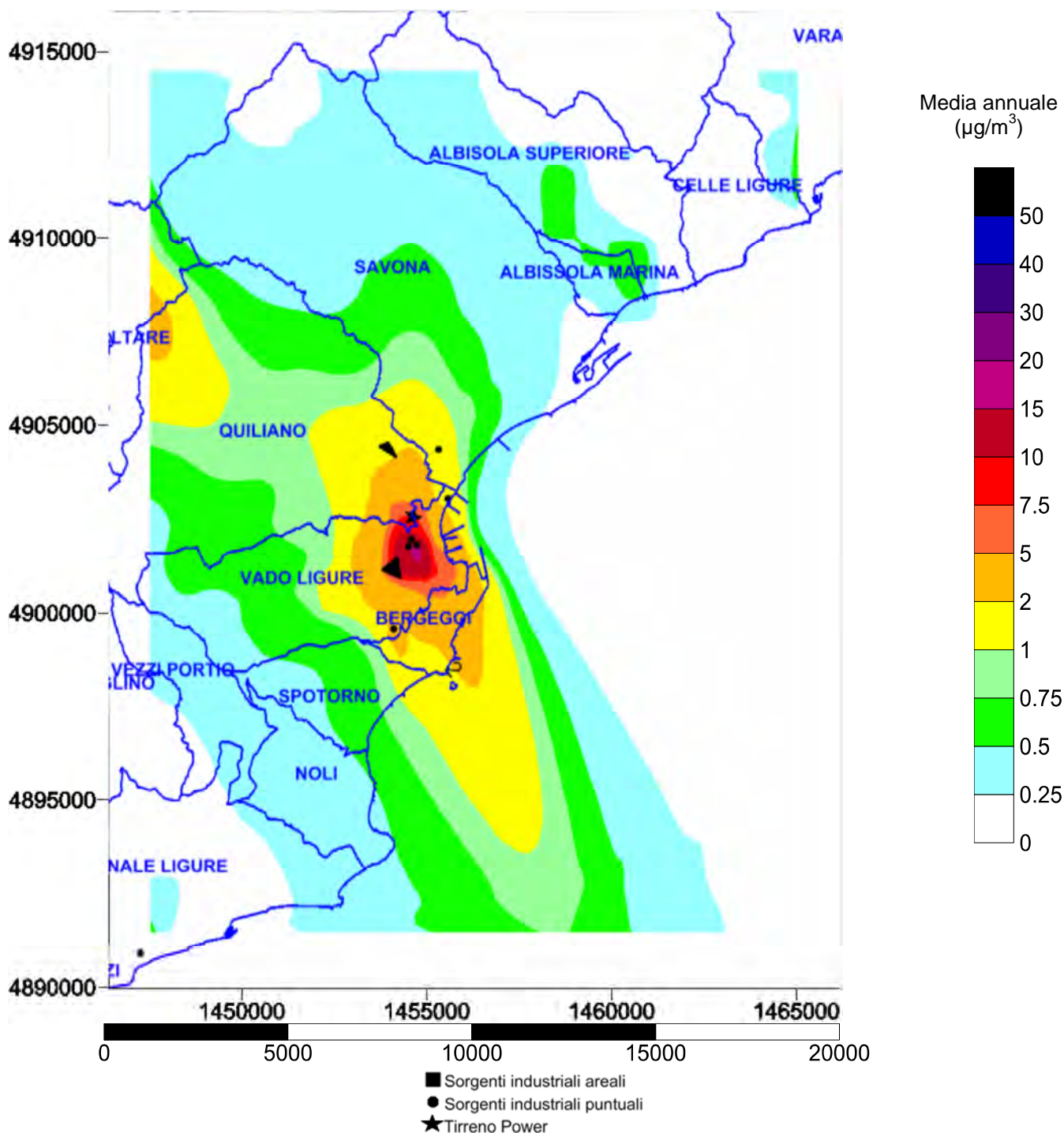


Figura 24: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x, espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.

Inquinante: NO_x espressi come NO₂

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

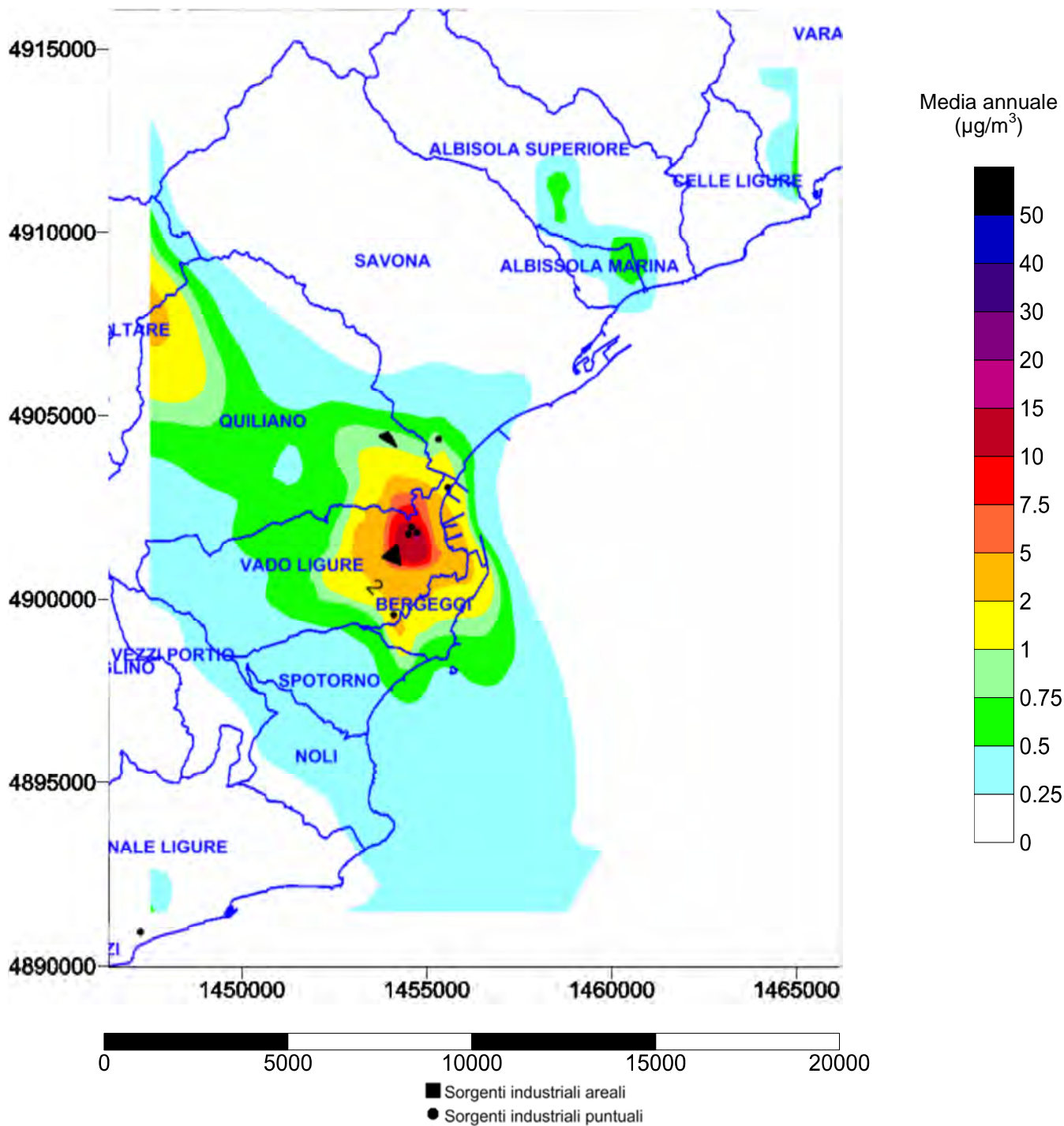


Figura 25: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di NO_x, espressi come NO₂. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

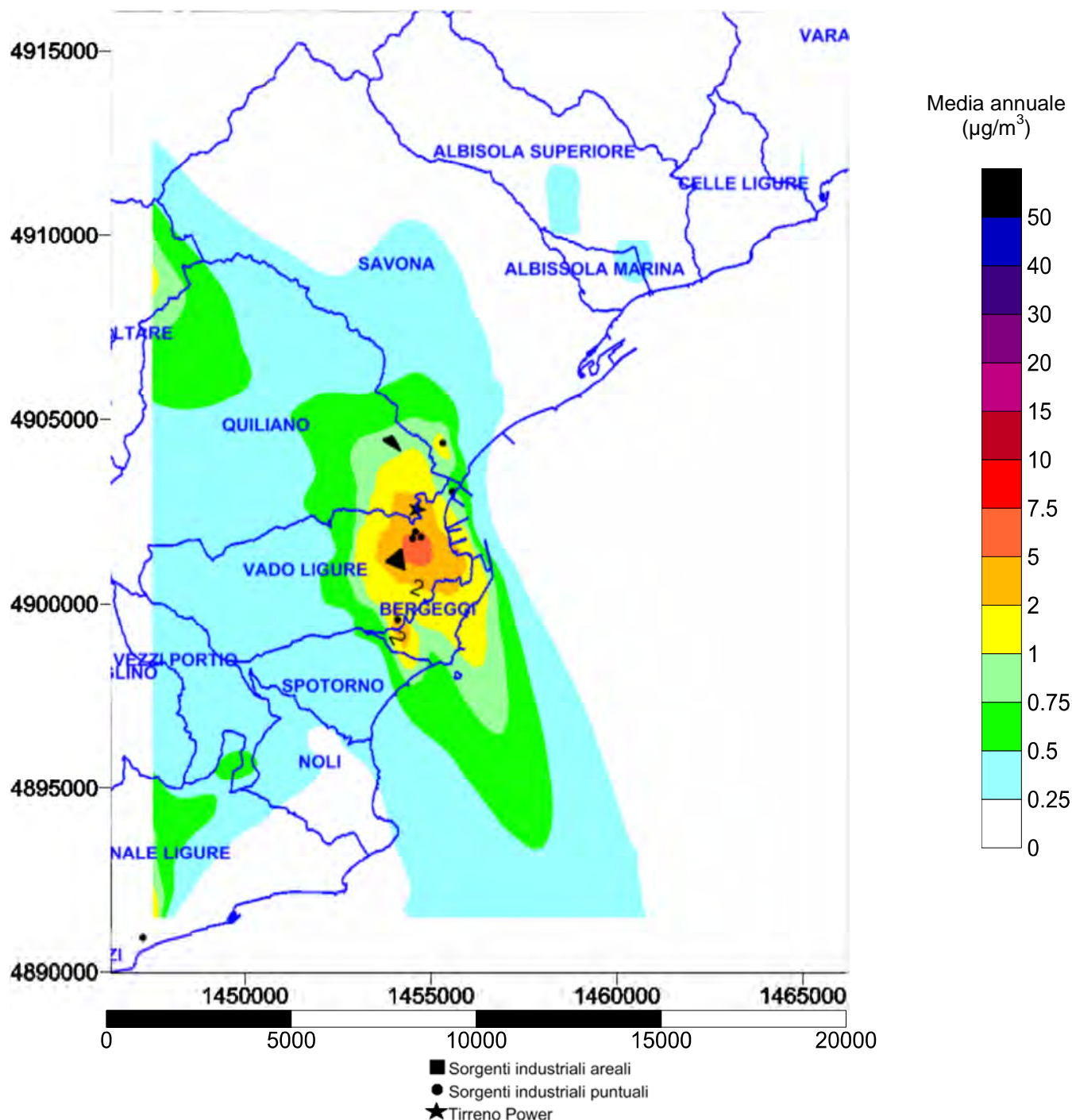


Figura 26: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.

Inquinante: CO

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

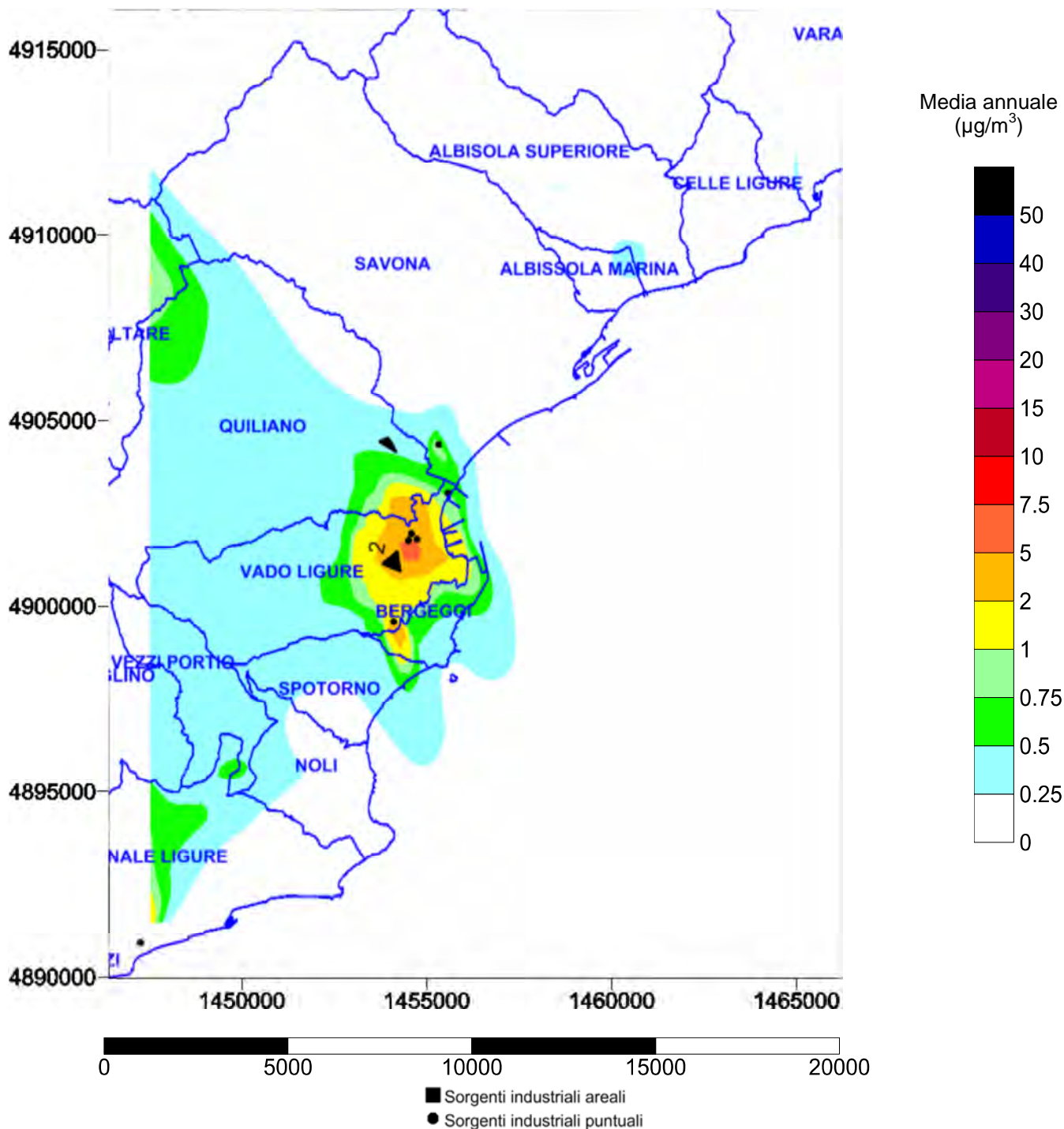


Figura 27: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di CO. Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.

Inquinante: C_6H_6

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

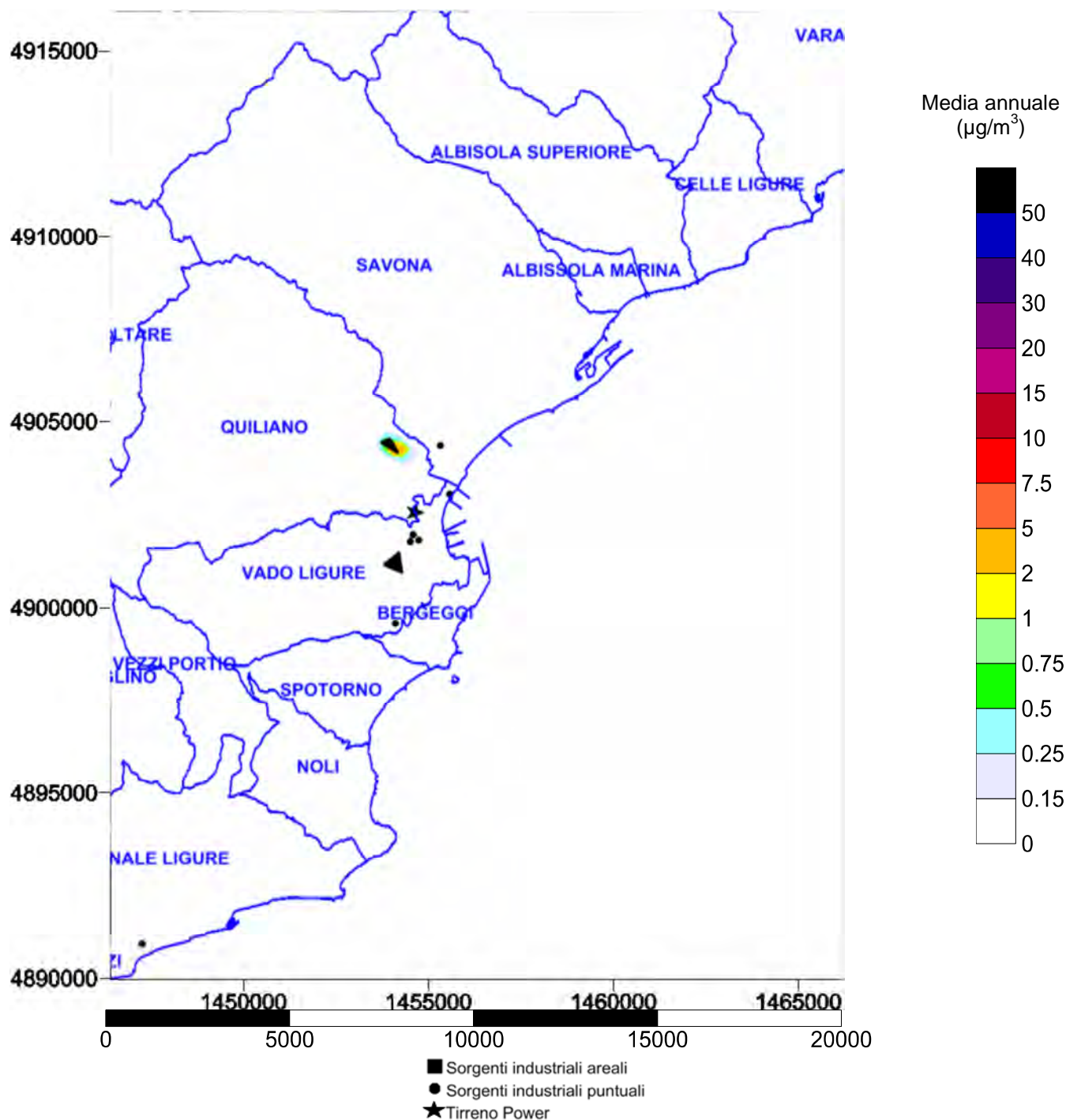


Figura 28: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C_6H_6 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 (Tirreno Power, SME 2013) delle attività industriali.

Inquinante: C_6H_6

Emissioni: Anno 2011

Meteorologia: Anno 2013

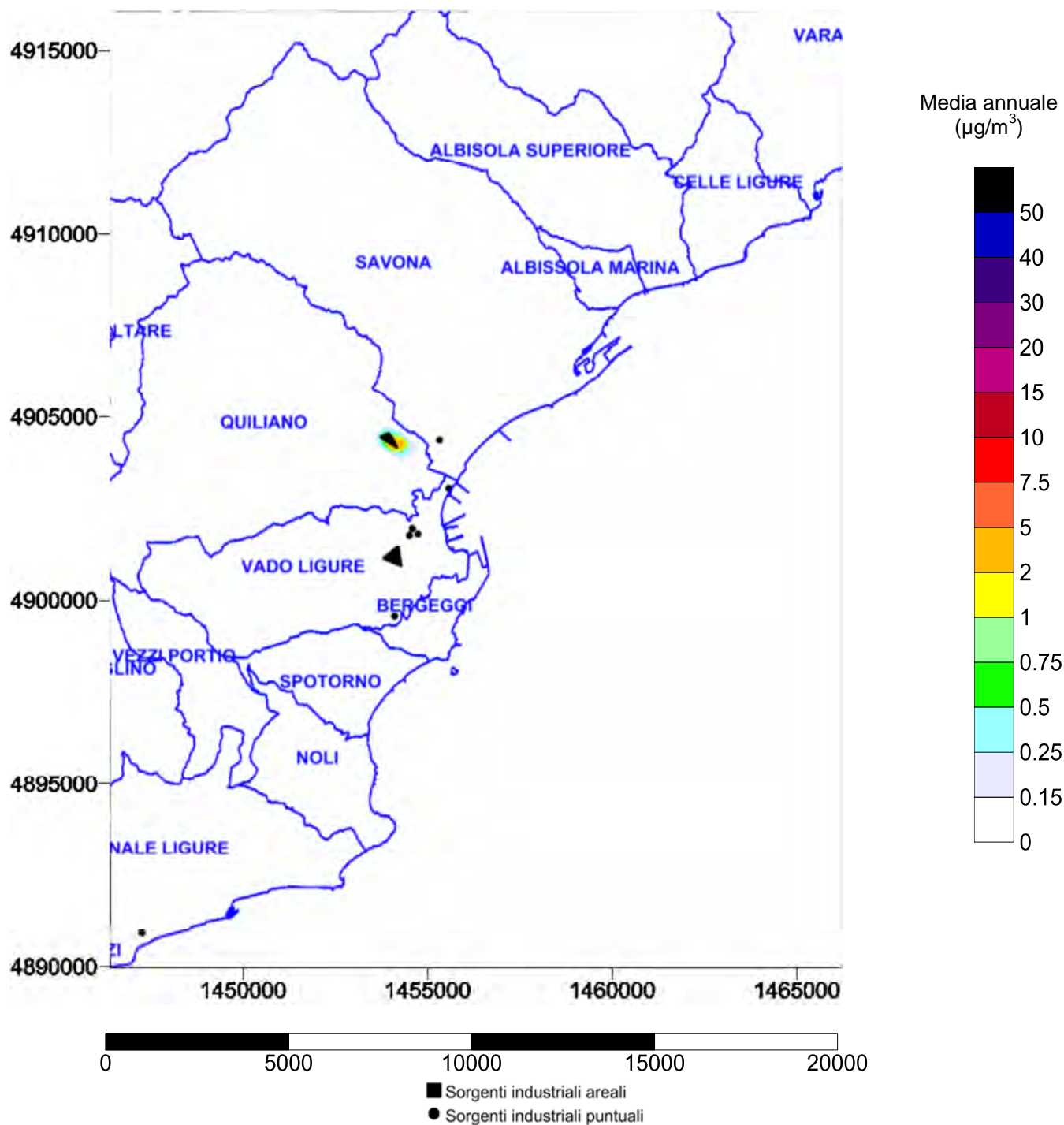


Figura 29: Mappa di ricaduta al suolo delle concentrazioni medie annue di C_6H_6 . Meteorologia 2013 ed emissioni 2011 delle attività industriali, esclusa Tirreno Power.

Le mappe delle attività industriali mostrano che la centrale termoelettrica Tirreno Power per quanto concerne l' SO_2 , mostra un'impronta di ricaduta caratteristica se confrontata con le altre attività presenti nell'area in esame. La totalità delle attività industriali dell'area savonese porta ad un massimo di concentrazioni al suolo inferiore a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona di Vado Ligure – Bergeggi, mentre se si considerano tutte le attività eccetto la centrale termoelettrica Tirreno Power si raggiungono valori massimi di concentrazioni al suolo inferiori a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche per gli NO_x si osserva un'impronta caratteristica di Tirreno Power, con massimi di concentrazioni al suolo inferiori a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia con che senza il contributo della centrale termoelettrica. Per il CO valgono le stesse considerazioni fatte per gli NO_x , ma in questo caso i massimi di concentrazioni al suolo risultano essere inferiori a $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le concentrazioni al suolo medie annue di Benzene, infine, raggiungono i valori massimi nell'area limitrofa alla ditta Sarpom (con valori massimi di circa $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.6 Analisi dei risultati

Dalle mappe di ricaduta al suolo degli inquinanti NO_x, SO₂, CO e Benzene, ottenute modellando specificatamente le emissioni dei porti, del traffico veicolare, dei riscaldamento civili, della centrale termoelettrica Tirreno Power e delle altre attività industriali, è possibile stimare il contributo di ciascuna tipologia di attività presente sul territorio in esame.

A titolo di esempio, di seguito si riportano i grafici (**Grafici 2 - 11**) relativi alle stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria, sia della rete regionale, che della rete dell'azienda Tirreno Power. Tale analisi può essere svolta per ciascun punto appartenente alla griglia dei recettori.

Si sottolinea che le stime seguenti possono risultare fortemente influenzate dallo schema geometrico adottato per la dispersione delle sorgenti, oltre ad essere affette dall'incertezza complessiva del risultato della simulazione, valutata nel successivo Paragrafo 4 (Analisi delle prestazioni del modello).

Stazioni della Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Stazione di Varaldo

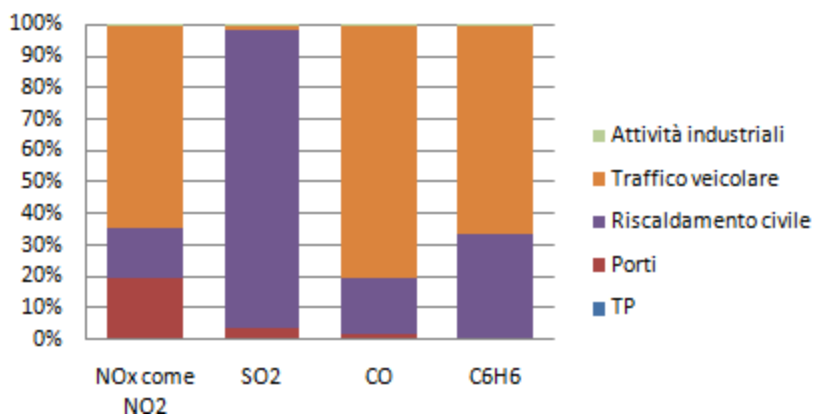


Grafico 2: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Varaldo.

Stazione di Quiliano

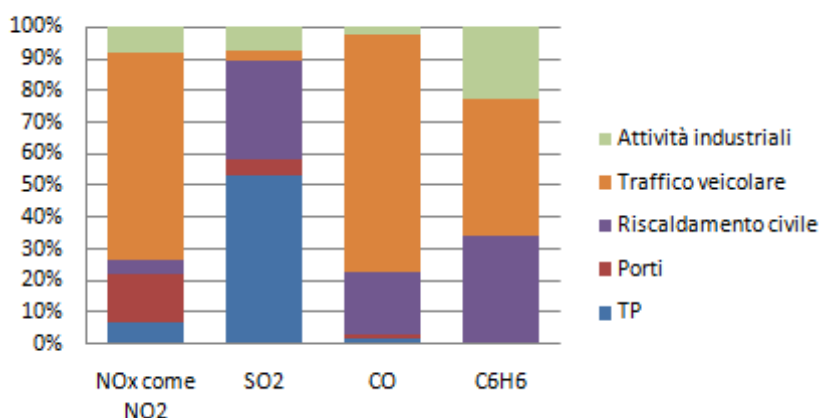


Grafico 3: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Quiliano.

Stazione di Vado Ligure

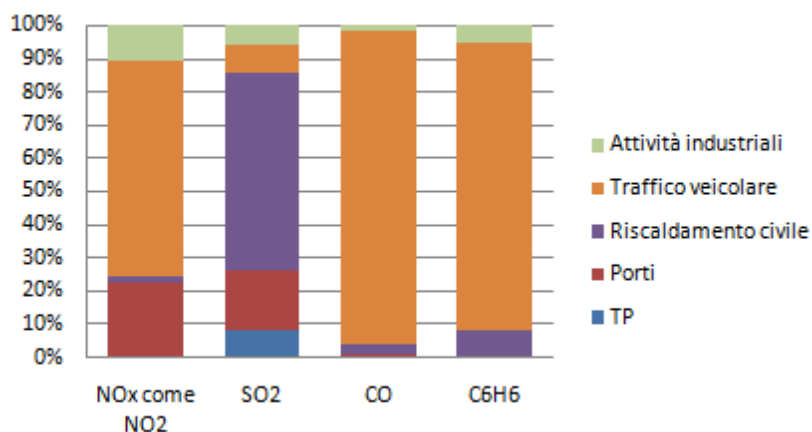


Grafico 4: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Vado L.

Stazione di San Genesio

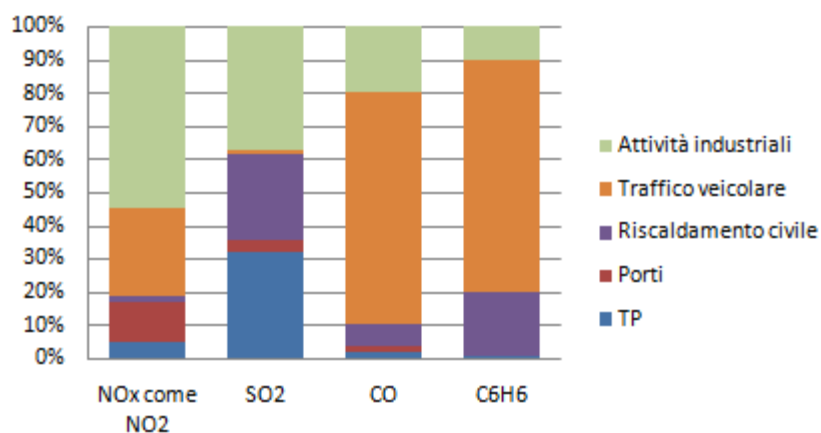


Grafico 5: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di San Genesio.

Stazione di Voze

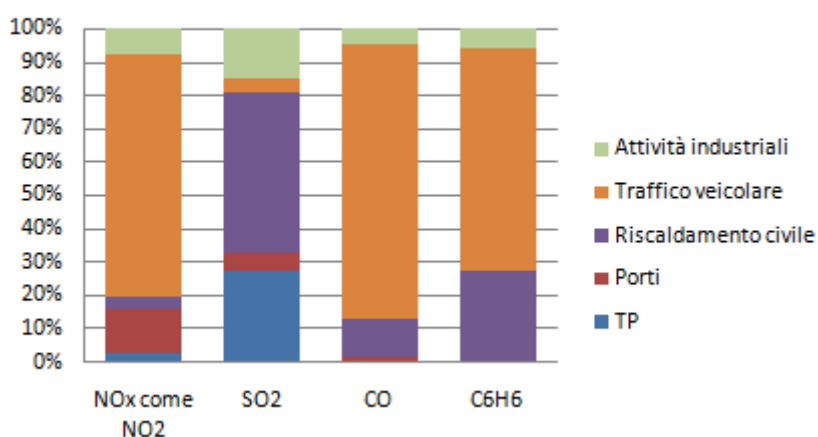


Grafico 6: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Voze.

Stazione di Corso Ricci

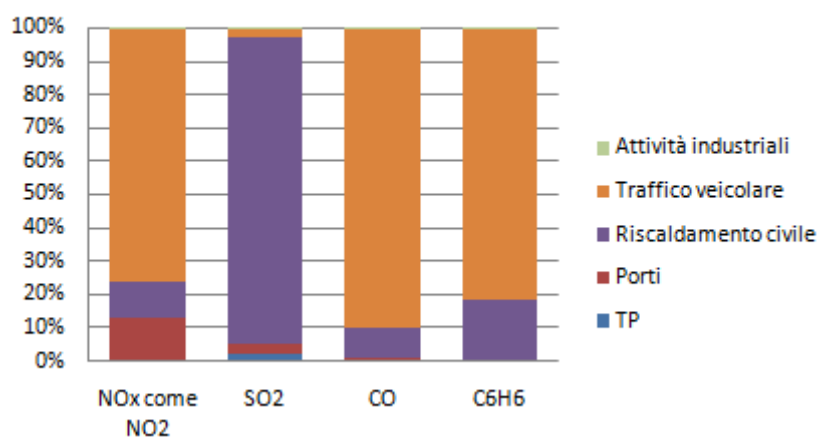


Grafico 7: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Corso Ricci.

Stazione di Albisola Superiore

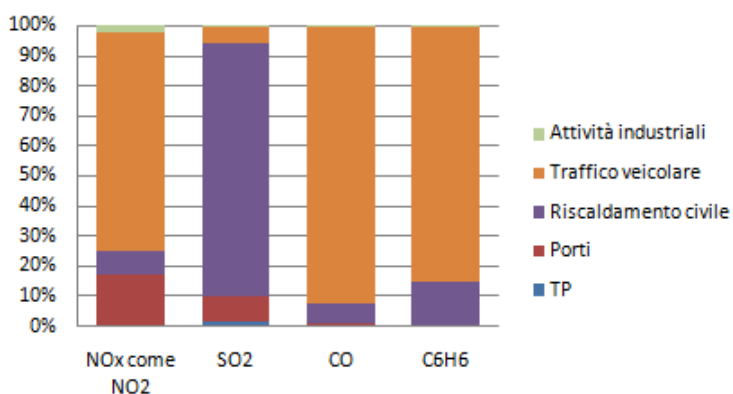


Grafico 8: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Albisola Superiore.

Stazioni della Rete Tirreno Power di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Stazione di Monte Ciuto

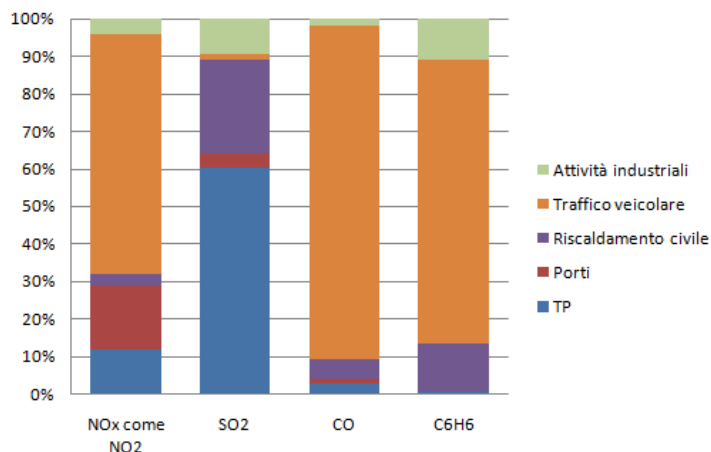


Grafico 9: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Monte Ciuto.

Stazione di Bergeggi

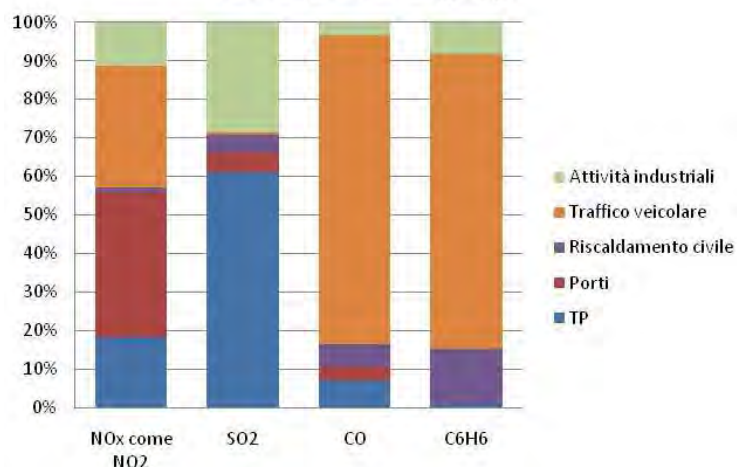


Grafico 10: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Bergeggi.

Stazione di Termine

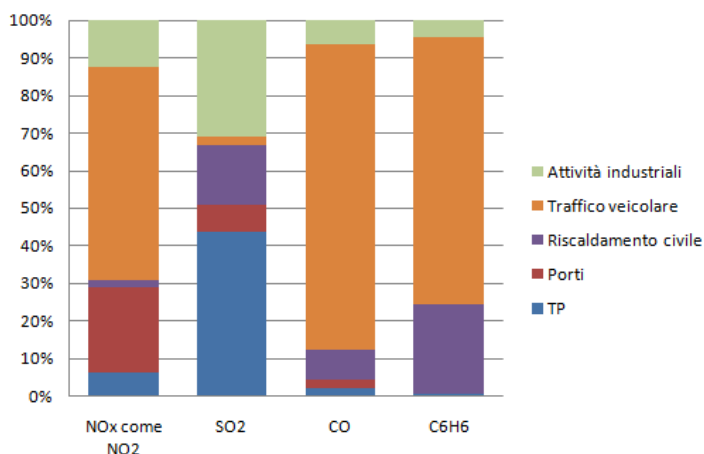


Grafico 11: Contributi % delle sorgenti alle ricadute al suolo nella postazione di Termine.

Dall'analisi dei contributi percentuali alle ricadute al suolo di NO_x , CO e Benzene, nelle postazioni di monitoraggio presenti nell'area di studio, scelte arbitrariamente come recettori esemplificativi, si osserva che per tutti i punti, eccetto San Genesio e Bergeggi, prevale il contributo del traffico veicolare. Per San Genesio gli NO_x , infatti, provengono in maggior misura dalle attività industriali presenti nell'area di studio, mentre per Bergeggi dalle attività portuali. Il maggior apporto di SO_2 in aria ambiente, invece, viene fornito dal macrosettore dei riscaldamento civili per la maggior parte delle postazioni, eccetto Quiliano, Monte Ciuto, Bergeggi e Termine, dove il contributo della centrale termoelettrica Tirreno Power prevale.

Si sottolinea comunque che, nella zona di studio, soltanto gli NO_x risultano essere un parametro critico, mentre le concentrazioni in aria ambiente di SO_2 , CO e Benzene risultano al di sotto dei rispettivi valori limite di legge.

4 Analisi delle prestazioni del modello

L'analisi dei risultati ottenuti nell'ambito della valutazione degli impatti dei contributi multi-sorgente delle emissioni in atmosfera nell'area geografica savonese è stata condotta mediante l'utilizzo di un indicatore statistico (Errore Relativo - ER) che quantifica lo scarto tra misure disponibili e modello.

I dati misurati provengono dalla Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria e sono stati mediati i dati rilevati nel triennio 2011 – 2012 – 2013.

Con riferimento al D.Lgs. 155/2010 e s.m.i., Appendice III, il calcolo dell'errore relativo ER sui valori medi annui per ogni stazione, si esprime come differenza percentuale rispetto al valore limite (VL) tra la media annuale osservata (O) e quella misurata (M):

$$ER = \frac{|O - M|}{VL}$$

Ai fini della valutazione delle prestazioni del sistema hanno maggiore peso le stazioni di misura non influenzate da fonti locali caratteristiche dell'inquinante in esame, ovvero stazioni aventi una rappresentatività spaziale pari a quelle di fondo. Il modello impiegato nel presente studio, infatti, non tiene conto degli effetti locali quali, ad esempio, per le emissioni da traffico veicolare, l'effetto dovuto agli edifici del contesto urbano, che se ubicati in maniera molto ravvicinata, creano veri e propri canyon che rallentano la dispersione degli inquinanti, creando dei fenomeni locali di accumulo.

4.1 SO₂ – Biossido di zolfo

La tabella riporta il confronto tra la media annuale calcolata dalle misure svolte nel triennio 2011-2013, la media annuale simulata e i valori dell'errore relativo ER espressi in termini percentuali in riferimento al valore limite (20 µg/m³ - livello critico annuale per la protezione della vegetazione).

Stazione di misura	Tipologia stazione ⁵	SO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	ER%
		Osservati	Simulati	
Quiliano	FS	4.3**	1.3	15
Varaldo	FU	7.6	8.9	6
Vado Ligure	TU	6.5	1.3	26
San Genesio – Vado L.*	IS	3.1	3.8	3
Voze - Noli*	FR	2.4	0.3	10

*Campagne di misura 2013 – 2014

**Dati disponibili 2013 – 2014.

Tabella 8: SO₂ - Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.

Nel diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale del Biossido di zolfo (**Grafico 12**) sono stati riportati in ordinata i valori simulati e in ascissa le osservazioni. Il diagramma fa riferimento alle stazioni riportate nella **Tabella 8**.

Le linee continue color verde fanno riferimento al valore al livello critico per la protezione della vegetazione e degli ecosistemi, le linee tratteggiate in rosso rappresentano l'errore relativo considerando il 30% del valore limite come massima incertezza. I risultati mostrano un buon accordo per tutte le stazioni.

⁵Legenda:

FU: Fondo – Urbana

FS: Fondo – Suburbana

FR: Fondo – Rurale

TU: Traffico – Urbana

IS: Industriale – Suburbana

Inoltre è opportuno ricordare che nelle stazioni in esame non sono rispettati i criteri di ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente ai fini della protezione della vegetazione e degli ecosistemi.

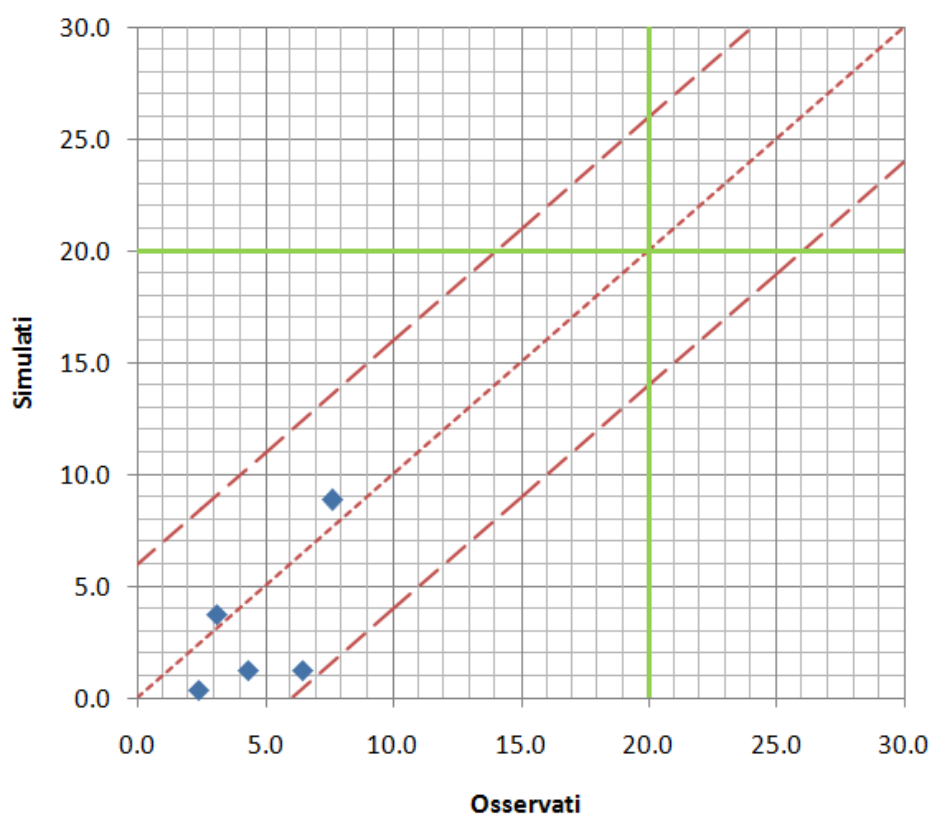


Grafico 12: Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale dell' SO_2 .

4.2 NO_x – Ossidi di azoto

La tabella riporta il confronto tra la media annuale calcolata dalle misure svolte nel 2013, la media annuale simulata e i valori dell'errore relativo ER espressi in termini percentuali in riferimento al valore limite (30 µg/m³ - livello critico annuale per la protezione della vegetazione).

Stazione	Tipologia stazione ⁶	NO _x come NO ₂ (µg/m ³)	NO _x come NO ₂ (µg/m ³)	ER %
		Osservati	Simulati	
Quiliano	FS	32	9	75
Varaldo	FU	30	33	9
Vado Ligure	TU	65	24	137
Corso Ricci	TU	73	32	134

Tabella 9: NO_x- Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.

Nel diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale degli Ossidi di azoto (**Grafico 13**) sono stati riportati in ordinata i valori simulati e in ascissa le osservazioni. Il diagramma fa riferimento alle stazioni riportate nella **Tabella 9**.

Le linee continue color verde fanno riferimento al valore al livello critico per la protezione della vegetazione e degli ecosistemi, le linee tratteggiate in rosso rappresentano l'errore relativo considerando il 30% del valore limite come massima incertezza. I risultati mostrano un buon accordo sulla stazione di Varaldo (FU), mentre per le altre stazioni si osserva un errore superiore al 30%, in quanto queste stazioni sono fortemente influenzate dalle situazioni locali. In particolare Vado Ligure e Corso Ricci sono stazioni urbane fortemente influenzate dal traffico veicolare locale e dal tessuto urbano fitto, situazioni che vengono sottostimate dal modello. Diversamente interpretabile è la sottostima del modello per la stazione di Quiliano, che potrebbe essere imputabile sia ad effetti orografici, sia al contributo locale delle sorgenti emmissive.

⁶Legenda:

FU: Fondo – Urbana

FS: Fondo – Suburbana

TU: Traffico – Urbana

Inoltre è opportuno ricordare che nelle stazioni in esame non sono rispettati i criteri di ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente ai fini della protezione della vegetazione e degli ecosistemi.

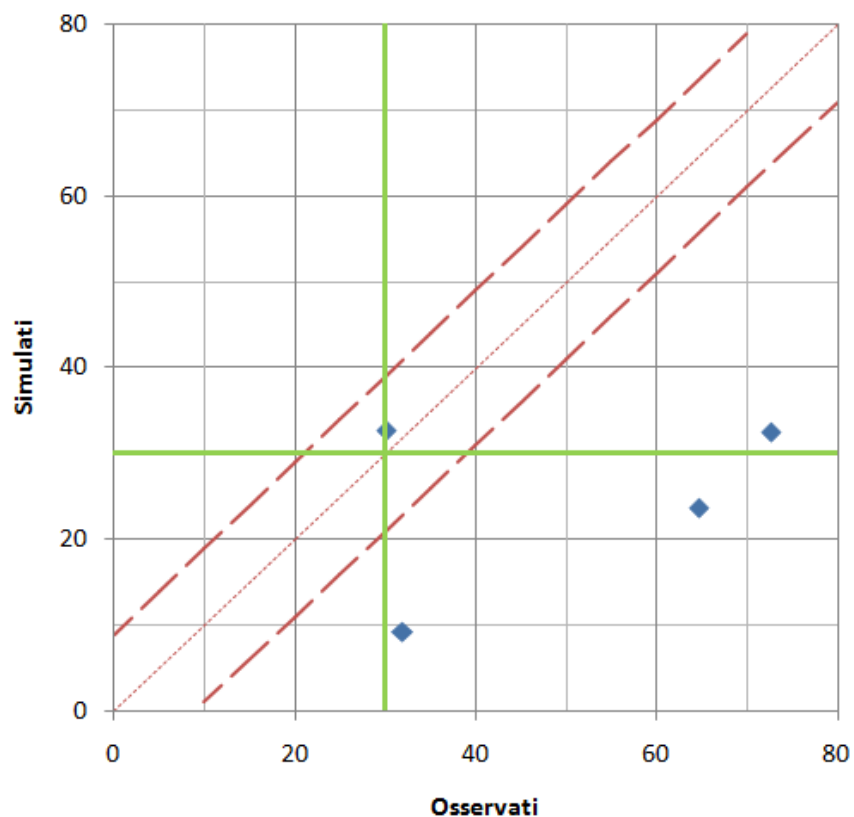


Grafico 13: Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale degli NO_x espressi come NO_2 .

4.3 CO – Monossido di carbonio

Il Monossido di carbonio è un inquinante tipicamente da traffico e le uniche due stazioni che misurano tale parametro nell'area di studio sono Corso Ricci (TU) e Albisola Superiore (TU), che pertanto risentono degli effetti locali di tale tipologia di fonte inquinante.

In **Tabella 10** si riportano le medie annuali calcolate con le misure 2011 -2012 - 2013 e i dati simulati.

Stazione di misura	Tipologia stazione ⁷	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		Osservati	Simulati
Albisola Superiore	TU	550	58
Corso Ricci	TU	700	82

Tabella 10: Confronto tra la media annuale osservata e simulata.

Per tale parametro non è possibile valutare le prestazioni del sistema sulla media annuale, in quanto non esiste un valore limite riferito a tale indicatore.

Il valore limite del Monossido di carbonio (massima media giornaliera su otto ore nell'anno civile – $10 \text{ mg}/\text{m}^3$) viene ampiamente rispettato in tutta la regione: il Monossido di carbonio non risulta essere un inquinante critico. Nella fattispecie i valori calcolati per tale parametro risultano essere di un ordine di grandezza inferiore rispetto al valore limite. Ad avvalorare questa affermazione risulta significativa la seguente **Tabella 10**, ove sono riportati i valori della massima media giornaliera su otto ore nell'anno civile di CO per il triennio 2012 – 2014:

Stazione di misura	Valore massimo delle medie sulle 8 ore (mg/m^3)		
	2012	2013	2014
Albisola Superiore	1.5	1.5	1.3
Corso Ricci	1.8	2.1	1.7

Tabella 11: Valori della massima media giornaliera su otto ore nell'anno civile di CO per il triennio 2012 – 2014.

⁷Legenda:

TU: Traffico – Urbana

4.4 C₆H₆—Benzene

La tabella riporta il confronto tra la media annuale calcolata dalle misure svolte nel 2013, la media annuale simulata e i valori dell'errore relativo ER espressi in termini percentuali in riferimento al valore limite (5 µg/m³ - media annua).

Stazione	Tipologia stazione ⁸	Benzene (µg/m ³)	Benzene (µg/m ³)	ER%
		Osservati	Simulati	
<i>Quiliano</i>	FS	0.9**	0.1	14
<i>Varaldo</i>	FU	0.5**	0.4	2
<i>Vado Ligure</i>	TU	2.8	0.3	49
<i>Albisola Superiore</i>	TU	1.5	0.3	23
<i>Corso Ricci</i>	TU	2.7	0.5	45
<i>San Genesio – Vado L.*</i>	IS	0.6	0.1	9
<i>Voze - Noli*</i>	FR	0.2	0.0	4

*Campagne di misura 2013 – 2014

**Dati disponibili 2013 – 2014.

Tabella 12: C₆H₆ -Confronto tra la media annuale osservata, simulata e l'ER%.

Nel diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale del Benzene (**Grafico 14**) sono stati riportati in ordinata i valori simulati e in ascissa le osservazioni. Il diagramma fa riferimento alle stazioni riportate nella **Tabella 12**.

Le linee continue color verde fanno riferimento al valore limite, le linee tratteggiate in rosso rappresentano l'errore relativo considerando il 50% del valore limite come massima incertezza. I risultati mostrano un buon accordo per tutte le stazioni non da traffico, mentre per queste ultime si ottengono valori simulati piuttosto distanti dai valori misurati, per gli stessi motivi esposti nel precedente paragrafo, ma che comunque rientrano nell'incertezza massima consentita dal D.Lgs. 155/2010 e s.m.i..

⁸Legenda:

FU: Fondo – Urbana

FS: Fondo – Suburbana

FR: Fondo – Rurale

TU: Traffico – Urbana

IS: Industriale – Suburbana

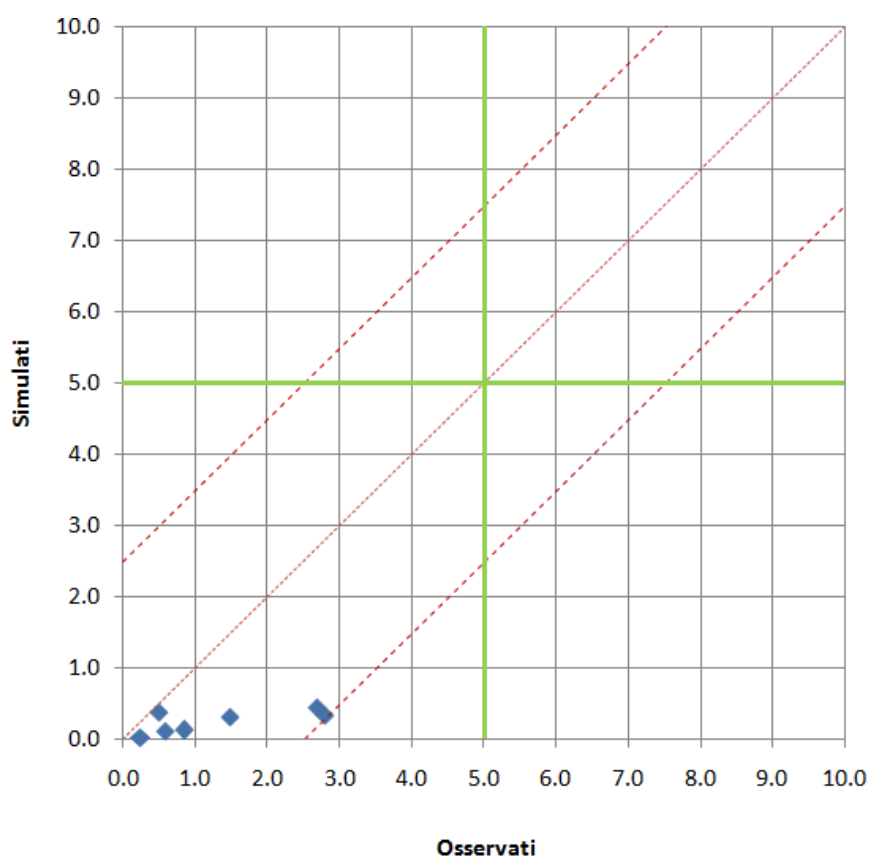


Grafico 14: Diagramma a dispersione osservato-simulato per la media annuale del Benzene.

Conclusioni

La modellazione delle emissioni in atmosfera nell'area di Savona, per ottenere mappe multi-sorgente, relative agli inquinanti Benzene, CO, NO_x e SO₂ al livello del suolo, riferite all'anno meteorologico 2013 ed ai dati emissivi 2011 (estratti per la maggior parte dei casi dall'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera), ha visto la simulazione di sorgenti puntuali, lineari, areali e diffuse, su un dominio di calcolo di 50 km x 40 km, con griglia dei recettori interna a tale dominio di 20 km x 26 km e avente una risoluzione variabile (200 m sul territorio - 1000 m sul mare). Le simulazioni sono state compiute attraverso la catena modellistica MOLOCH – ADMS, messa a punto da ARPAL.

Il setup del modello ha consentito di effettuare simulazioni Long Term di un intero anno, a step di calcolo orari, dalle quali è stato possibile determinare le concentrazioni al suolo degli inquinanti di interesse (Benzene, CO, NO_x e SO₂) espresse come medie annuali in µg/m³.

Tale attività progettuale ha permesso di ricostruire un quadro integrato delle pressioni ambientali delle principali sorgenti emissive, che insistono sul territorio di Savona, Vado Ligure e aree limitrofe.

Nella fattispecie, al fine di discriminare i diversi impatti emissivi all'interno dell'area di studio, sono state elaborate mappe multi – sorgente e specifiche per le attività portuali, il traffico veicolare, i riscaldamento civili e le attività industriali. Le mappe della sola impronta di ricaduta della centrale termoelettrica sono state ottenute mediante il *Programma di monitoraggio e controllo della centrale termoelettrica Tirreno Power S.p.A. di Vado Ligure - D.G.R. n° 1106 del 14.9.2012*.

Le mappe multi - sorgente mostrano che le massime concentrazioni al suolo delle medie annuali di SO₂ e CO vengono raggiunte nel centro di Savona, rispettivamente con valori al di sotto dei 15 µg/m³ e superiori ai 100 µg/m³. Per l'SO₂, inoltre, si distinguono l'impronta della centrale termoelettrica Tirreno Power e dei centri abitati nell'area in esame, mentre per il CO si distinguono le principali direttrici stradali. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo raggiungono i valori massimi nell'area limitrofa alla ditta Sarpom (con valori massimi di circa 6 µg/m³) e valori apprezzabili nel centro di Savona; mentre per gli

NO_x vengono raggiunte concentrazioni al suolo medie annue massime superiori ai 50 µg/m³ nell'area portuale di Vado Ligure - Bergeggi e valori particolarmente elevati in prossimità delle principali direttrici stradali e dei centri abitati.

Dalle singole mappe specifiche, ottenute per i settori antropici più impattanti si osserva che:

- le mappe dei porti mostrano che l'impatto medio annuo del porto di Vado Ligure – Bergeggi è superiore a quello del porto di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo non risultano essere apprezzabili per il settore in esame, mentre l'apporto di SO₂ raggiunge concentrazioni al suolo medie annue massime di circa 5 µg/m³, al di sopra dei 50 µg/m³ per gli NO_x e di circa 7.5 µg/m³ per il CO;
- le mappe del traffico veicolare mostrano che l'impatto maggiore si concentra nel centro di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di SO₂ al suolo non risultano essere rilevanti per il settore in esame (< 0.25 µg/m³), mentre l'apporto di NO_x raggiunge concentrazioni al suolo medie annue massime di circa 40 µg/m³ nel centro di Savona e fino a 30 µg/m³ lungo le strade urbane, extraurbane e autostrade. Per il CO, inquinante tipicamente da traffico, si registrano valori simulati ben oltre i 100 µg/m³ nel centro di Savona e lungo le direttrici principali. Per il Benzene si ottengono valori massimi, sempre nel centro di Savona, pari a circa 0.75 µg/m³.
- le mappe dei riscaldamenti civili mostrano che l'impatto maggiore si concentra nel centro di Savona, per tutti gli inquinanti. Le concentrazioni medie annue di Benzene al suolo non risultano essere rilevanti per il settore in esame (< 0.25 µg/m³), mentre per gli NO_x si raggiungono concentrazioni al suolo medie annue massime di circa 7.5 µg/m³, per il CO di circa 20 µg/m³ e per l'SO₂ pari a circa 15 µg/m³; per tutti gli inquinanti i massimi si riscontrano nel centro di Savona e nei centri abitati dell'area in esame;
- le mappe delle attività industriali mostrano che la centrale termoelettrica Tirreno Power per quanto concerne l'SO₂, mostra un'impronta di ricaduta caratteristica se confrontata con le altre attività presenti nell'area in esame. La totalità delle attività industriali dell'area savonese porta ad un massimo di concentrazioni al suolo

inferiore a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona di Vado Ligure – Bergeggi, mentre se si considerano tutte le attività eccetto la centrale termoelettrica Tirreno Power si raggiungono valori massimi di concentrazioni al suolo inferiori a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche per gli NO_x si osserva un'impronta caratteristica della centrale termoelettrica Tirreno Power, questa volta però si osservano massimi di concentrazioni al suolo inferiore a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia in presenza di tutte le attività industriali dell'area di Vado Ligure, che in assenza della sola centrale termoelettrica Tirreno Power. Per il CO valgono le stesse considerazioni fatte per gli NO_x , ma in questo caso i massimi di concentrazioni al suolo risultano essere inferiori a $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le concentrazioni al suolo medie annue di Benzene, infine, raggiungono i valori massimi nell'area limitrofa alla ditta Sarpom (con valori massimi di circa $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dall'analisi delle ricadute al suolo degli NO_x , CO e Benzene, nelle postazioni di monitoraggio presenti nell'area di studio, scelte arbitrariamente come recettori esemplificativi, si osserva che per tutti i punti, eccetto San Genesio e Bergeggi, prevale il contributo del traffico veicolare. Per San Genesio gli NO_x , infatti, provengono in maggior misura dalle attività industriali presenti nell'area di studio, mentre per Bergeggi dalle attività portuali. Il maggior apporto di SO_2 in aria ambiente, invece, viene fornito dal macrosettore dei riscaldamento civili per tutte le postazioni, eccetto Quiliano, Monte Ciuto, Bergeggi e Termine, dove il contributo della centrale termoelettrica Tirreno Power prevale. Si sottolinea comunque che, nella zona di studio, soltanto gli NO_x risultano essere un parametro critico, mentre le concentrazioni in aria ambiente di SO_2 , CO e Benzene risultano al di sotto dei rispettivi valori limite di legge.

Si ricorda, inoltre, che le stazioni di Monte Ciuto, Bergeggi e Termine appartengono alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria dell'azienda Tirreno Power, pertanto i dati misurati non sono stati validati da ARPAL.

Per le mappe multi-sorgente è stato possibile effettuare l'analisi delle prestazioni del sistema, avvalendosi dei dati rilevati dalla Rete Regionale di Monitoraggio di Qualità dell'Aria e delle campagne di misura effettuate da ARPAL con il mezzo mobile. Da tale analisi si riscontra che l'incertezza di modellazione rientra all'interno delle percentuali previste dal D.Lgs.155/2010 e s.m.i. per la maggior parte delle stazioni e degli inquinanti, ad eccezione degli NO_x (v. Capitolo 4 – Analisi delle prestazioni del modello).

Al fine di utilizzare correttamente gli output forniti con il presente lavoro, va sottolineata l'esistenza di numerose incertezze, come quelle intrinseche alla simulazione numerica di fenomeni così complessi come quelli atmosferici, quelle di natura statistica (legate alla meteorologia) e quella associata alla risoluzione delle informazioni emissive, che non è inferiore al chilometro.

Pertanto nei prossimi mesi, nell'ambito dell'attività di supporto al gruppo di lavoro di IST nell'interpretazione e utilizzo dei risultati ottenuti, il gruppo di lavoro di ARPAL si rende disponibile a studiare la fattibilità di post-elaborazioni che integrino la variabilità dei dati di qualità dell'aria simulati e misurati.

Infine si vuole evidenziare che nell'ambito del previsto sviluppo del sistema modellistico di valutazione della qualità dell'aria a scala regionale (su incarico di Regione) e della ulteriore revisione della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria, ARPAL sarà in possesso di ulteriori strumenti per la verifica e l'aggiornamento dei risultati del presente lavoro, nonché la possibilità di valutare il contributo degli inquinanti secondari.