

Allegato 4.2.1.2/I



Centrale termoelettrica
di Porto Tolle



Cliente Enel Produzione

Oggetto Centrale di Porto Tolle: approfondimenti modellistici dispersione in atmosfera

Ordine

Note

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

PUBBLICATO A5023405 (PAD - 653220)

N. pagine 34 **N. pagine fuori testo** 0

Data 20/05/2005

Elaborato Alessandrini Stefano (CESI-STA), Decimi Goffredo (CESI-STA)
A5023405 3837 AUT A5023405 3328 AUT

Verificato Stigliano Paolo Giuseppe (CESI-STA)
A5023405 4991 VER

Approvato Riva Giuseppe Maurizio (CESI-STA)
A5023405 3286 APP

Mod. RAPP v. 01

Indice

1	SOMMARIO.....	3
2	ASSETTO EMISSIVO.....	4
3	DESCRIZIONE DEL MODELLO UTILIZZATO.....	5
4	SIMULAZIONI MODELLISTICHE.....	7
4.1	Descrizione dei dati meteorologici utilizzati.....	7
4.2	Ricostruzione dei campi di vento.....	9
4.3	Simulazione del trasporto e della diffusione degli inquinanti.....	16

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	20.05.2005	A5023405	Prima emissione

1 SOMMARIO

Nell'ambito dello Studio di Impatto Ambientale relativo al progetto di trasformazione a carbone della centrale Enel Produzione di Porto Tolle sono stati condotti alcuni approfondimenti modellistici del trasporto e dispersione degli inquinanti emessi in atmosfera. In particolare, le analisi effettuate sono relative ad una analisi comparativa tra assetto attuale e assetto futuro della centrale, condotta su alcuni particolari episodi caratterizzati da condizioni meteorologiche che possono non essere correttamente descritte dagli usuali modelli di tipo gaussiano normalmente utilizzati negli Studi di Impatto Ambientale.

A questo scopo sono stati simulati due periodi di due giorni ciascuno il primo nella stagione invernale ed il secondo in quella estiva. Per entrambi i periodi è stato simulato il funzionamento della centrale sia nell'assetto attuale che in quello previsto per il futuro. Per la ricostruzione dei campi delle variabili meteorologiche è stato impiegato il modello MINERVE, mentre per la ricostruzione del trasporto e della diffusione degli inquinanti è stato impiegato il modello SPRAY. Entrambi i modelli sono descritti nel seguito. Nel rapporto vengono inoltre presentati i dati impiegati dai modelli ed i risultati prodotti dalle simulazioni condotte ovvero i campi di vento ed i campi di concentrazione al suolo degli inquinanti simulati.

2 ASSETTO EMISSIVO

La centrale di Porto Tolle nel suo assetto attuale è costituita da 4 gruppi termoelettrici da 660 MW funzionanti a olio combustibile denso. I prodotti della combustione delle 4 sezioni sono scaricati in atmosfera attraverso 1 ciminiera multiflusso di 250 metri di altezza. Le caratteristiche geometriche della ciminiera sono riportate nel prospetto seguente.

Situazione attuale

Sezione	Camino		Fumi		Emissioni mg/Nm ³ (*)		
	H (m)	d (m)	Portata tal quali (Nm ³ /h)	Temp. (°C)	SO ₂	NO _x	Polveri
PO1-4	250	4 X 5.8	4 X 2.000.000	140	400	200	50

(*) Valori riferiti ai fumi secchi e ad un tenore di ossigeno del 3%

Il progetto di conversione a carbone della centrale prevede l'installazione di quattro caldaie ultra supercritiche da 660 MW i cui prodotti della combustione verranno scaricati in atmosfera attraverso l'esistente ciminiera multiflusso. Il quadro emissivo della configurazione futura è riassunto nella tabella seguente.

Situazione futura

Sezione	Camino		Fumi		Emissioni mg/Nm ³ (*)		
	H (m)	d (m)	Portata tal quali (Nm ³ /h)	Temp. (°C)	SO ₂	NO _x	Polveri
PO1-4	250	4 X 5.8	4 X 2.100.000	90	200	100	30

(*) Valori riferiti ai fumi secchi e ad un tenore di ossigeno del 6%

Oltre ai dati caratterizzanti le emissioni l'input del modello di calcolo è completato dalla definizione del dominio di calcolo e dei dati meteorologici.

Il dominio di calcolo, scelto in base alle caratteristiche del sito ed al tipo di emissione, è costituito da un'area di lato pari a 25 km in direzione E-O e 25 km in direzione N-S. La disposizione del dominio di calcolo, e quindi delle figure contenenti i risultati delle simulazioni, è tale da far coincidere il nord geografico con la direzione verticale. La centrale è posta al centro rispetto alla verticale, mentre sull'asse orizzontale l'area considerata si estende per 20 km verso Ovest e 4 km verso Est dell'impianto per tener conto della conformazione della terraferma.

3 DESCRIZIONE DEL MODELLO UTILIZZATO

Le caratteristiche dell'area di indagine ed in particolare la presenza di una disomogeneità superficiale quale l'interfaccia terra-mare ed il possibile verificarsi di condizioni meteorologiche caratterizzate da regimi di brezza hanno indirizzato l'esecuzione di uno studio di approfondimento con un modello lagrangiano a particelle adatto a trattare situazioni meteorologiche quali quelle citate. Questa tipologia di modelli richiede tempi di calcolo decisamente superiori rispetto a quelli necessari per i modelli gaussiani e quindi con essi non è possibile effettuare simulazioni di lungo periodo finalizzate al calcolo ad esempio dei percentili annuali. Questi modelli, sfruttando una ricostruzione tridimensionale del campo di vento e di turbolenza atmosferica, sono però in grado di studiare con maggiore accuratezza la diffusione degli inquinanti in condizioni meteorologiche critiche, ad esempio l'interazione con l'orografia, situazioni di brezza, situazioni di calma di vento e accumulo degli inquinanti.

Nel nostro caso è stato scelto di effettuare questi approfondimenti con il modello Lagrangiano a particelle SPRAY (versione 2.1). Tale codice, sviluppato da ENEL-Ricerca (ora CESI) e validato in numerose situazioni (si veda Tinarelli et al. 1994), è stato recentemente consigliato anche da APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2000) nella recente *Guida alla scelta dei modelli di dispersione nella valutazione della qualità dell'aria*¹.

Nei modelli di questo tipo, la dispersione di una sostanza inquinante aeriforme è simulata attraverso il moto di un opportuno numero di pseudo-particelle, ognuna delle quali rappresenta una determinata porzione in massa della quantità emessa da una sorgente. La posizione di ogni particella nello spazio tridimensionale, rappresentata dalle coordinate X, Y e Z rispetto ad un sistema di riferimento cartesiano, viene definita integrando ad ogni passo temporale di discretizzazione (Δt modello) le seguenti equazioni:

$$X(t + \Delta t) = X(t) + U_x(t)\Delta t$$

$$Y(t + \Delta t) = Y(t) + U_y(t)\Delta t$$

$$Z(t + \Delta t) = Z(t) + U_z(t)\Delta t$$

Dove U_x , U_y e U_z sono le componenti cartesiane della velocità, date dalla somma di un valore medio ed una fluttuazione:

$$U_i(t) = \overline{U_i(t)} + U'_i(t) \quad \text{con } i = x, y, z$$

In questo modo viene simulato il moto in un flusso atmosferico, dovuto sia ad una velocità di trasporto $\overline{U_i(t)}$, il cosiddetto vento medio, che ad una ulteriore componente casuale $U'_i(t)$ in grado di riprodurre la dispersione determinata dal carattere statistico della turbolenza.

La concentrazione della sostanza emessa può essere calcolata attraverso il conteggio delle particelle in celle di un grigliato tridimensionale, definito in maniera appropriata per la simulazione. Ogni conteggio, effettuato ad istanti prefissati, costituisce un campionamento all'interno di un intervallo temporale, al termine del quale i diversi campionamenti vengono mediati per dare origine al valore di concentrazione in ogni cella.

Per quanto riguarda le fonti di emissione, non esistono limitazioni di principio nella struttura geometrica delle stesse gestite dal modello, rappresentate dalle regioni dello spazio dove vengono generate le particelle. Possono essere di tipo puntuale (ad esempio ciminiere), areali (superfici industriali od urbane) oppure lineari (tratti di strade), con dimensioni e localizzazione estremamente precise, libere da vincoli legati a strutture di grigliato come avviene ad esempio nei modelli di tipo Euleriano

Il modello SPRAY necessita dei seguenti input per pilotare una simulazione di dispersione:

- campi tridimensionali di vento. Sono forniti da un modello meteorologico e vengono utilizzati per simulare il trasporto medio delle particelle. Ogni particella viene spostata con un vento medio determinato dall'interpolazione spazio-temporale effettuata nell'istante e nel punto dove si viene a trovare. La regione tridimensionale dello spazio dove sono definiti questi campi costituisce il dominio di calcolo della simulazione;

¹ <http://www.sinanet.apat.it/site/it-IT/>

- dati di turbolenza atmosferica. Sono forniti dal codice TURKEY con frequenza temporale opportuna sul grigliato di interesse e vengono utilizzati per simulare la componente di moto casuale per la diffusione delle particelle. Ogni particella viene spostata in funzione della dispersione turbolenta presente nell'istante e nel punto dove si viene a trovare. Oltre a questi dati, il modello necessita di una matrice di dati di uso del suolo, su un grigliato orizzontale corrispondente a quello dei dati di vento, in grado di descrivere la non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare;
- dati relativi alle emissioni, costituiti da una sequenza di informazioni sulla loro geometria e localizzazione spaziale, sulle quantità in massa emesse per ciascuna delle specie inquinanti prese in considerazione nella simulazione e sul numero di particelle da utilizzare. Ad ogni particella viene attribuita una massa per ogni specie, dipendente dalle caratteristiche della sorgente nel momento in cui viene emessa, simulando in questo modo condizioni non stazionarie. Le particelle vengono emesse con una frequenza determinata (Δt emissione) non necessariamente identica al passo temporale del modello con il quale vengono integrate le equazioni di moto;
- parametri di 'run' in grado di pilotare la simulazione. Tra i principali vi sono l'intervallo di tempo della simulazione, la durata degli step temporali, la frequenza di salvataggio delle particelle, le caratteristiche del grigliato di concentrazioni e le modalità per il calcolo e il salvataggio di queste ultime.

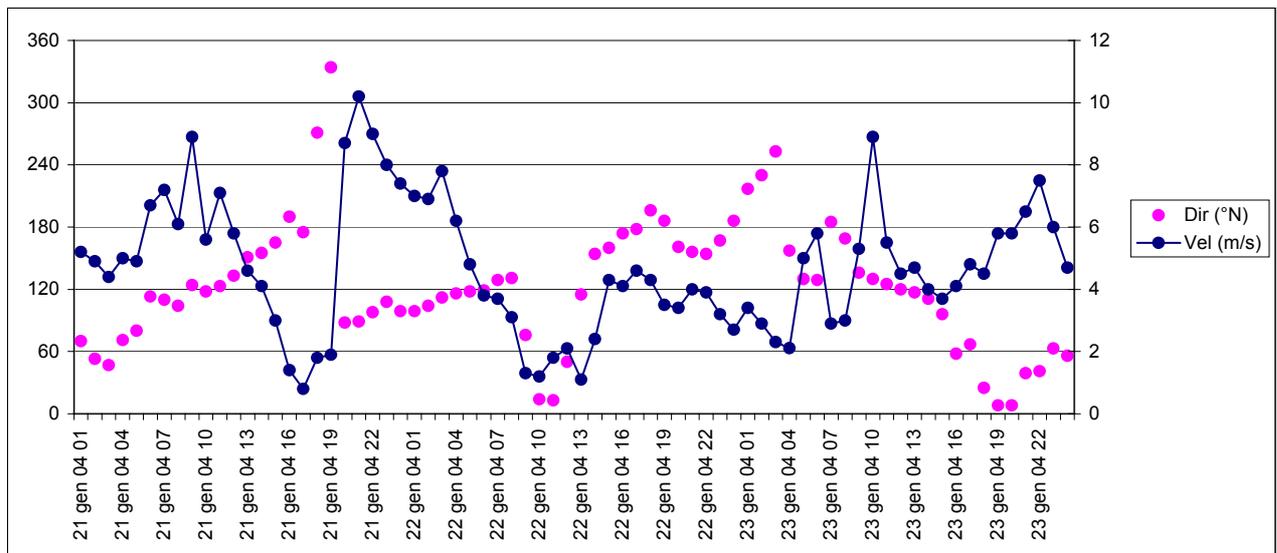
4 SIMULAZIONI MODELLISTICHE

4.1 Descrizione dei dati meteorologici utilizzati

La valutazione delle concentrazioni degli inquinanti in aria sul breve periodo (medie orarie e medie giornaliere) è stata effettuata per mezzo del codice SPRAY analizzando situazioni meteorologiche particolari, che possono risultare critiche per l'accumulo di inquinanti in prossimità del suolo. Fra queste situazioni vi sono quelle invernali/autunnali caratterizzate da calma di vento e forte stabilità atmosferica e , quelle soleggiate estive/primaverili con convezione e venti deboli che seguono un regime di brezza. Questi casi corrispondono solitamente a periodi di tempo stabile con alta pressione.

Per la scelta dei periodi da analizzare si sono presi in considerazione i dati rilevati dalla stazione meteorologica posta nei pressi della centrale di Porto Tolle durante l'anno 2004.

E' stato analizzato l'andamento della pressione e della direzione e velocità del vento misurate dalla stazione meteorologica durante il 2004. Da questa analisi sono stati individuati due periodi, uno invernale, dal 21 al 23 Gennaio, ed uno estivo, dal 15 al 17 Luglio, entrambi caratterizzati da situazioni di vento debole e a livello sinottico da un campo di alta pressione. Le giornate del 21 Gennaio e 15 Luglio sono state utilizzate solo come periodi di "Start up" del modello, di conseguenza non sono presentati i relativi valori di concentrazione ottenuti. Di seguito vengono presentati gli andamenti di alcune variabili meteorologiche misurate dalla stazione meteorologica della centrale di Porto Tolle.



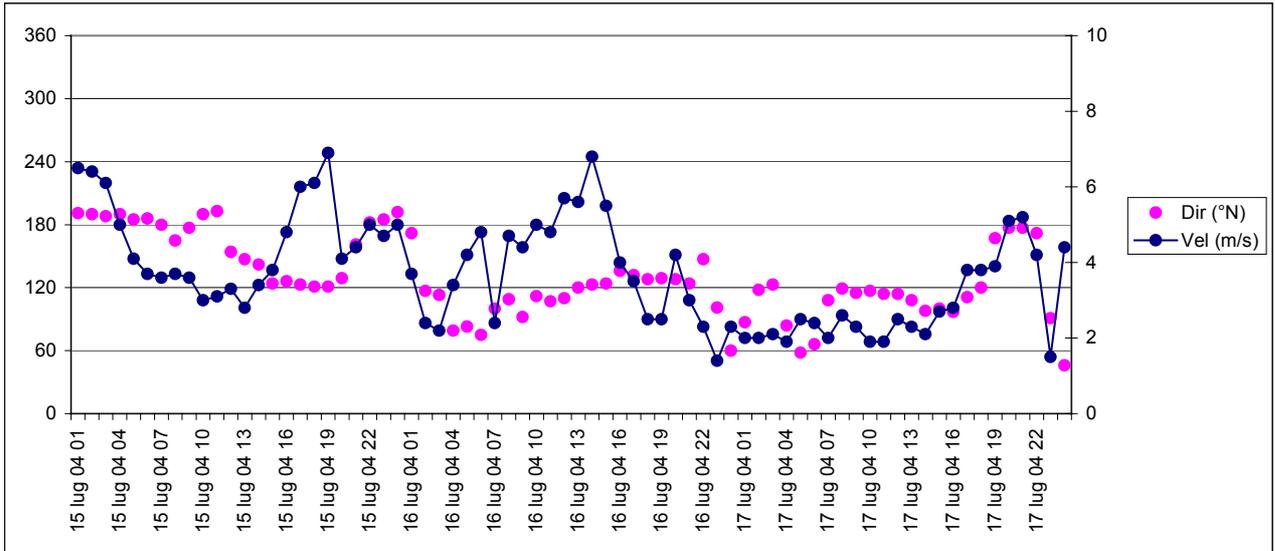
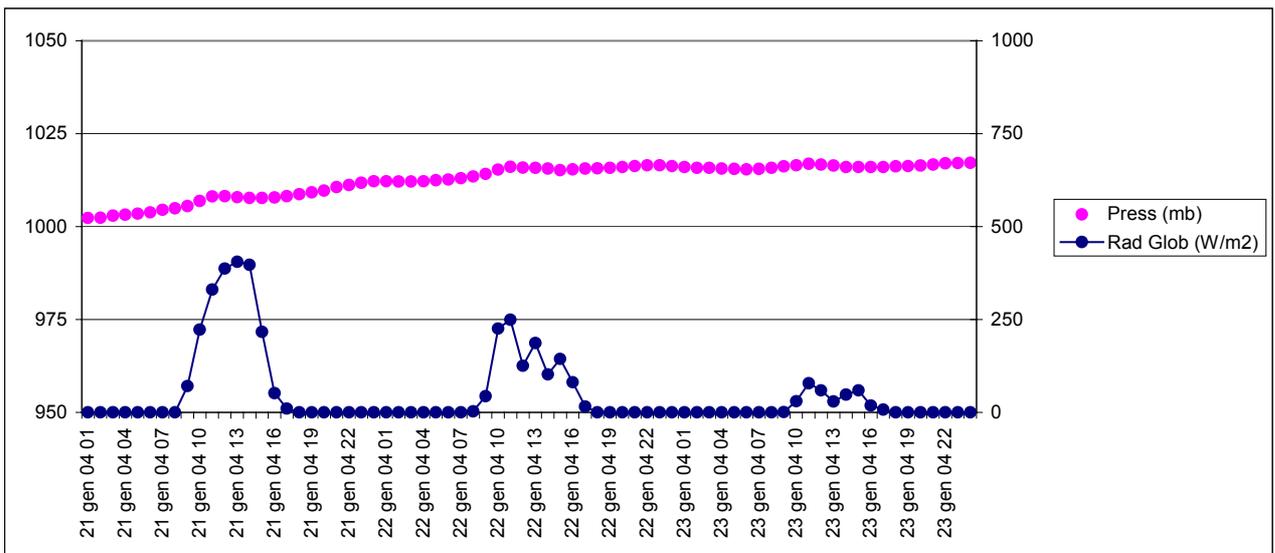


Figura 1 - Direzione (asse a sinistra) e velocità del vento (asse a destra) misurate nei due periodi nella stazione di Porto Tolle



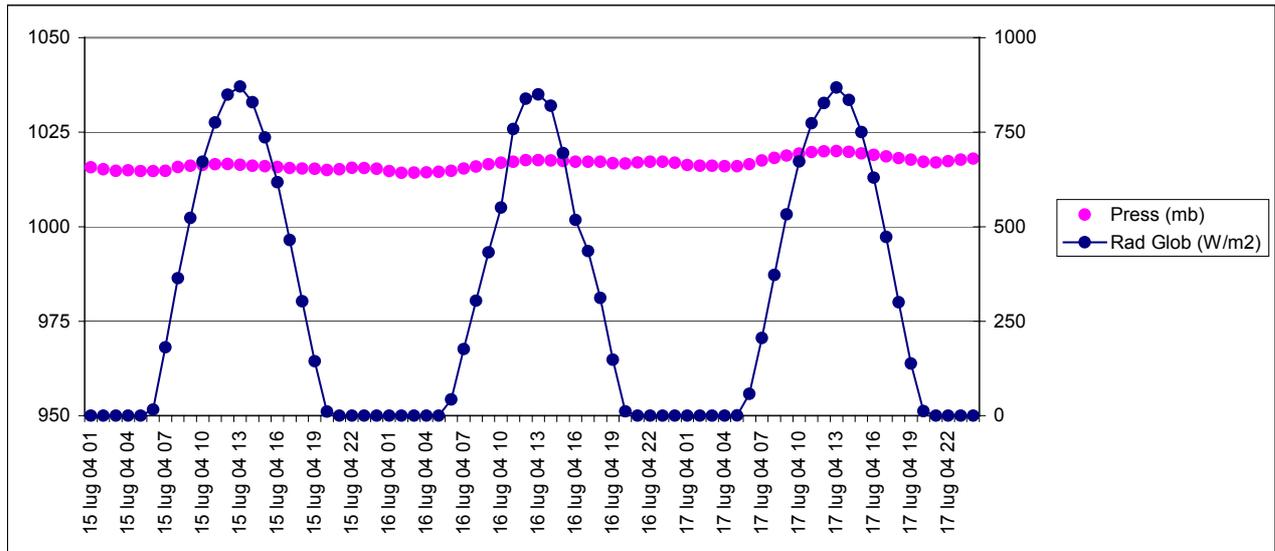


Figura 2 - Pressione (asse a sinistra) e radiazione solare globale (asse a destra) misurate nei due periodi nella stazione di Porto Tolle

Nel periodo invernale si ha una situazione di alta pressione con valori intorno ai 1015 hPa dove l'intensità del vento assume valori fra 1 e 5 m/s. La direzione del vento è variabile con una prevalenza di provenienza dai settori orientali, quindi diretto verso la terra ferma.

Durante le giornate di Luglio si hanno elevati valori di radiazione solare con valori di pressione attorno ai 1015 hPa. Questi dati denotano situazioni di bel tempo che innesca il fenomeno della brezza che porta durante le ore diurne ad un aumento della velocità del vento che raggiunge valori di circa 5-7 m/s e con provenienza prevalentemente dai settori orientali. Per quanto riguarda le ricadute degli inquinanti al suolo si può osservare che:

- Durante le ore notturne grazie al cielo sereno ed alla presenza di venti deboli si hanno condizioni di forte stabilità con poca turbolenza e quindi con una scarsa dispersione verticale delle sostanze emesse. Inoltre, l'innalzamento iniziale del pennacchio (plume rise), dovuto alla velocità e temperatura iniziale dei fumi, viene ridotto dalla presenza di un profilo stabile di temperatura, che si oppone ai moti verticali.
- Al momento della rotazione dei venti nelle ore in cui si attiva o cessa la brezza diurna, gli inquinanti emessi nelle ore precedenti possono "tornare indietro" sovrapponendosi a quelli emessi successivamente.

4.2 Ricostruzione dei campi di vento

I campi di vento utilizzati da SPRAY per simulare il trasporto degli inquinanti sono stati prodotti dal codice MINERVE (versione 5.0) partendo dai dati meteorologici misurati. Questi ultimi, insieme all'orografia, costituiscono gli input per il modello che, partendo da dati puntuali, tramite una serie di interpolazioni e aggiustamenti ricostruisce campi tridimensionali di vento e temperatura. MINERVE è un modello diagnostico ovvero non effettua previsioni nel tempo ma semplicemente estende a tutto il dominio i dati puntuali. Opera essenzialmente in due fasi:

- effettua l'interpolazione sul dominio numerico tridimensionale dei dati di vento forniti in input (dati al suolo e profili verticali ottenuti da misure o altri modelli)
- corregge il campo di vento interpolato in modo che venga verificato il più possibile il principio fluidodinamico di conservazione della massa

E' possibile effettuare l'interpolazione utilizzando differenti equazioni in base al tipo ed alla disposizione spaziale dei dati in ingresso.

Ad ogni intervallo di tempo meteorologico, tipicamente un'ora, è necessario fornire al modello almeno un profilo verticale di temperatura, uno di velocità e direzione del vento ed almeno un dato al suolo di velocità e direzione del vento. Ai fini del presente studio sono disponibili i dati orari della stazione meteorologica posta al suolo nei pressi dell'impianto e dell'anemometro posto sul camino della centrale alla quota di 240 m. Questi dati sono stati integrati da un profilo verticale di temperatura e vento estratto dai campi di analisi del modello del centro europeo ECMWF² di Reading in un punto griglia sito in prossimità del dominio di calcolo. Tali campi di analisi sono frutto non di previsioni ma di interpolazioni dei dati misurati e sono disponibili ogni 6 ore su un grigliato orizzontale con passo di circa 60 Km.

Questi ultimi dati sono stati utilizzati solo a quote superiori al livello barico 925 hPa (circa da 800 m in su) in quanto la bassa risoluzione (60 Km) del modello di analisi del centro europeo ECMWF di Reading lo rende poco attendibile nel fornire i venti in prossimità del suolo, influenzati da caratteristiche locali quali ad esempio l'orografia. Effettuando interpolazioni temporali sono stati ricostruiti profili verticali a cadenza oraria.

Di seguito vengono riportati il dominio di calcolo ed i campi di vento a 10 m di altezza sul suolo generati da MINERVE alle ore 6 ed alle ore 16 di tutte le giornate di simulazione.

Relativamente al periodo invernale (22 e 23 Gennaio) si osserva nel corso di entrambe le giornate una lieve rotazione del vento, prevalentemente da est, con valori bassi di intensità, intorno a 2 m/s. Il valore massimo simulato di intensità del vento sul dominio considerato si verifica il 22 Gennaio alle ore 2 con un valore di 5.15 m/s. Nel periodo estivo (16 e 17 Luglio) i valori di intensità del vento sono ancora bassi, intorno ai 2 - 3 m/s. La direzione di provenienza è ancora prevalentemente da Est. Il valore massimo di intensità si verifica il 16 Luglio alle 11 con 4 m/s.

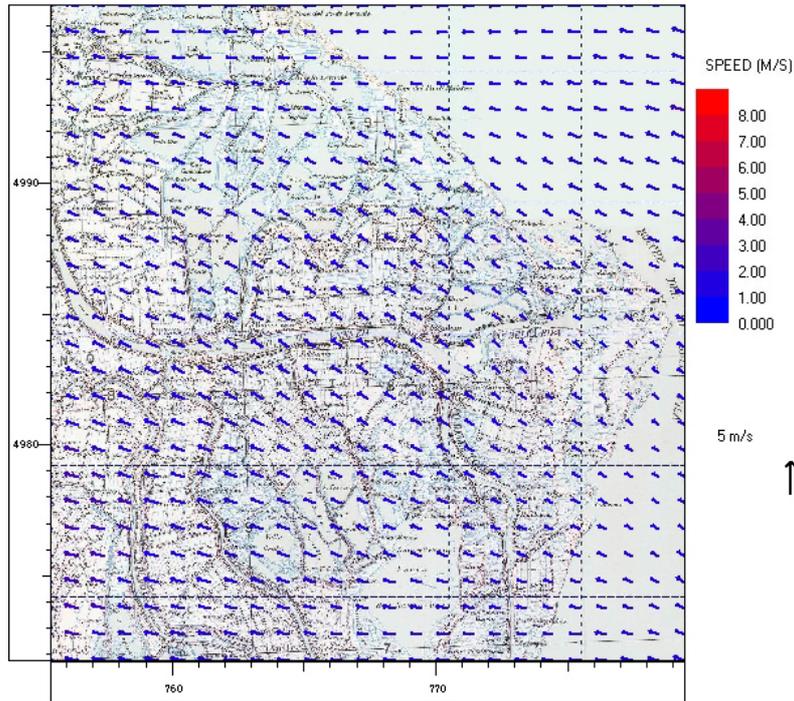
² ECMWF European Centre for Medium range Weather Forecast



Figura 3 - Il dominio di applicazione dei modelli MINERVE e SPRAY

A)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 12:07
 File: D:\PtolleSPRAY\InvernaleAtt\minerve21_23gen.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 22/01/04 06:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV, Quota: 10 m liv. 1, Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 0.86 max: 2.08



B)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 15:08
 File: D:\PtolleSPRAY\InvernaleAtt\minerve21_23gen.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 22/01/04 16:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV, Quota: 10 m liv. 1, Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 0.83 max: 1.79

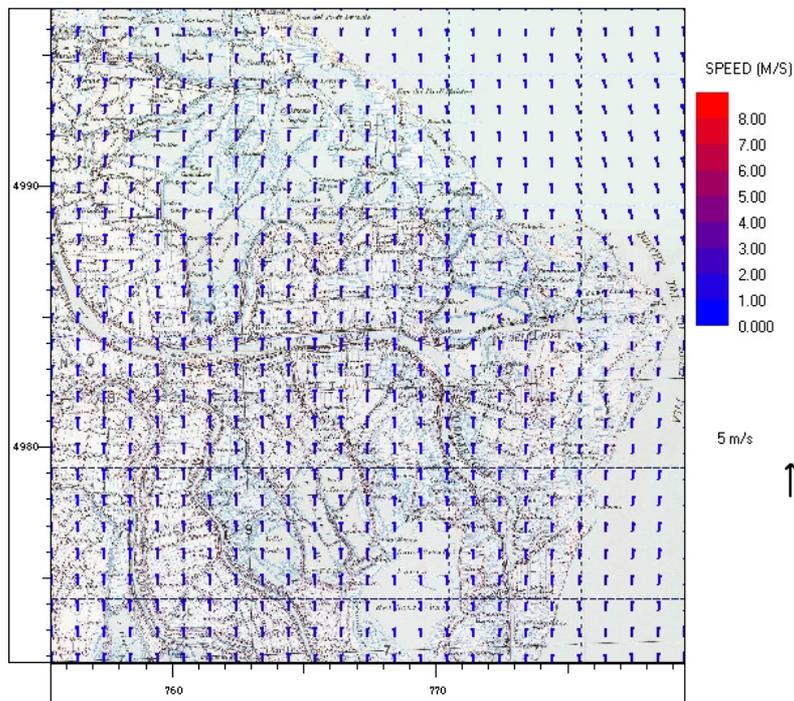
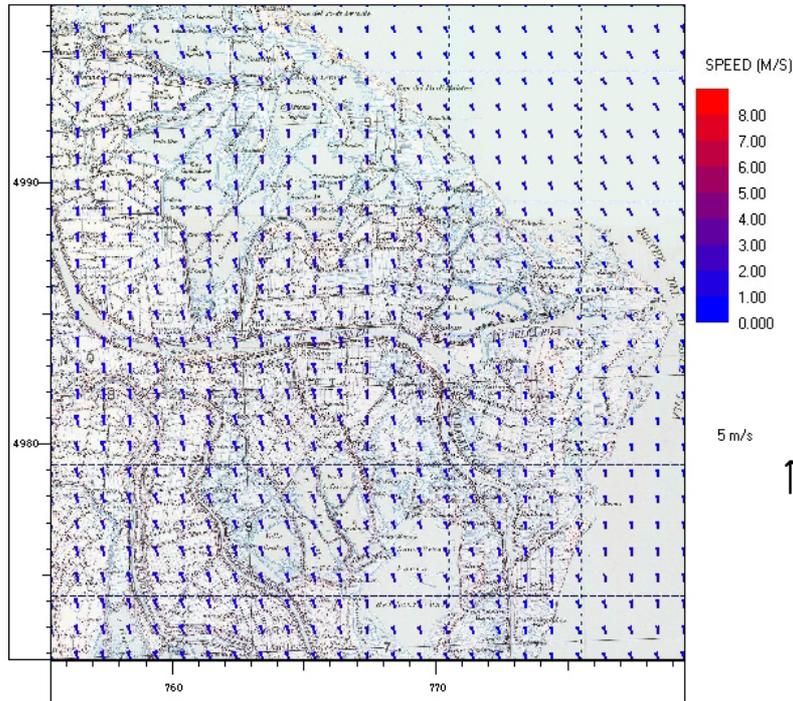


Figura 4 - Campi di vento a 10 m di altezza ore 6 (A) e ore 16 (B) del 22 Gennaio 2004; il colore dei vettori indica la classe di velocità (m/s) indicata nella scala a destra

A)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 12:07
 File: D:\PtolleSPRAY\InvernaleAtt\minerve21_23gen.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 23/01/04 06:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV. Quota: 10 m liv. 1. Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 0.62 max: 1.39



B)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 15:08
 File: D:\PtolleSPRAY\InvernaleAtt\minerve21_23gen.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 23/01/04 16:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV. Quota: 10 m liv. 1. Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 1.43 max: 2.90

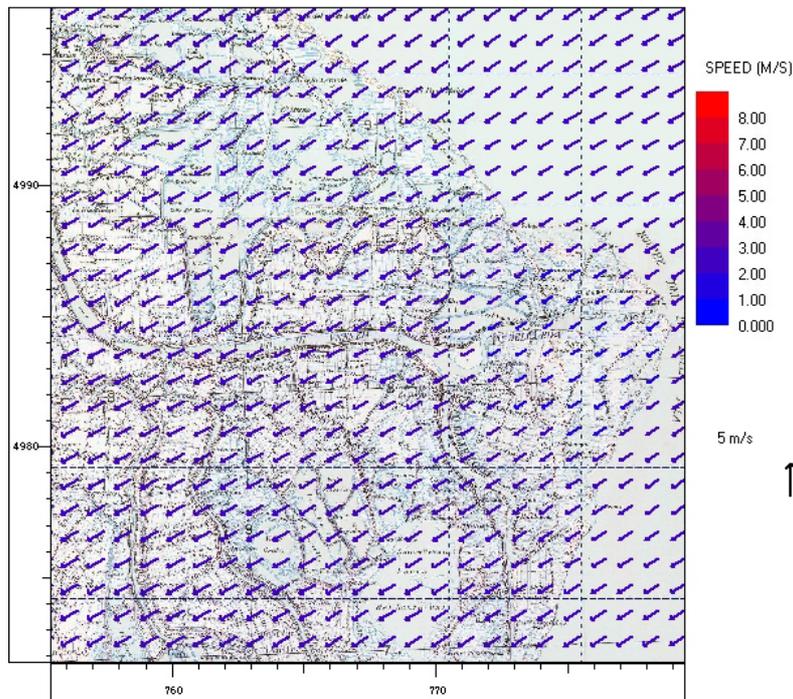
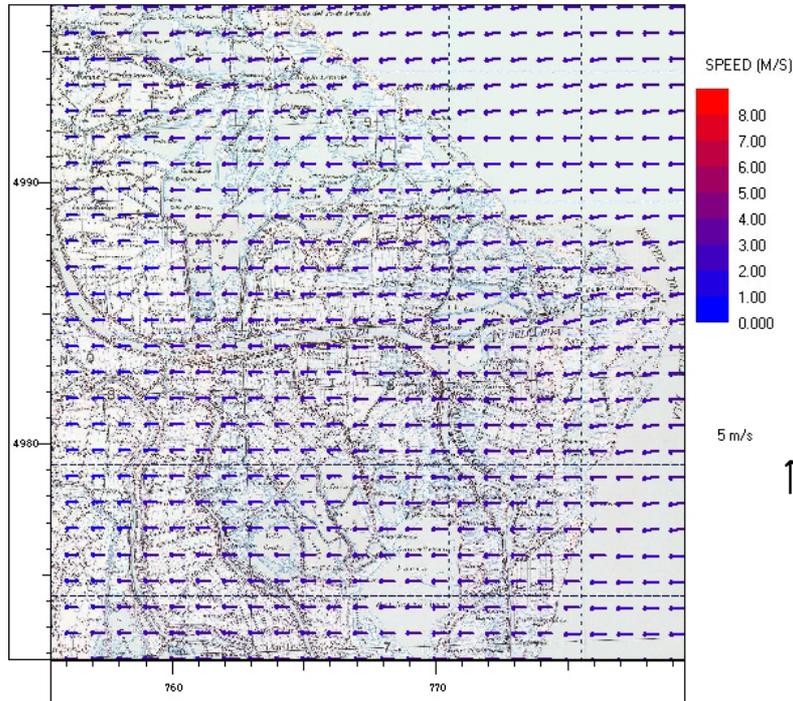


Figura 5 - Campi di vento a 10 m di altezza ore 6 (A) e ore 16 (B) del 23 Gennaio 2004; il colore dei vettori indica la classe di velocità (m/s) indicata nella scala a destra

A)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 12:08
 File: D:\PtolleSPRAY\EstivoAtt\minerve15_18lug.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 16/07/04 06:00
 angolo SW: (755.447 , 4971.76) NE: (779.447 , 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV. Quota: 10 m liv. 1. Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 1.78 max: 2.45



B)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 15:07
 File: D:\PtolleSPRAY\EstivoAtt\minerve15_18lug.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 16/07/04 16:00
 angolo SW: (755.447 , 4971.76) NE: (779.447 , 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV. Quota: 10 m liv. 1. Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 1.89 max: 2.36

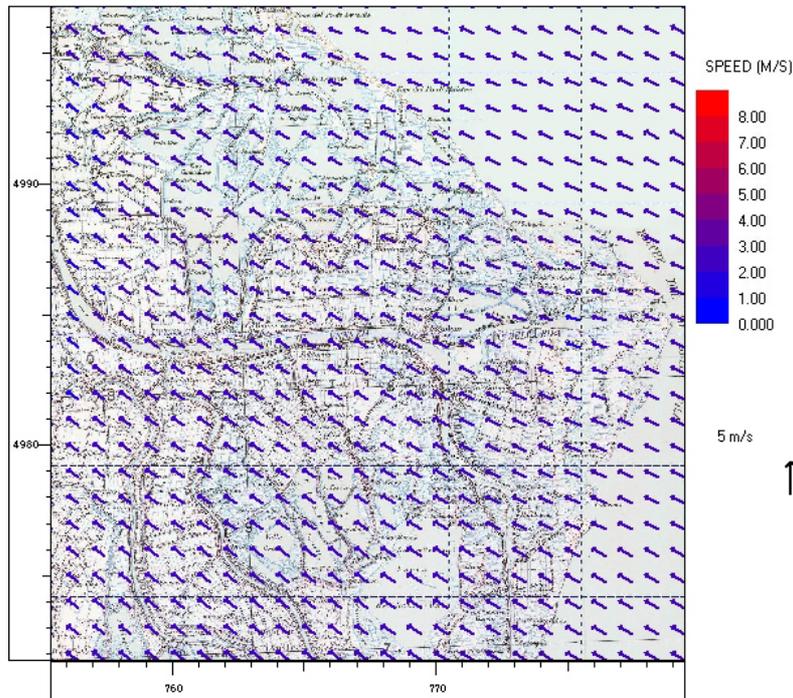
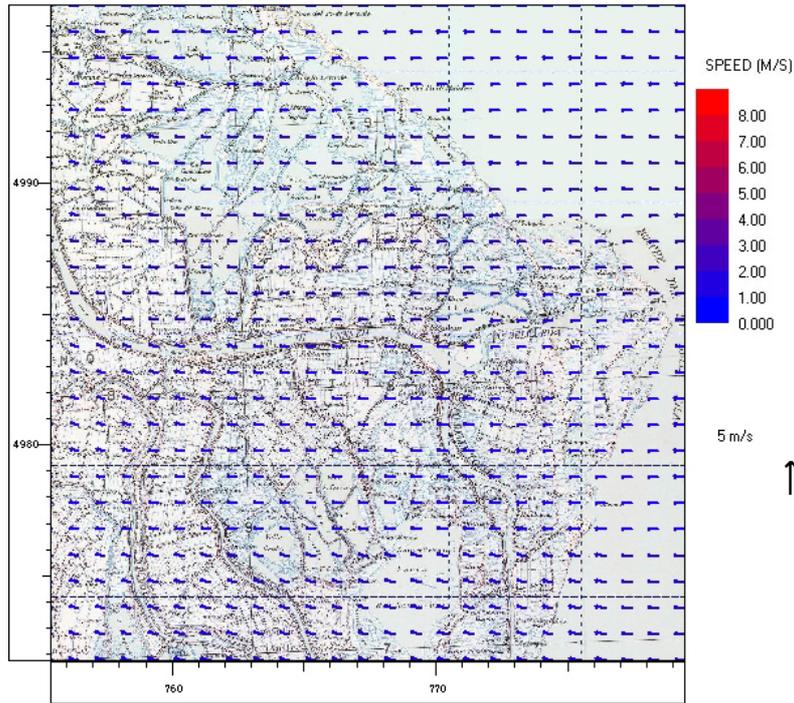


Figura 6 - Campi di vento a 10 m di altezza ore 6 (A) e ore 16 (B) del 16 Luglio 2004; il colore dei vettori indica la classe di velocità (m/s) indicata nella scala a destra

A)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 12:09
 File: D:\PtolleSPRAY\EstivoAtt\minerve15_18lug.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 17/07/04 06:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV, Quota: 10 m liv. 1, Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 1.25 max: 1.56



B)

Grafit - mercoledì 18 maggio 2005 ore 15:06
 File: D:\PtolleSPRAY\EstivoAtt\minerve15_18lug.adj
 Modello: MINERVE ora simulazione: 17/07/04 16:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x21 dx,dy: 500,500
 variabile: WIND FIELD (M/S) 3DV, Quota: 10 m liv. 1, Vettori colorati con SPEED (M/S) min: 2.48 max: 3.15

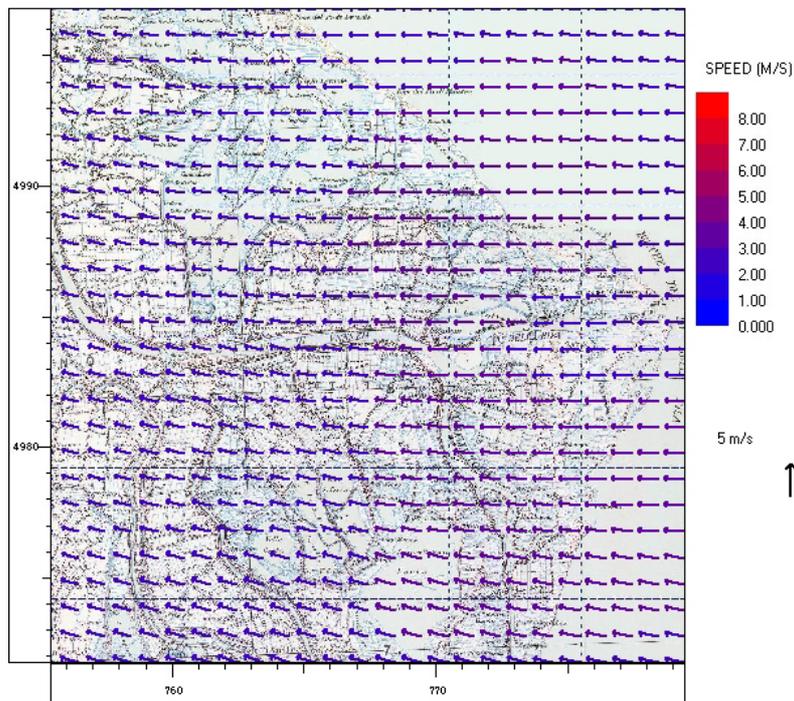


Figura 7 - Campi di vento a 10 m di altezza ore 6 (A) e ore 16 (B) del 17 Luglio 2004; il colore dei vettori indica la classe di velocità (m/s) indicata nella scala a destra

4.3 Simulazione del trasporto e della diffusione degli inquinanti

Le due simulazioni di 48 ore sia per il periodo invernale (dalle ore 0 del 22/01/04 alle 24 del 23/01/04) che per quello estivo (dalle ore 0 del 16/07/04 alle ore 24 del 17/07/04), sono state effettuate utilizzando le due configurazioni di emissione per le specie SO₂, NO_x e PM10 indicate nel paragrafo 2 (situazione attuale e situazione futura). Le concentrazioni sono calcolate ogni ora (come medie orarie) su un dominio di 25 x 25 Km di superficie e altezza di 5000 m. Tale dominio presenta una risoluzione orizzontale di 500 m e verticale, in prossimità del suolo, di 40 m. Di seguito sono presentati gli andamenti dei massimi di concentrazione al suolo, calcolati all'interno del dominio, per il periodo invernale.

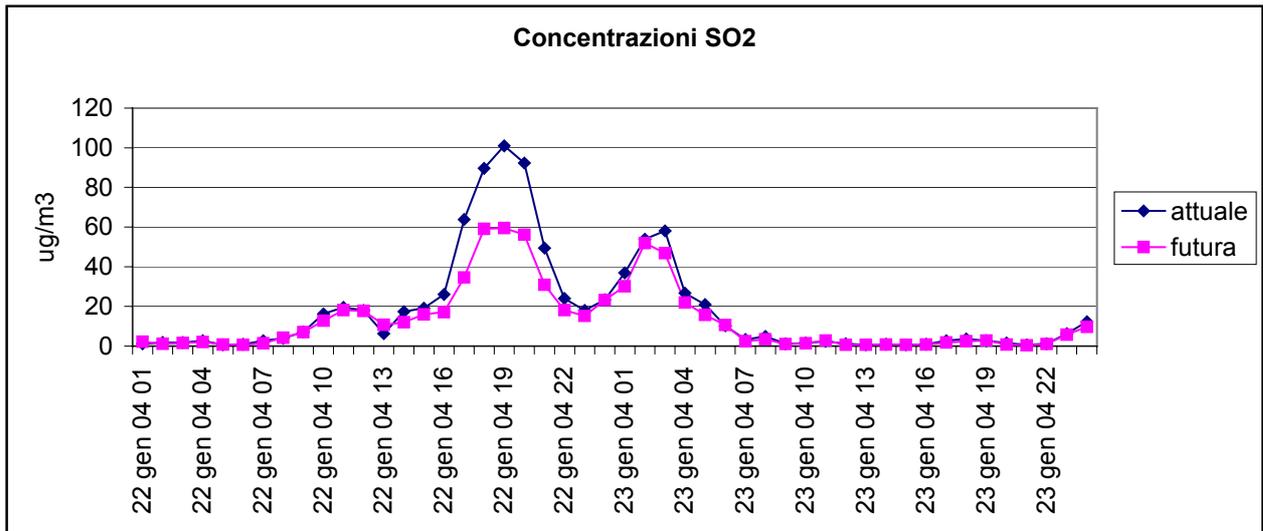


Figura 8 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di SO₂ espressi in µg/m³ per il periodo invernale nelle configurazioni emissive attuale e futura

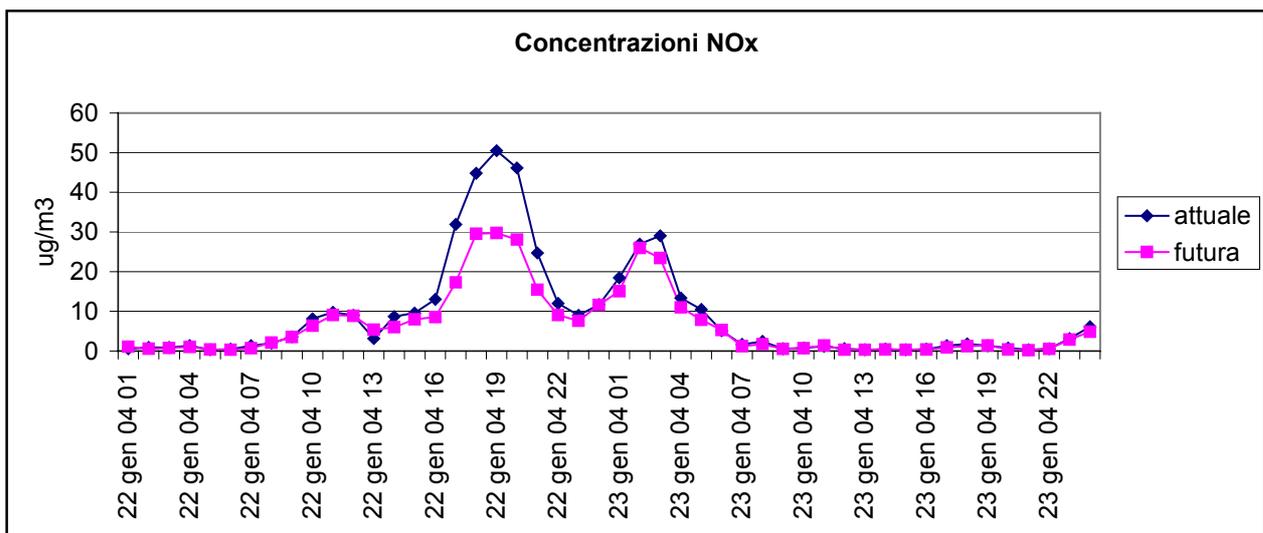


Figura 9 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di NO_x espressi in µg/m³ per il periodo invernale nelle configurazioni emissive attuale e futura

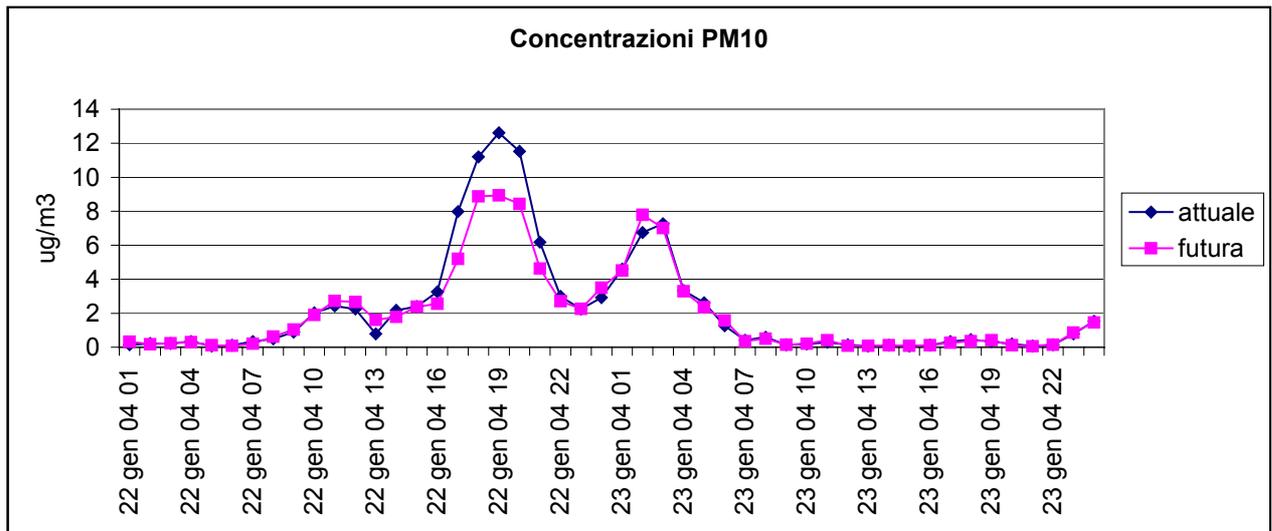


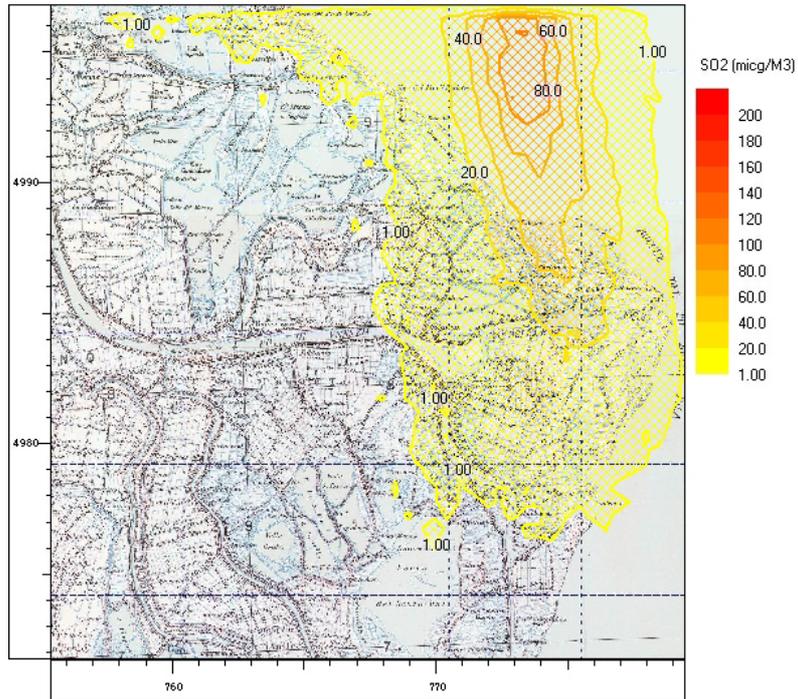
Figura 10 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di PM₁₀ espressi in µg/m³ per il periodo invernale nelle configurazioni emissive attuale e futura

Nel corso dei giorni invernali simulati con il modello SPRAY i due episodi più significativi dal punto di vista delle concentrazioni al suolo si sono verificati il 22 ed il 23 Gennaio rispettivamente alle ore 19 ed alle ore 3. Per quanto riguarda SO₂ il primo massimo raggiunge il valore di 100 µg/m³ nella configurazione attuale, NO_x arriva a 50 µg/m³ ed il PM₁₀ a 12 µg/m³. Il picco del 22 Gennaio alle 19 si verifica come conseguenza di un periodo di calma di vento (vento inferiore a 2 m/s) di alcune ore che favorisce l'accumulo di inquinanti al suolo. L'episodio del 23 Gennaio è di rilevanza minore (SO₂ arriva a 59 µg/m³, NO_x a 25 µg/m³ e PM₁₀ a 7 µg/m³) e si verifica nel momento di inversione della direzione del vento che porta anch'esso ad un accumulo degli inquinanti. La configurazione futura produce concentrazioni al suolo più basse rispetto a quelle relative alla configurazione attuale seppure non in maniera proporzionale alla riduzione (del 40%) del rateo emissivo.

Si riportano di seguito le mappe di concentrazione al suolo dei due episodi analizzati per le 3 specie inquinanti e relative all'assetto di funzionamento attuale e futuro.

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 100.95



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 59.54

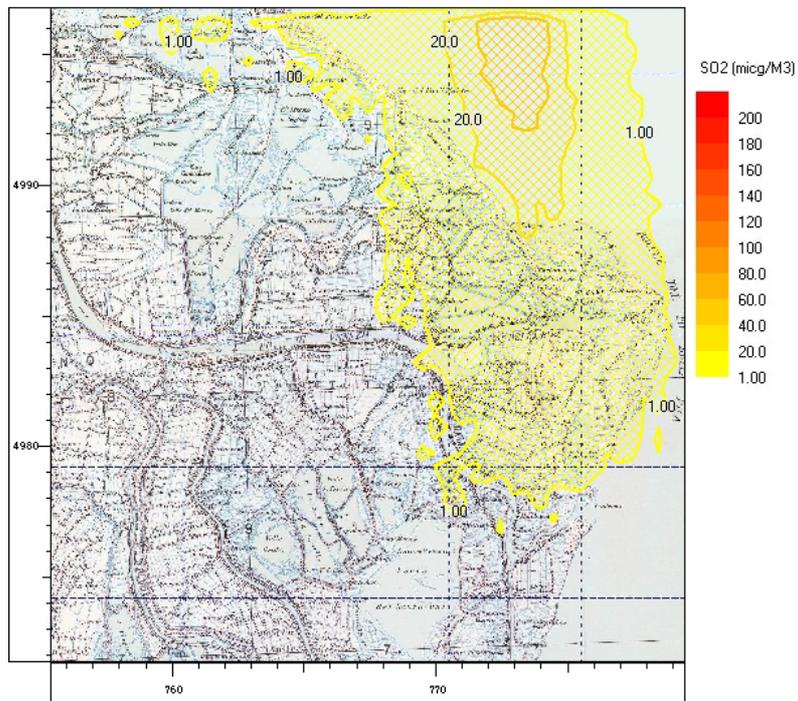
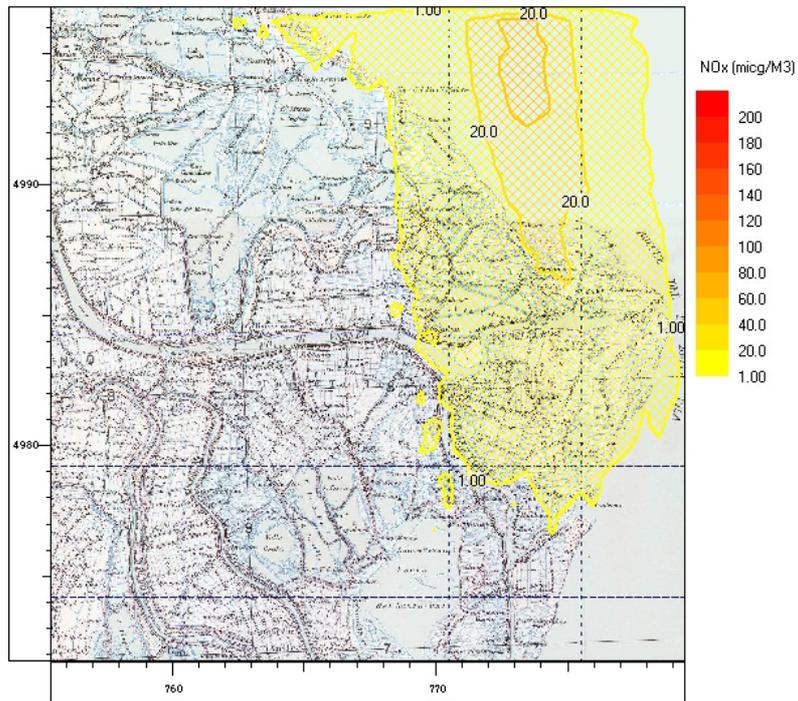


Figura 11 - Concentrazioni medie orarie al suolo di SO₂ (µg/m³) calcolate alle ore 19 del 22 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 50.48



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 29.77

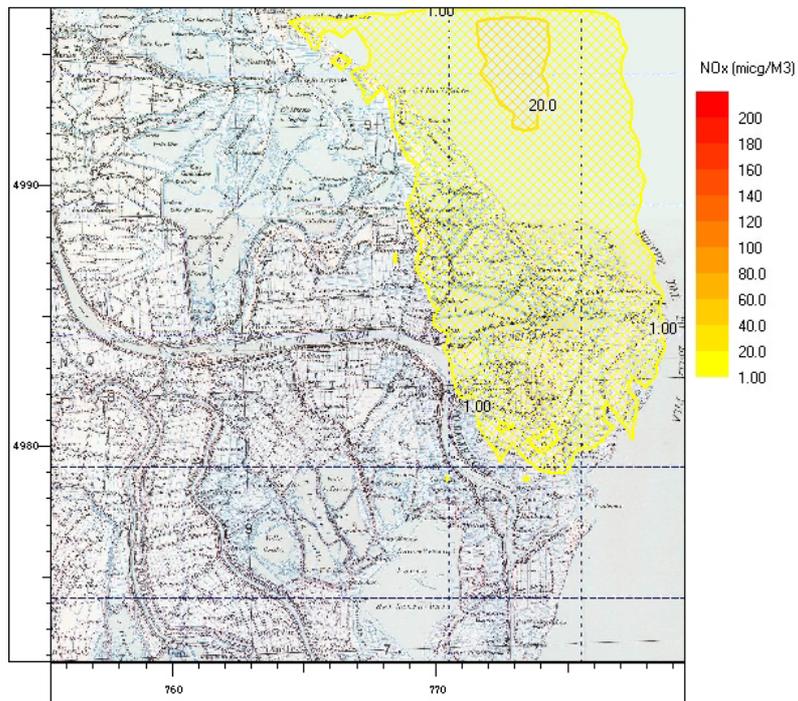
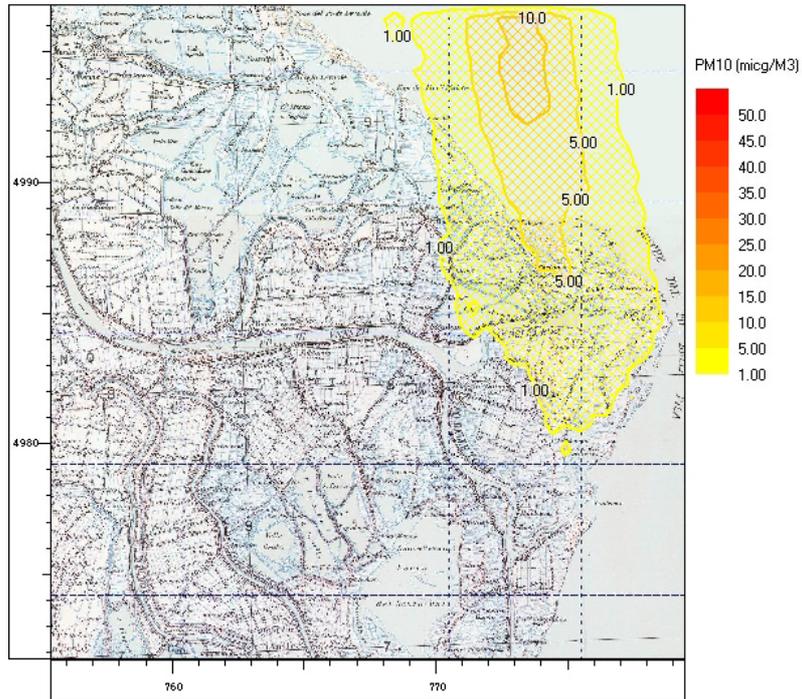


Figura 12 - Concentrazioni medie orarie al suolo di NO_x (µg/m³) calcolate alle ore 19 del 22 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 12.62



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 22/01/04 19:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 8.93

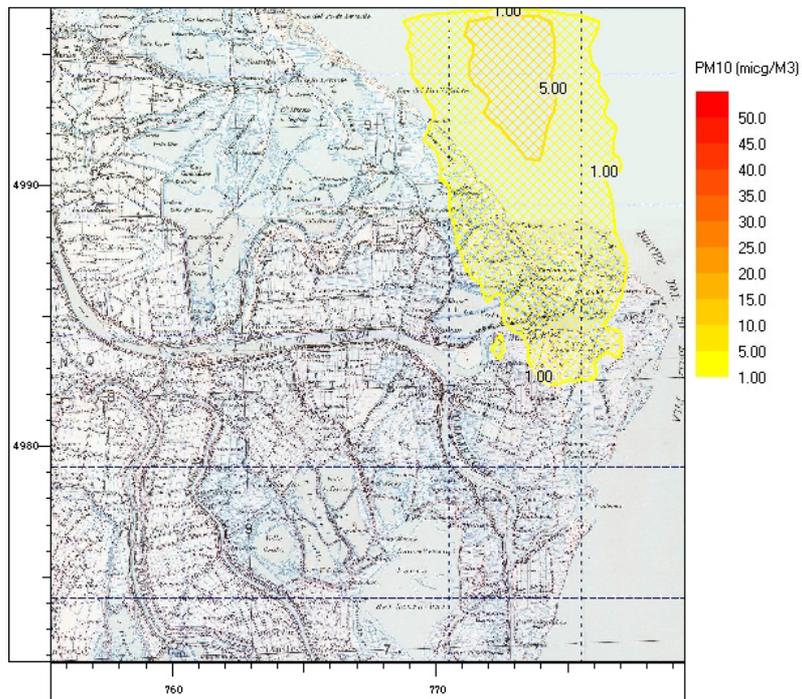
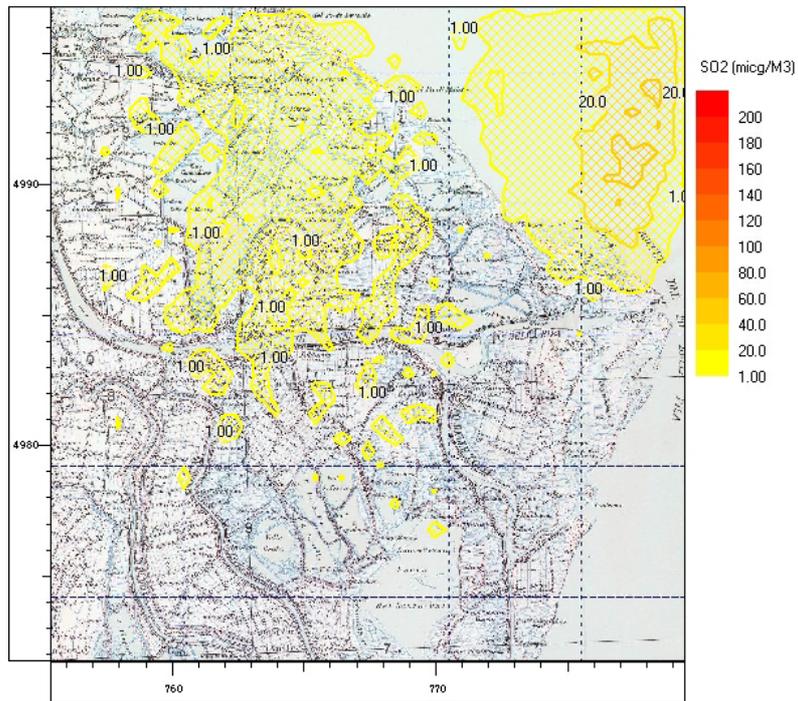


Figura 13 - Concentrazioni medie orarie al suolo di PM₁₀ (µg/m³) calcolate alle ore 19 del 22 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variable: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 58.12



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variable: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 46.79

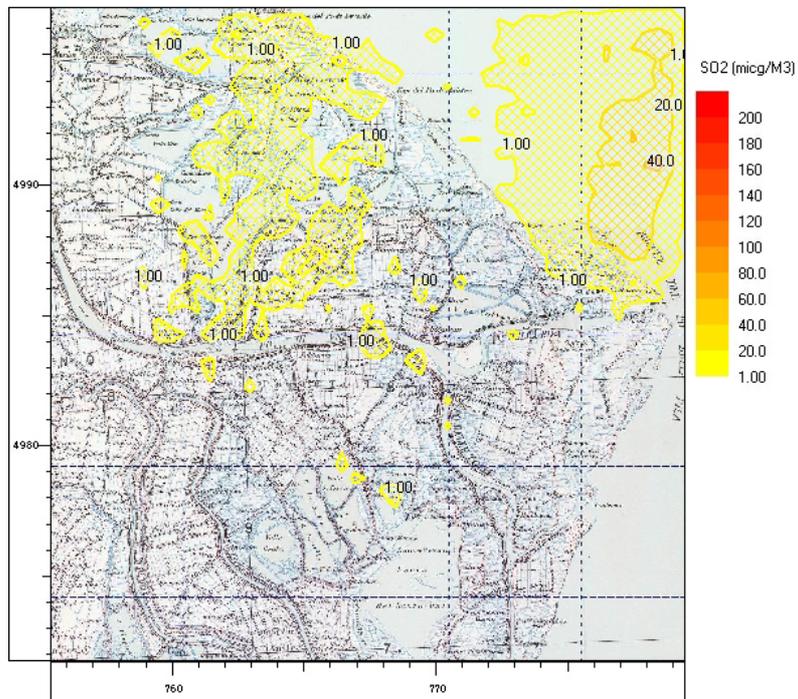
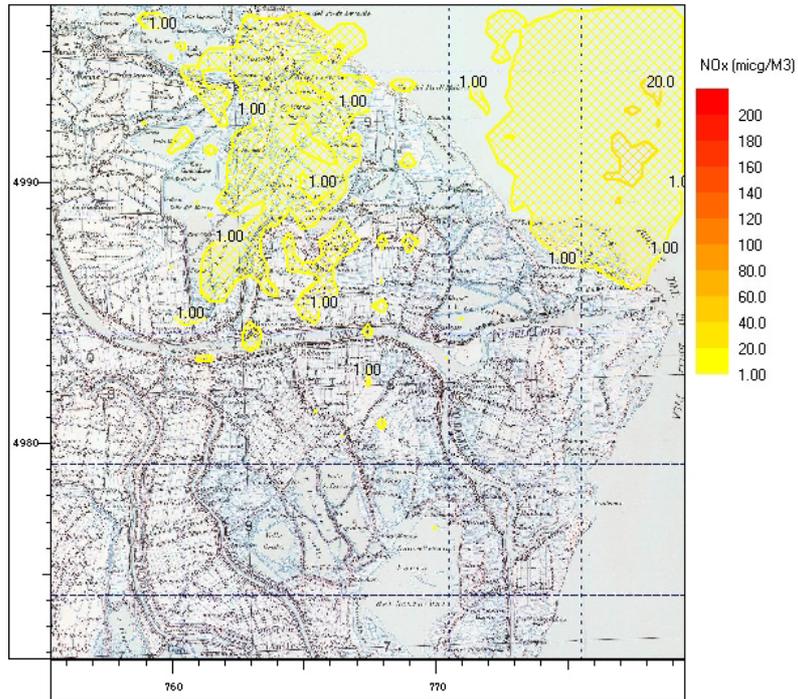


Figura 14 - Concentrazioni medie orarie al suolo di SO₂ (µg/m³) calcolate alle ore 3 del 23 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 29.06



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 23.40

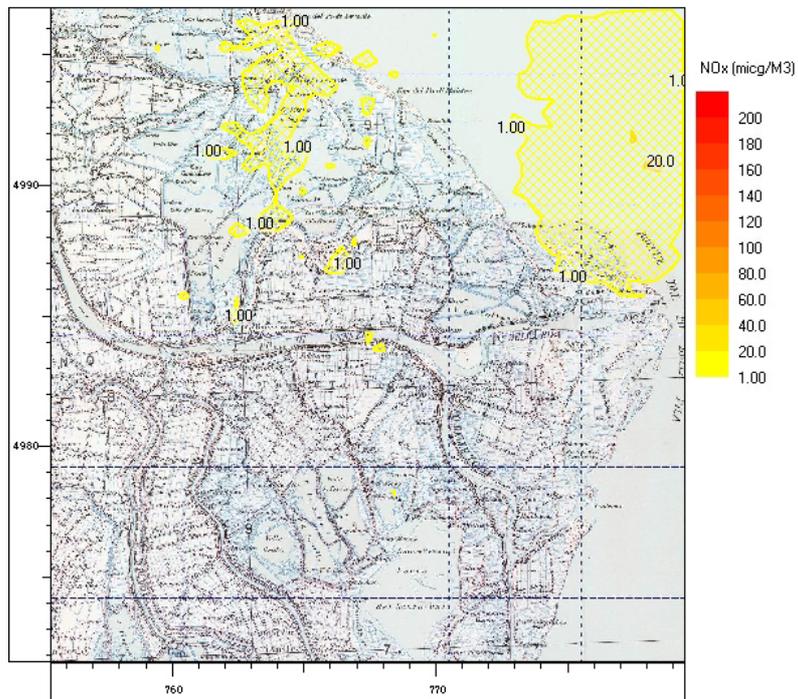
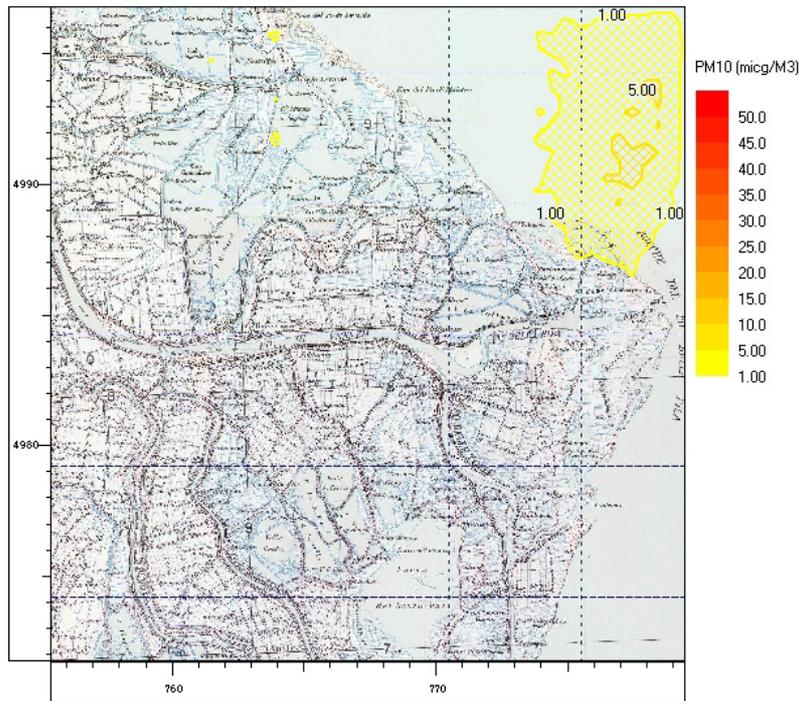


Figura 15 - Concentrazioni medie orarie al suolo di NO_x (µg/m³) calcolate alle ore 3 del 23 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 7.26



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 23/01/04 03:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 23.40

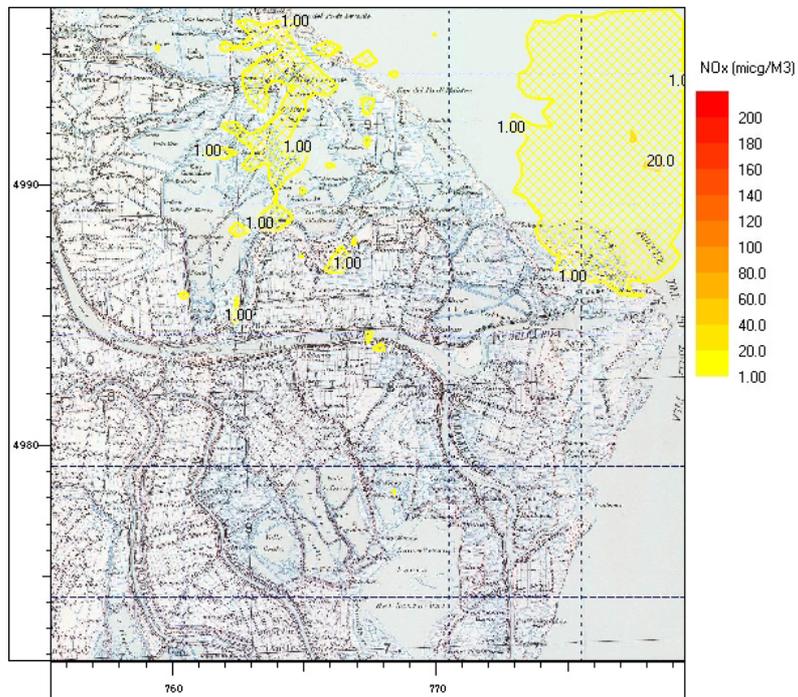


Figura 16 - Concentrazioni medie orarie al suolo di PM₁₀ (µg/m³) calcolate alle ore 3 del 23 Gennaio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A titolo di rappresentazione dell'evoluzione dell'andamento del pennacchio si riportano ora alcune mappe di concentrazione al suolo di SO₂ relative alle ore precedenti alle ore 19 del 22 Gennaio

(configurazione attuale) in cui si verifica il massimo di ricadute del periodo invernale sul mare. Si nota come la situazione di calma di vento con rotazione verso nord comunque porta ad avere concentrazioni al massimo di circa $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla terra ferma (alle 17 del 22 Gennaio).

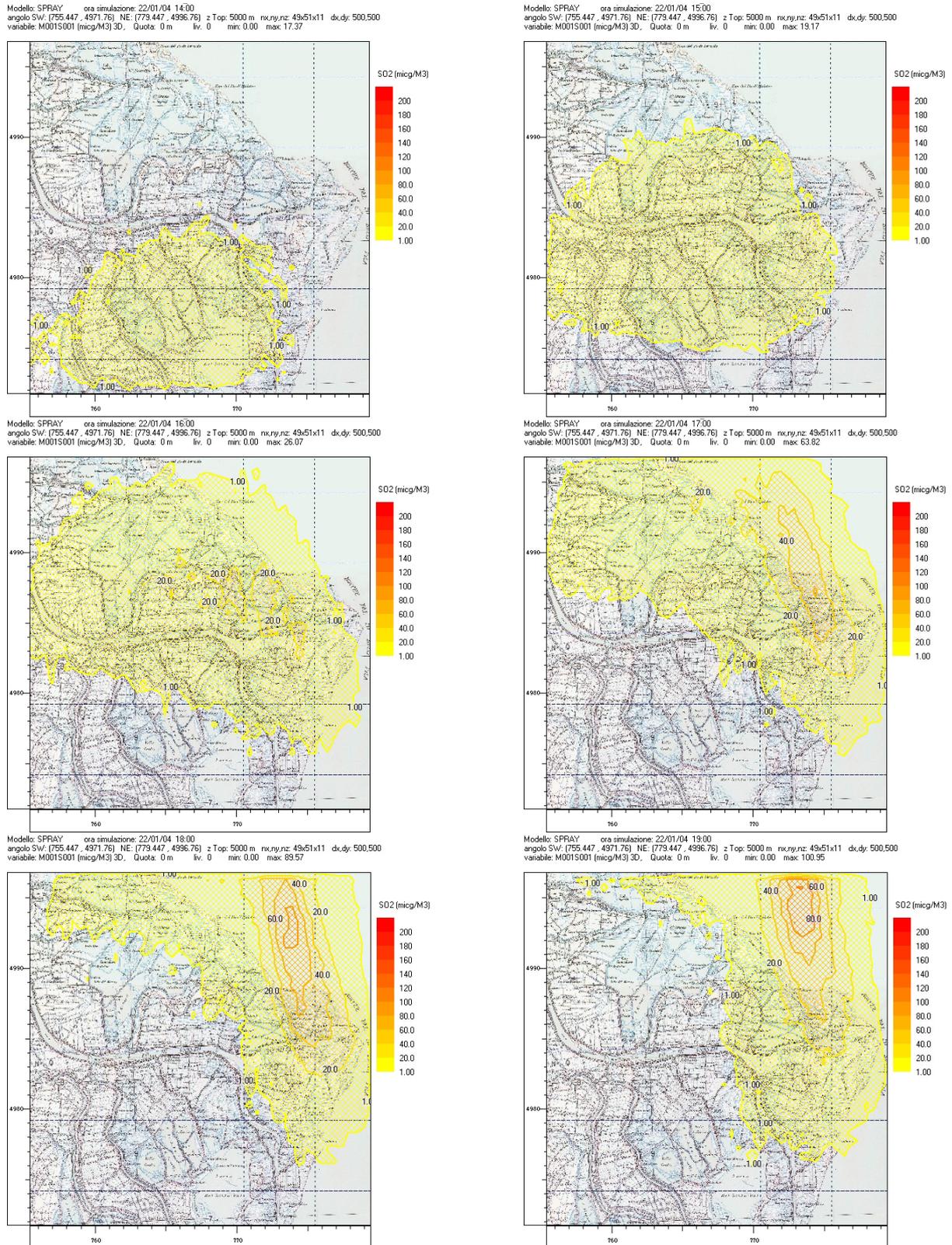


Figura 17 - Evoluzione delle concentrazioni al suolo di SO₂ ore 14-19 del 22 Gennaio (caso attuale)

Si riportano ora gli andamenti dei massimi di concentrazione al suolo, calcolati all'interno del dominio, per il periodo estivo.

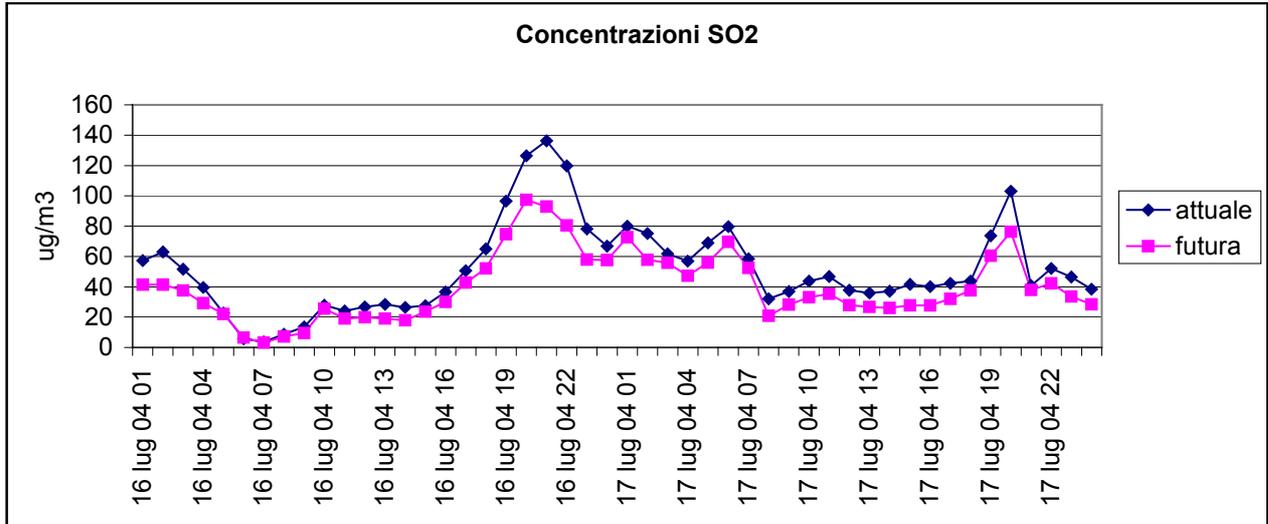


Figura 18 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di SO₂ espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il periodo estivo nelle configurazioni emissive attuale e futura

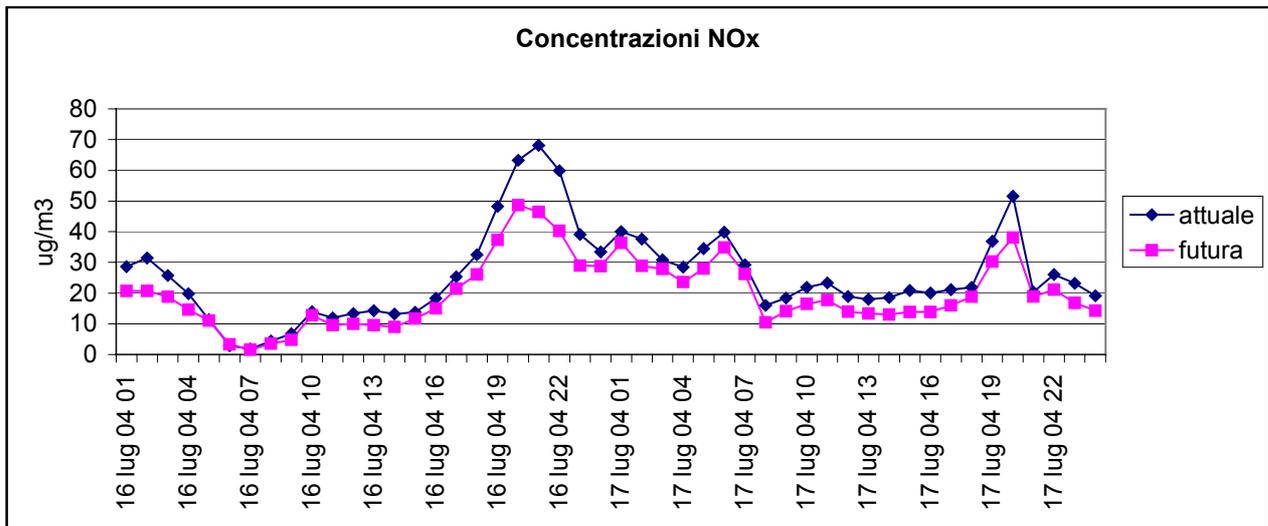


Figura 19 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di NO_x espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il periodo estivo nelle configurazioni emissive attuale e futura

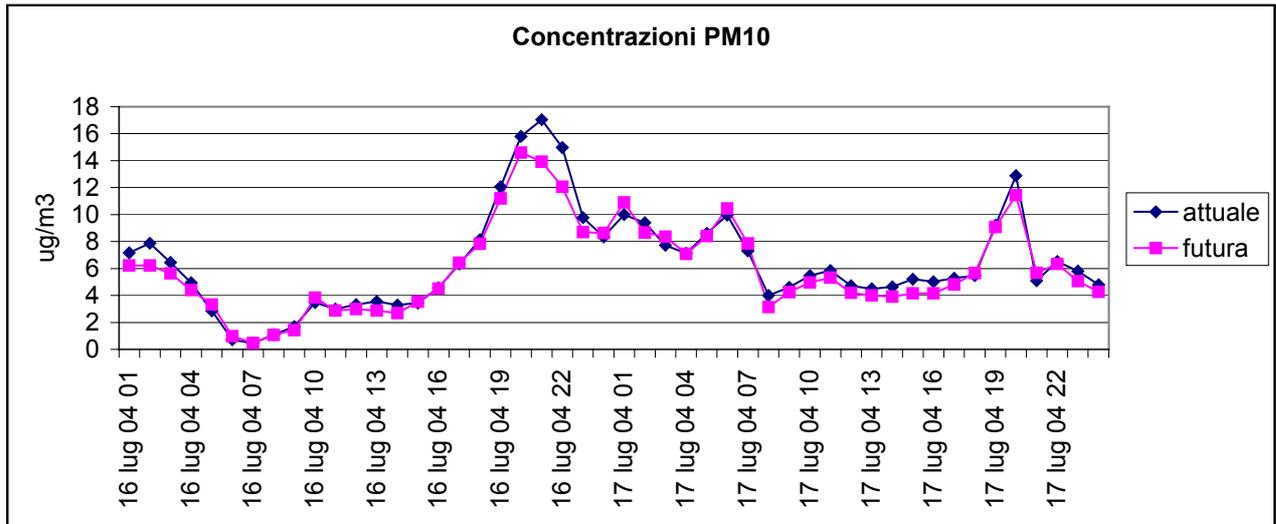


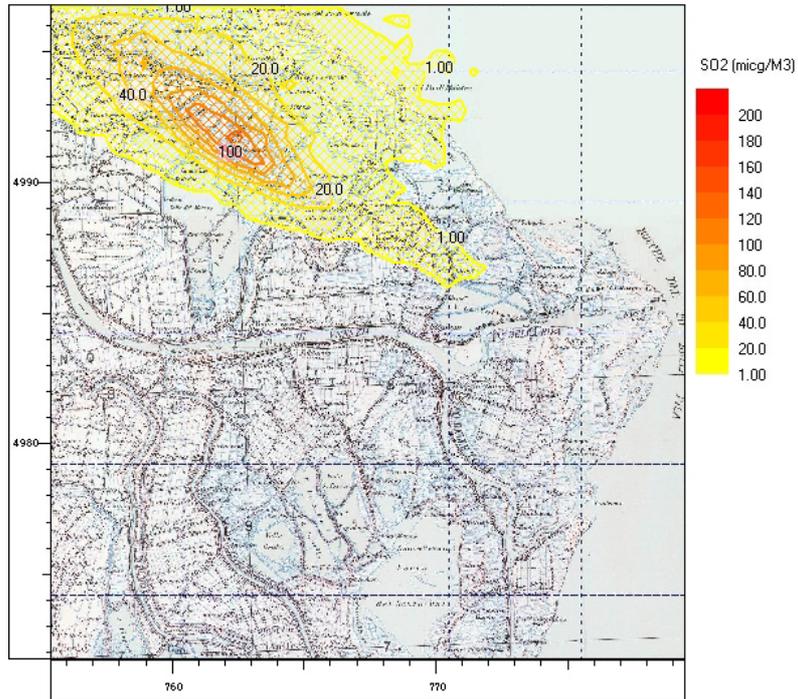
Figura 20 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di PM₁₀ espressi in µg/m³ per il periodo estivo nelle configurazioni emissive attuale e futura

Relativamente ai due giorni simulati nel periodo estivo si osservano due episodi significativi il 16 Luglio alle ore 21 (20 nella configurazione futura) ed il 17 Luglio alle ore 20. Il primo episodio è quello più rilevante e la concentrazione di SO₂ arriva a 136 µg/m³, mentre NO_x e PM₁₀ arrivano rispettivamente a 68 e 17 µg/m³. Questi picchi sono dovuti ad una riduzione dei fenomeni convettivi che si attenuano immediatamente dopo il tramonto del sole. In tal modo gli inquinanti che prima erano dispersi efficacemente all'interno dello strato limite tendono ad accumularsi nei bassi strati atmosferici.

Nel seguito si riportano di seguito le mappe di concentrazione al suolo dei due episodi analizzati per le 3 specie inquinanti e relative ad entrambi gli assetti di funzionamento (attuale e futuro).

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 136.31



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 92.80

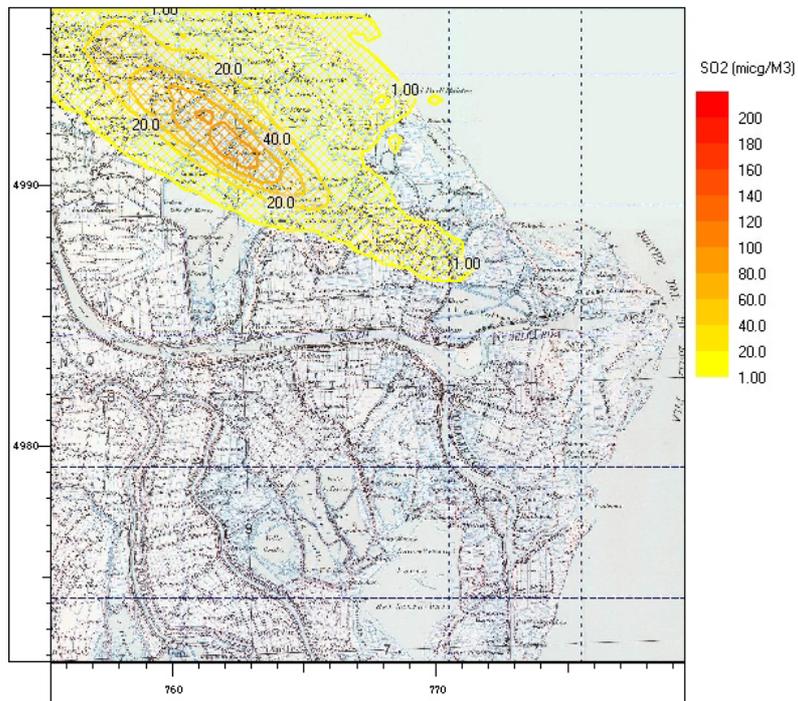
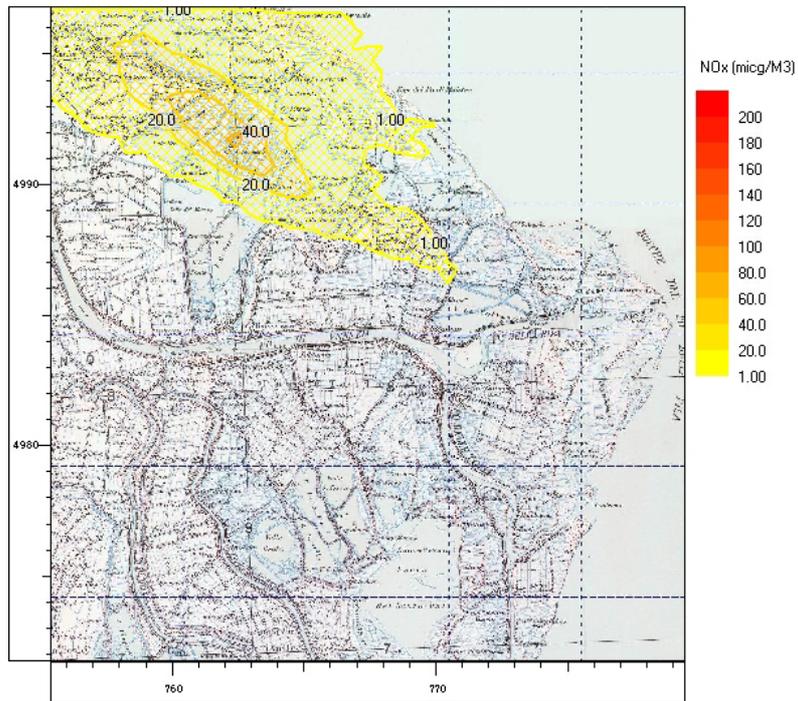


Figura 21 - Concentrazioni medie orarie al suolo di SO₂ (µg/m³) calcolate alle ore 21 del 16 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 68.16



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 46.40

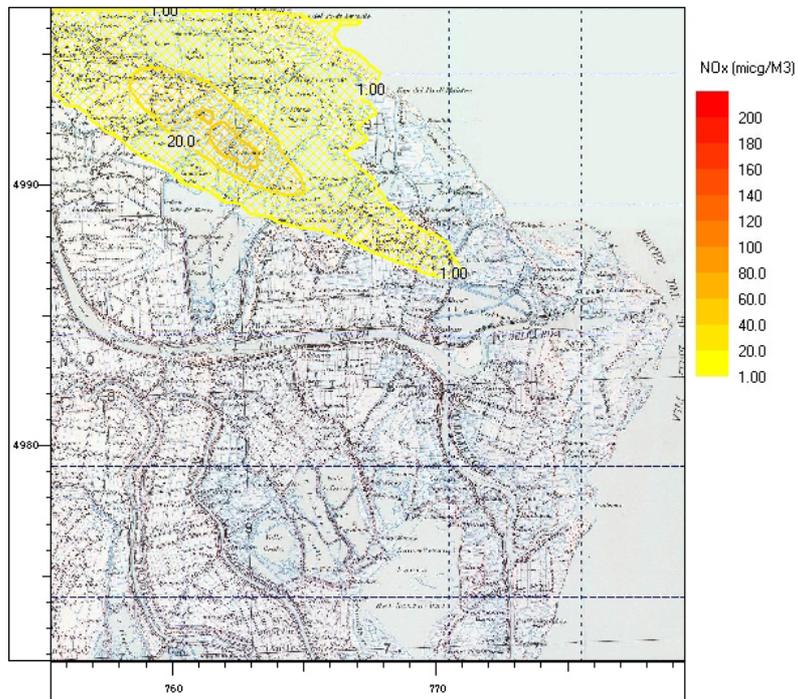
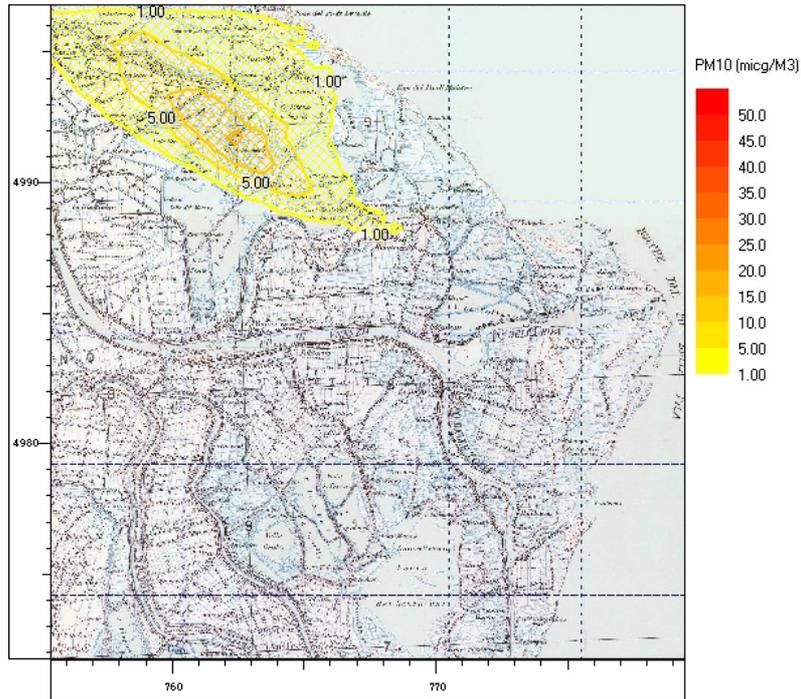


Figura 22 - Concentrazioni medie orarie al suolo di NO_x (µg/m³) calcolate alle ore 21 del 16 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 17.04



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 16/07/04 21:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 13.92

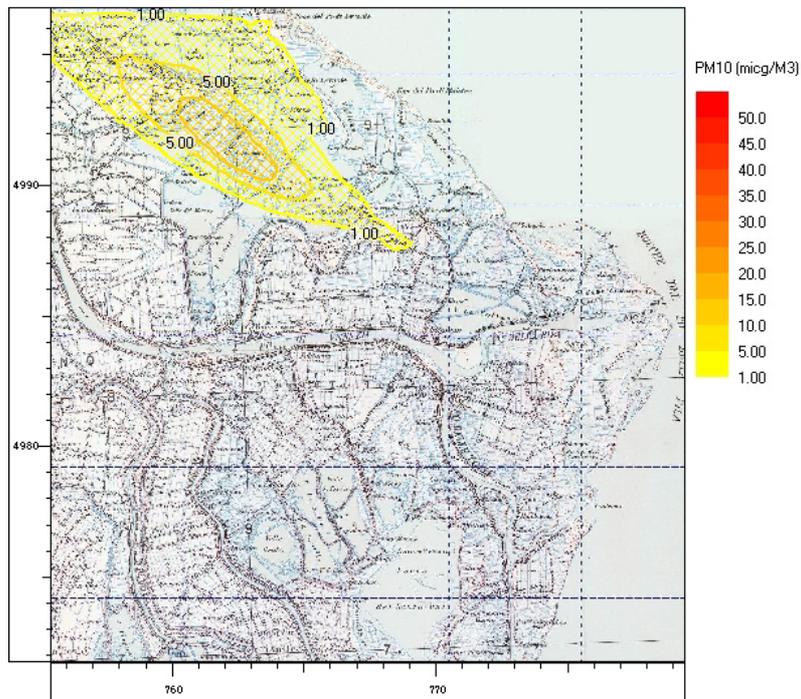
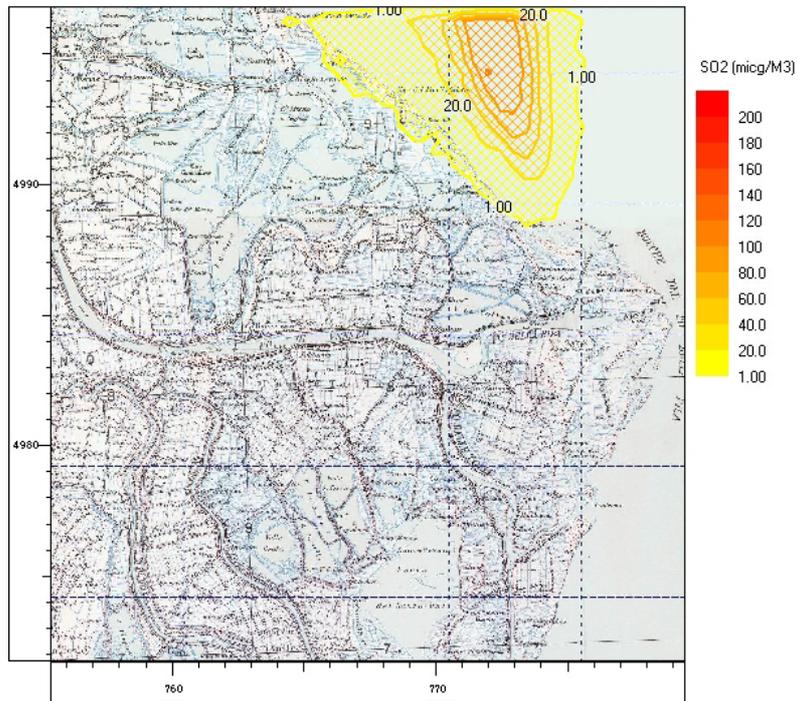


Figura 23 - Concentrazioni medie orarie al suolo di PM₁₀ (µg/m³) calcolate alle ore 21 del 16 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 103.05



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M001S001 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 76.26

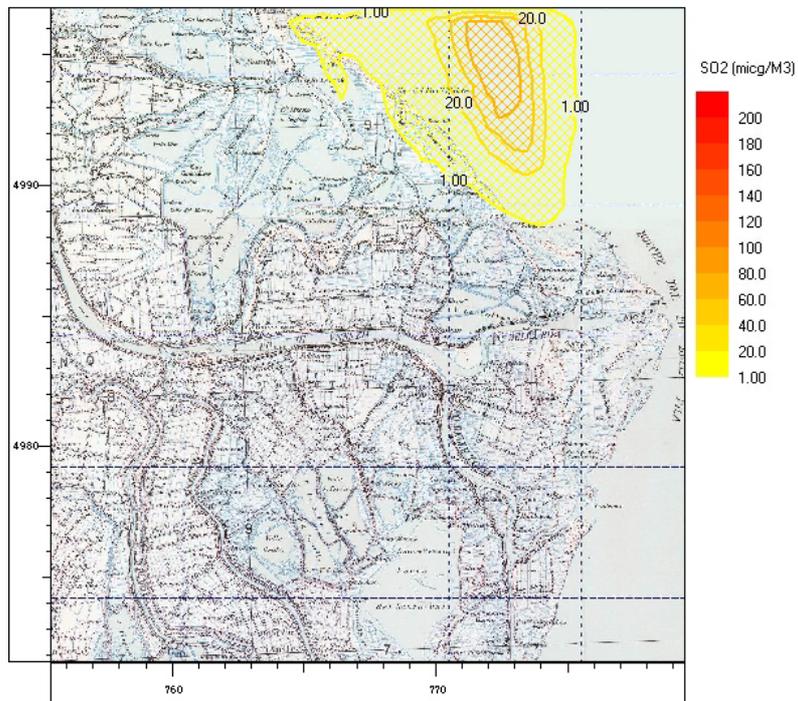
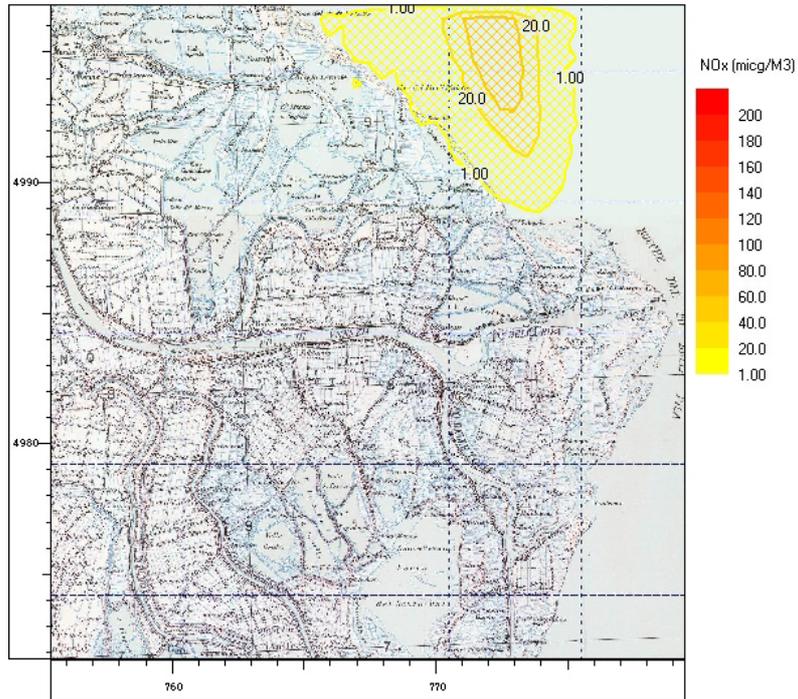


Figura 24 - Concentrazioni medie orarie al suolo di SO₂ (µg/m³) calcolate alle ore 20 del 17 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 51.52



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M002S002 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 38.13

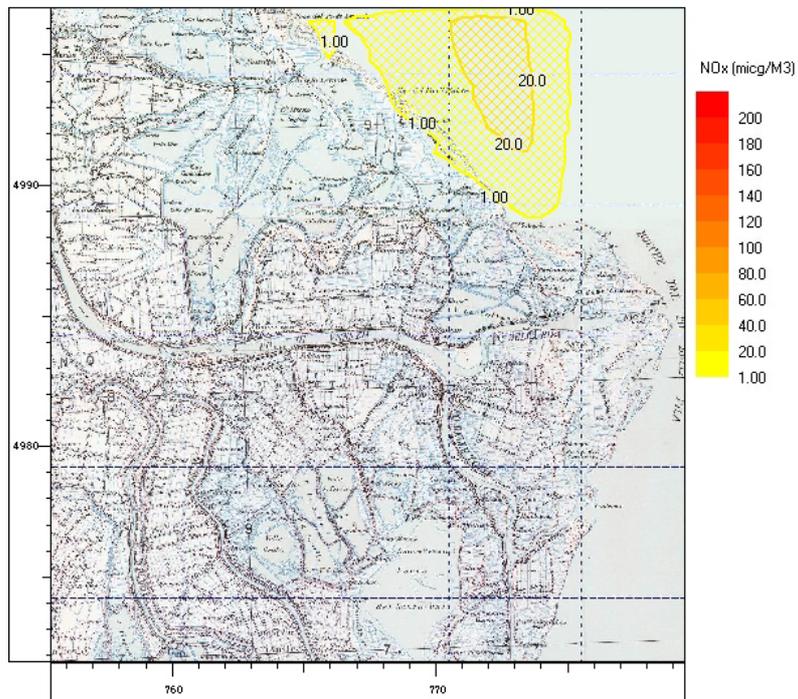
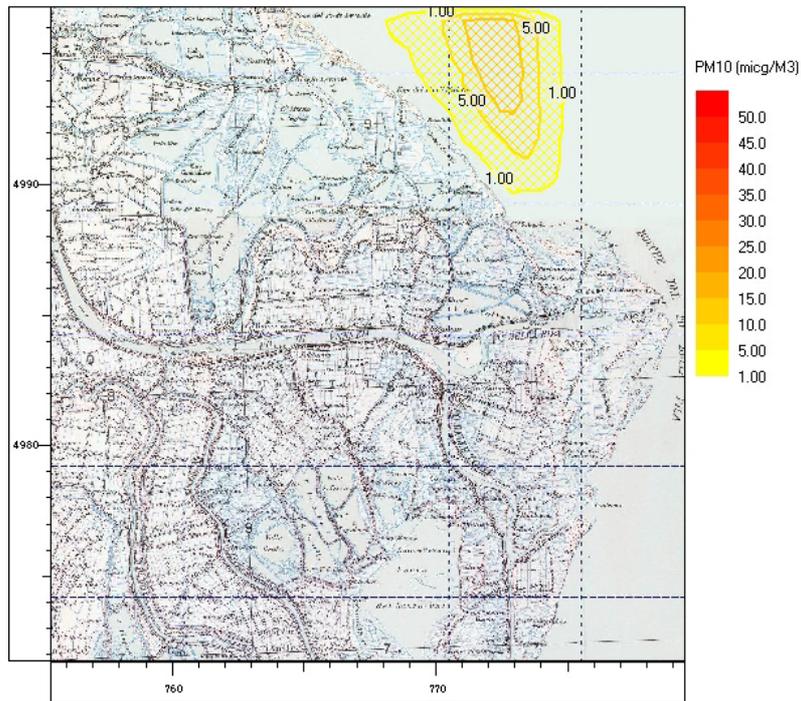


Figura 25 - Concentrazioni medie orarie al suolo di NO_x (µg/m³) calcolate alle ore 20 del 17 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

A)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 12.88



B)

Modello: SPRAY ora simulazione: 17/07/04 20:00
 angolo SW: (755.447, 4971.76) NE: (779.447, 4996.76) z Top: 5000 m nx,ny,nz: 49x51x11 dx,dy: 500,500
 variabile: M003S003 (micg/M3) 3D, Quota: 0 m liv. 0 min: 0.00 max: 11.44

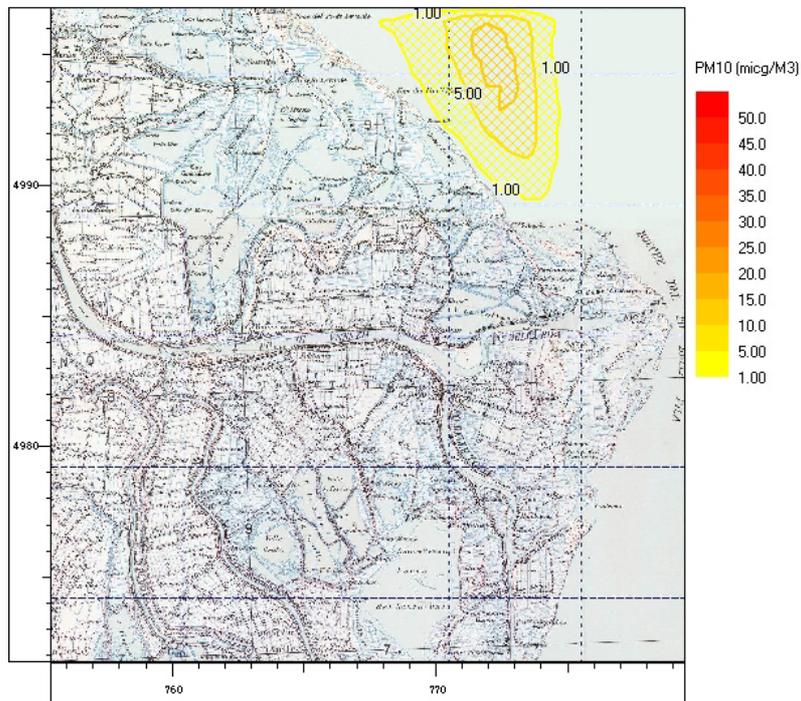


Figura 26 - Concentrazioni medie orarie al suolo di PM₁₀ (µg/m³) calcolate alle ore 20 del 17 Luglio, Situazione attuale (A) e futura (B)

In generale tutti i modelli lagrangiani a particelle, fra cui SPRAY, non sono in grado di trattare allo stato attuale delle conoscenze, processi di trasformazione chimica degli inquinanti emessi. Così non è possibile riprodurre il processo di dispersione e trasformazione chimica degli ossidi di azoto (NO_x), tramite le simulazioni modellistiche effettuate con SPRAY. E' comunque possibile utilizzare la stessa metodologia, descritta nel SIA³ e applicata nel caso del modello ISCST3, per i campi di concentrazioni medie orarie di NO_x calcolati da SPRAY.

Di seguito sono presentati gli andamenti dei massimi di concentrazione al suolo di NO₂, calcolati all'interno del dominio, per i due periodi considerati e per le due configurazioni emissive.

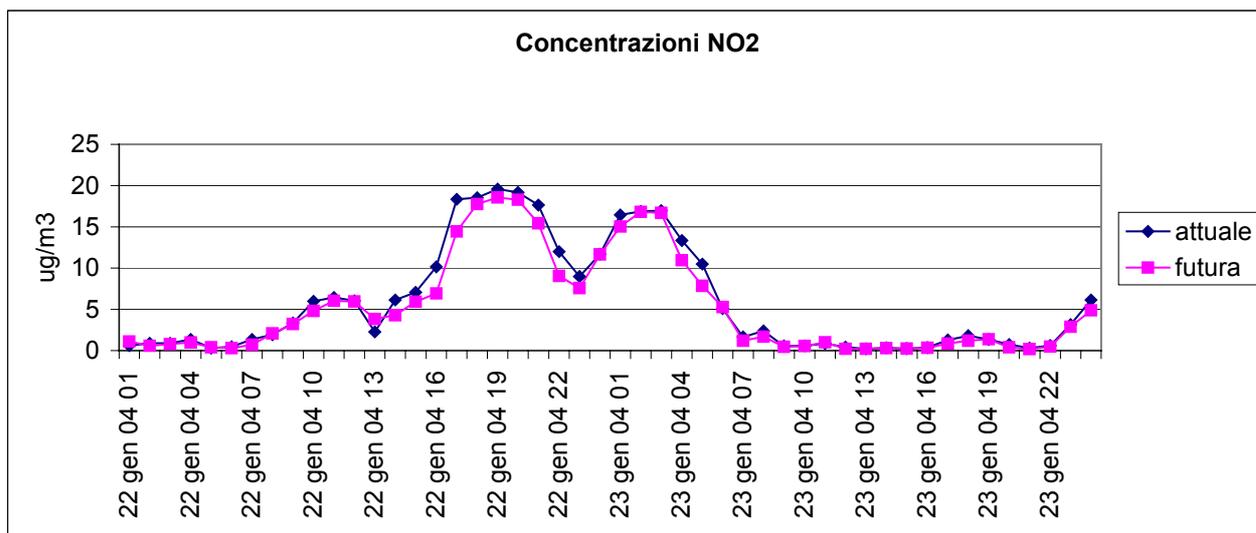


Figura 27 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di NO₂ espressi in µg/m³ per il periodo invernale per le due configurazioni emissive: Situazione attuale e situazione futura

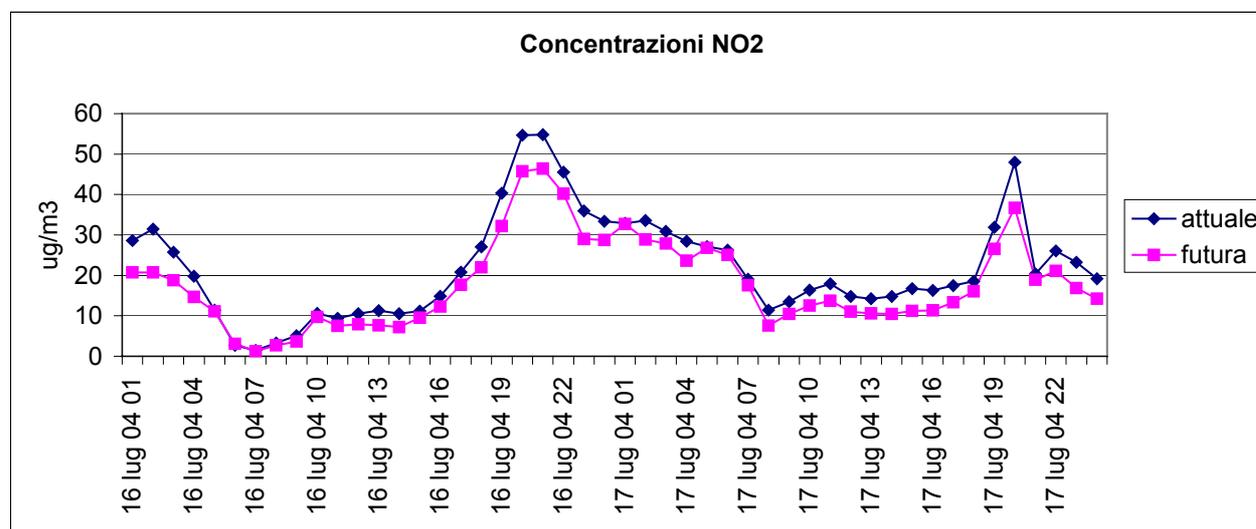


Figura 28 - Valori massimi orari di concentrazioni al suolo di NO₂ espressi in µg/m³ per il periodo estivo per le due configurazioni emissive: Situazione attuale e situazione futura

Le concentrazioni medie orarie calcolate di NO₂ durante i periodi simulati sono al disotto del valore di 200 µg/m³ che, secondo la normativa vigente, non deve essere superato per più di 18 volte in un anno.

³ Formazione del biossido di azoto e valutazione della sua concentrazione al suolo

Durante il periodo invernale l'effetto di riduzione dell' NO_x è limitato dalla scarsa presenza di ozono in grado di convertire l'emissione di NO_x in NO_2

Durante il periodo estivo l'ozono presente nelle ore del tardo pomeriggio non è più un fattore limitante della reazione di ossidazione di NO in NO_2 . In questo caso a fronte di una riduzione della concentrazione di NO_x corrisponde una riduzione quasi proporzionale di NO_2 .

I valori calcolati nella configurazione emissiva futura sono sempre inferiori a quelli stimati per la situazione attuale.

Infine, nel prospetto seguente è presentato un confronto tra i limiti di legge fissati dalla normativa vigente e le massime concentrazioni medie orarie e medie giornaliere calcolate dal modello SPRAY per le diverse configurazioni di funzionamento della centrale di Porto Tolle.

Normativa	Parametro	Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Parametro calcolato	situazione attuale	situazione futura
SO₂				($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
valore limite 203/88	98 percentile giornaliero	250	Massima concentrazione giornaliera	16.8	12.8
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 3g/anno	125			
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 24h/anno	350			
NO₂					
valore limite 203/88	98 percentile orario	200	Massima concentrazione oraria	54.8	46.4
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 18h/anno	200			
PM₁₀					
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 35g/anno - Fase 1	50	massima concentrazione giornaliera	2.1	1.9
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 7g/anno - Fase 2	50			
Particolato totale					
valore limite 203/88	95 percentile giornaliero	300	massima concentrazione giornaliera	2.1	1.9

In conclusione, si può affermare che anche gli approfondimenti modellistici condotti con il codice SPRAY evidenziano che il progetto di trasformazione a carbone della centrale potrà portare ad un miglioramento della qualità dell'aria.