

# **MODELLI DI VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA**

## **AREA COMPLESSA DI MALAGROTTA (ROMA)**

## 1. PREMESSA

L'area di Malagrotta rappresenta uno degli elementi di criticità ambientale del Lazio a causa dell'elevata concentrazione di complessi industriali localizzati in una zona geograficamente limitata. Infatti, accanto ad alcune zone residenziali di limitata estensione e di bassa densità abitativa (l'insediamento principale è quello di Massimina) vengono a trovarsi la Raffineria di Roma, una serie di arterie stradali a traffico intenso e due impianti legati al ciclo dei rifiuti: l'impianto di incenerimento dei rifiuti ospedalieri dell'AMA e la discarica di Malagrotta con annesso l'impianto di gassificazione.

Una realtà così complessa e potenzialmente ad elevata criticità ha suggerito l'opportunità di condurre uno studio volto a definire il *footprint* delle diverse realtà industriali presenti nella zona, in modo da supportare realisticamente le indagini epidemiologiche e la valutazione dell'impatto delle varie sorgenti di pressione presenti nella zona sulla salute della popolazione. Per poter conseguire questo scopo, lo studio è stato condotto in modo tale da definire l'esposizione della popolazione della zona agli agenti inquinanti presenti in aria, valutando il più accuratamente possibile l'apporto (e quindi il peso) delle varie sorgenti di emissione degli inquinanti presenti. Più precisamente si è operato nel modo seguente:

- in primo luogo sono state definite le emissioni delle diverse sorgenti presenti in zona e che potenzialmente possono contribuire all'inquinamento locale in essa presente. Impianto per impianto, è stata individuata la localizzazione delle singole emissioni, la quantità ed il tipo degli inquinanti emessi, la variazione caratteristica nel tempo di tali emissioni e le modalità della loro emissione (altezza di rilascio, velocità dei fumi e relativa temperatura). Un'accurata stima di ciò è l'ingrediente essenziale per una realistica modellizzazione della dispersione degli inquinanti in aria;
- dato che il secondo ingrediente essenziale per stimare i livelli di inquinamento in aria è la conoscenza delle condizioni meteorologiche caratteristiche della zona (o meglio le caratteristiche disperdenti della parte bassa dell'atmosfera), si è operata un'accurata ricostruzione della distribuzione nello spazio e nel tempo delle principali variabili meteorologiche e micrometeorologiche. Va sottolineato che l'accurata definizione della variabilità spaziale di tali variabili è dettata anche dalle caratteristiche orografiche della zona, abbastanza complesse, che uniscono le caratteristiche tipiche di una zona vicina al mare a quelle di una zona contraddistinta da colline e vaillette. Anche se la ricostruzione a rigore dovrebbe essere condotta per tutte le ore di un anno caratteristico, per rendere meno pesante il lavoro di simulazione sono stati scelti due periodi rappresentativi (uno estivo ed uno invernale) in modo tale rappresentare, complessivamente, l'intero periodo annuale. L'anno scelto in particolare è l'anno 2005 e tale scelta deriva dal fatto che di tale anno è disponibile un'analisi meteorologica e micrometeorologica spazialmente e temporalmente completa che deriva dall'uso combinato delle osservazioni al suolo disponibili, dei sondaggi in quota e del modello meteorologico di simulazione RAMS;
- lo scopo epidemiologico dello studio ha richiesto una simulazione dettagliata della dispersione degli inquinanti in aria che tenesse conto sia della variabilità nel tempo delle condizioni dell'atmosfera (la tipica variazione giorno-notte indotta dalla presenza delle brezze) che della complessità del territorio considerato. Pertanto il modello di simulazione da adottare non poteva essere un classico modello stazionario (es. un modello gaussiano standard o un modello stazionario ibrido) ma doveva essere inevitabilmente un modello non stazionario. La scelta, pertanto, era quindi limitata all'uso o di un modello euleriano fotochimico o ad un modello lagrangiano a particelle. Vista la limitata dimensione dell'aria in esame, l'esigenza di una notevole risoluzione spaziale e la limitata importanza della chimica dell'atmosfera in un dominio di dimensione limitata, si è al momento deciso di utilizzare per questo lavoro un modello lagrangiano a particelle. Più in particolare il modello impiegato è il modello SPRAY, ampiamente riconosciuto ed utilizzato in ambito italiano ed internazionale;
- per ogni ora del periodo considerato, rappresentativo di un intero anno, è stata condotta la simulazione della dispersione degli inquinanti emessi da ogni singolo impianto pre-

sente nella zona, considerato separatamente. Ciò è stato fatto allo scopo di evidenziare sia l'estensione e la localizzazione delle zone interessate dalle ricadute di tali emissioni che i livelli di concentrazione presenti in tali zone. Queste simulazioni, quindi, definiscono il peso che ogni singolo impianto dovrebbe avere sulla qualità dell'aria (e quindi sull'esposizione della popolazione) della zona. Si è giunti, quindi, a definire l'influenza spaziale di ogni singolo impianto ed il relativo peso quantitativo;

- a questo punto, trascurando gli effetti derivanti dalla chimica dell'atmosfera, limitati in un dominio di indagine limitato come quello considerato nel presente studio, si è proceduto a definire la distribuzione spaziale della concentrazione dei vari inquinanti nella zona derivante dall'azione complessiva delle varie sorgenti emittenti in essa presente. La differenza tra la qualità dell'aria effettivamente presente nella zona di Malagrotta e quella ricostruita con la metodologia sopra indicata è da attribuirsi al trasporto di inquinanti dalle zone esterne a Malagrotta a loro volta derivanti sia da sorgenti di origine antropica (la città di Roma, il polo energetico di Civitavecchia, ecc.) che di origine naturale (trasporto da grande distanza di particolato sottile di origine desertica).

## 2. QUADRO CONOSCITIVO

L'area di Malagrotta, in cui è inserito uno dei più importanti comprensori industriali del Lazio, si sviluppa ad ovest dell'area metropolitana di Roma appena fuori del Grande Raccordo Anulare (GRA) e ad una distanza, in linea d'aria, di circa 10-15 km dal mare. In Fig. 1 è mostrata la zona di interesse e le zone limitrofe (la città di Roma e la costa).

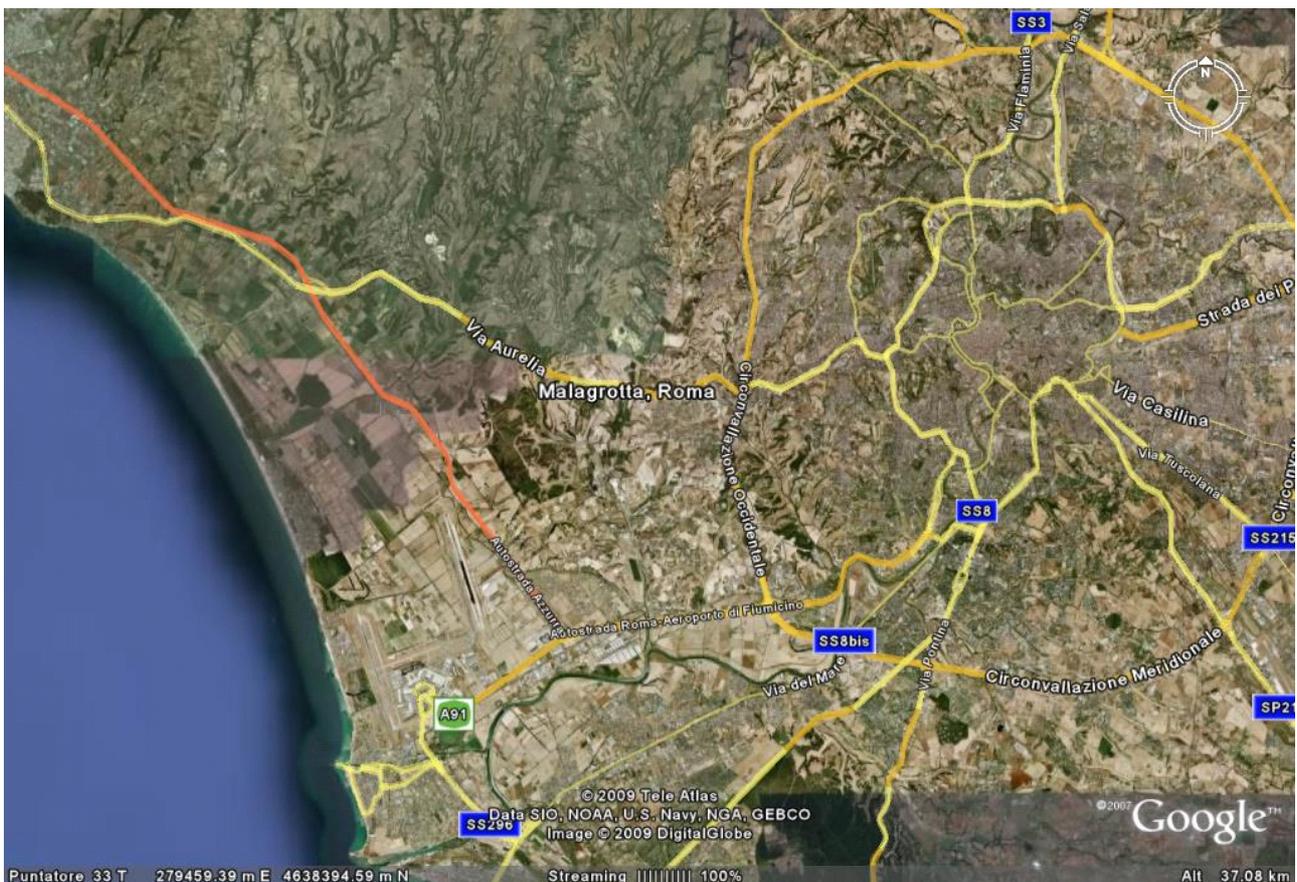


Fig. 1 – Cartina dell'area di Malagrotta

E' possibile identificare l'area di Malagrotta ed il relativo comprensorio industriale come l'area racchiusa tra i segmenti stradali appartenenti alle seguenti strade: il Grande Raccordo Anulare (GRA), la Via Aurelia, l'Autostrada Roma-Fiumicino, e l'Autostrada Roma-Civitavecchia.

Dal punto di vista emissivo la zona è da considerare ad elevata criticità e complessità a causa della presenza di differenti tipologie di sorgenti emissive (sorgenti stradali, industriali e diffuse come il riscaldamento residenziale), che influenzano le concentrazioni rilevate al suolo delle sostanze inquinanti.

Pertanto, nella simulazione modellistica sono state considerate solo le seguenti macro-sorgenti industriali:

- la discarica di Malagrotta (lotti coltivati).
- le emissioni convogliate della Discarica di Malagrotta;
- la Raffineria di Roma;
- l'Inceneritore di rifiuti ospedalieri dell'AMA;
- l'impianto di gassificazione asservito alla discarica stessa;

La Raffineria di Roma, l'Inceneritore AMA e le sorgenti convogliate della discarica di Malagrotta, appartengono ad un contesto emissivo preesistente già da diversi anni, mentre il gassificatore rappresenta una realtà nuova rispetto al contesto emissivo stesso.

Accanto alle principali macro-sorgenti industriali presenti in zona è evidente anche la presenza di rilevanti arterie viarie che devono essere prese in considerazione. Va rilevato che alcune di esse sono arterie stradali a grande scorrimento e di importanza strategica per l'intera viabilità della zona romana, altre, invece, sono arterie caratterizzate da traffico locale che, però, è principalmente caratterizzato da una fortissima presenza di mezzi di trasporto pesante per il conferimento dei rifiuti ospedalieri all'inceneritore AMA, per il conferimento dei rifiuti ordinari alla discarica di Malagrotta e per il trasporto di prodotti petroliferi da e verso la raffineria. A tutto ciò si va a sommare il traffico di autoveicoli degli abitanti della zona e delle maestranze che ivi operano. Pertanto, i tratti stradali considerati sono i seguenti :

- Grande Raccordo Anulare (come parte della Circonvallazione Occidentale);
- tratto della Via Aurelia;
- Via di Malagrotta;
- Via di Ponte Galeria;
- Via della Pisana;
- tratto dell'autostrada Roma-Fiumicino;
- tratto dell'autostrada Roma-Civitavecchia.

Dato che è nota l'importanza che le emissioni dalle strade hanno sulla qualità dell'aria, tutte queste arterie stradali sono state simulate individualmente, ciascuna con la propria modulazione temporale e con la propria flotta caratteristica, ed il risultato della simulazione di questa macro-sorgente è stato il contributo alla qualità dell'aria derivante dalla somma del contributo di ciascuna arteria viaria.

### **3. LO STATO DI QUALITÀ DELL'ARIA**

Il sistema modellistico *near-realtime* di Arpa Lazio ha consentito di ricostruire lo stato complessivo di qualità dell'aria dell'intera zona di Malagrotta, tenendo conto di tutte le sorgenti di inquinamento presenti ed assimilando le ricostruzioni modellistiche con le misure rilevate dalla postazione di monitoraggio presente in zona. Il risultato ottenuto per l'anno 2010 è riportato nelle figure seguenti. In particolare nella *Fig.2* è presentata la distribuzione della concentrazione e media annua di NO<sub>2</sub> mentre nella *Fig.3* la distribuzione della concentrazione media annua di PM<sub>10</sub>. Come si nota, la zona è caratterizzata da livelli di concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub>

e  $PM_{10}$  abbastanza elevate e comunque vicine alle soglie previste dalla Normativa vigente.

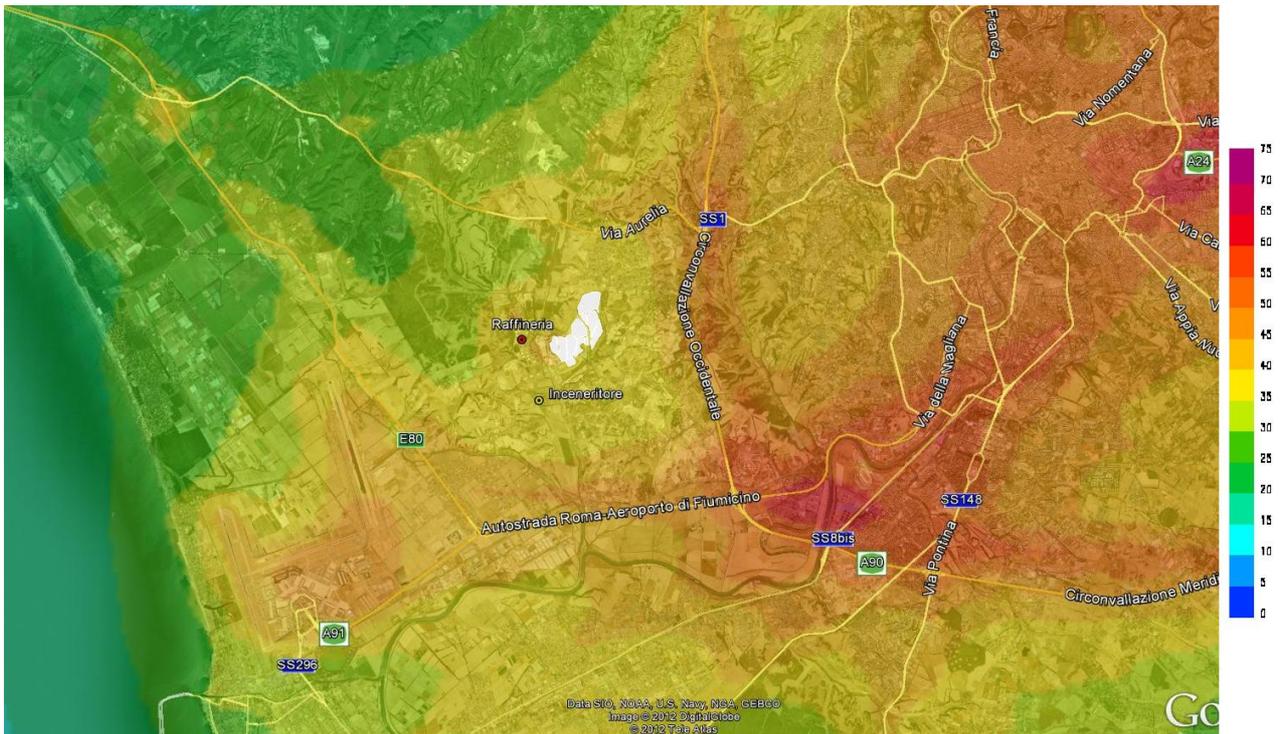


Fig. 2: distribuzione spaziale della concentrazione media annua di  $NO_2$

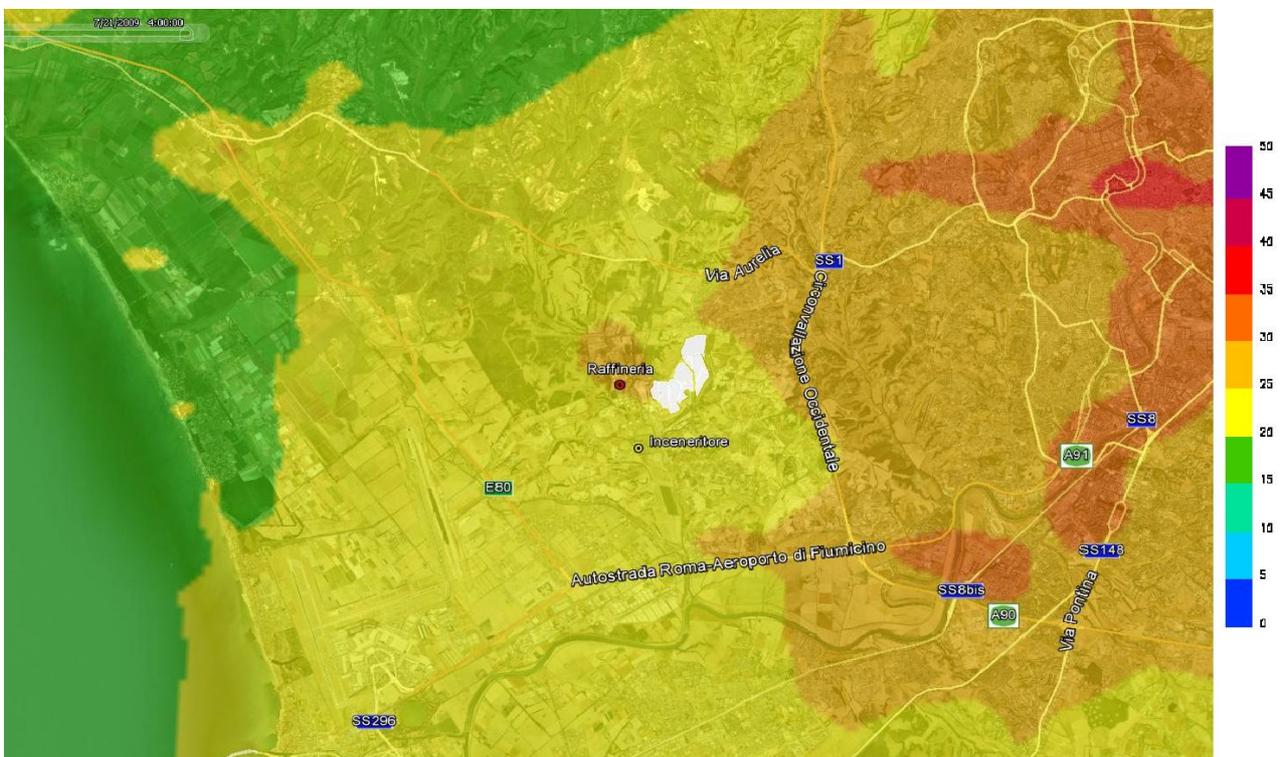


Fig. 3: distribuzione spaziale della concentrazione media annua di  $PM_{10}$

#### 4. METODOLOGIA PER LA STIMA DEL FOOTPRINT DELLE VARIE ATTIVITÀ INDUSTRIALI

Come illustrato nella Relazione Finale del Progetto ERAS, le simulazioni modellistiche sono state effettuate impiegando il modello lagrangiano a particelle SPRAY, sviluppato da ARIANET srl che è un modello di tipo non stazionario, capace di operare anche in un dominio orograficamente complesso e di fornisce, ora per ora, la distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione delle sostanze inquinanti simulate.

Le simulazioni sono state riferite alle condizioni meteorologiche e micrometeorologiche dell'anno 2005, come è stato chiarito nella relazione Finale di ERAS.

Per quanto riguarda la determinazione del dominio di calcolo, al fine di evitare problemi ai bordi del dominio stesso, è stata considerata una porzione di territorio decisamente più ampia dell'area di interesse. Questa scelta, da ritenersi conservativa, ha permesso di non *perdere* particelle generate dalle sorgenti emittive che possono essere *trasportate* al di fuori del dominio di calcolo scelto e quindi non incidere sulla stima della concentrazione al suolo provocandone una sottostima. Alla luce di queste osservazioni, nonostante le sorgenti siano raccolte in un area piuttosto limitata rispetto alle dimensioni del dominio scelto, la griglia di calcolo considerato per la simulazione è di 30 km x 30 km con una risoluzione orizzontale, in uscita dal modello, di 500 m. In Fig. 4 è riportato un ingrandimento del dominio considerato.

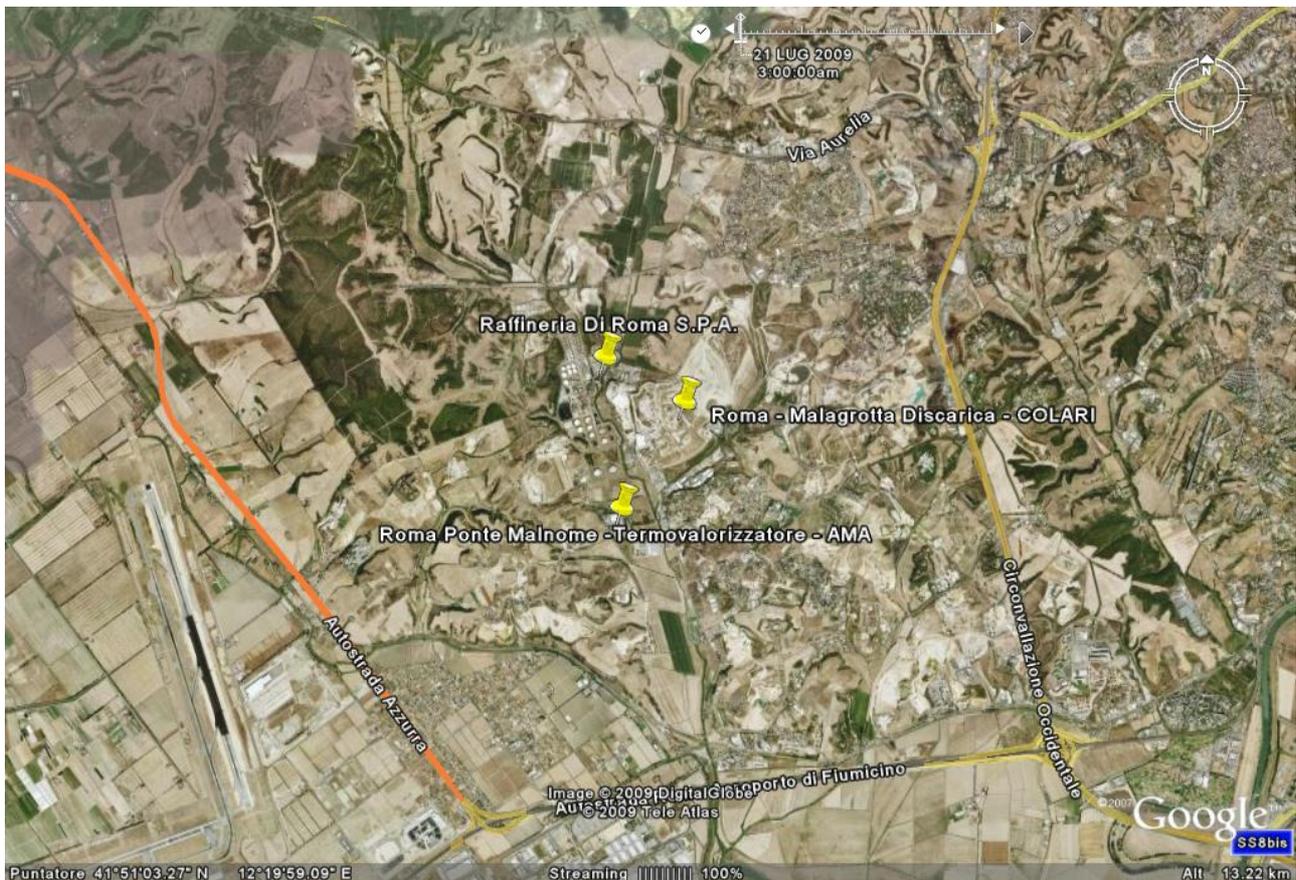


Fig. 4 – Zoom del dominio di calcolo utilizzato per la simulazione.

#### 4.1 La meteorologia considera

Il modello di simulazione della dispersione degli inquinanti in aria adottato è di tipo tridimensionale e non stazionario e quindi, per il suo funzionamento, necessita della conoscenza oraria della distribuzione spaziale (sia orizzontale che verticale) dei vari campi meteorologici (in parti-

colare le tre componenti del vento e la temperatura) e della turbolenza caratteristica della parte bassa dell'atmosfera (deviazioni standard delle componenti del vento, ecc.). Tali informazioni non possono essere direttamente dedotte dalle misurate realizzate da stazioni meteorologiche convenzionali poste al suolo, ma, al contrario, è necessaria una loro ricostruzione numerica ottenuta impiegando opportuni modelli meteorologici ed assimilando gli output numerici da essi prodotti con le misure disponibili. Per realizzare in tempi ragionevolmente brevi la simulazione senza, però, perdere in realistica, tali campi meteorologici e micrometeorologici, utilizzati nella simulazione modellistica, derivano dal sistema di analisi RAMS/ISAN, che realizza un *downscaling* delle ricostruzioni effettuate su tutto il territorio nazionale da parte del Ministero dell'Ambiente nel progetto MINNI relative all'anno 2005. Tale sistema, qui adottato, è in grado di ricostruire i campi meteorologici e micrometeorologici tridimensionali orari in ogni punto della griglia del dominio di calcolo considerato. A titolo di esempio, in Fig.5 è riportata la distribuzione spaziale media annua del campo di velocità del vento e della temperatura in prossimità del suolo ( $z = 10\text{m}$ ) e ad una quota rappresentativa ( $z = 50\text{m}$ ) sull'intero territorio regionale.

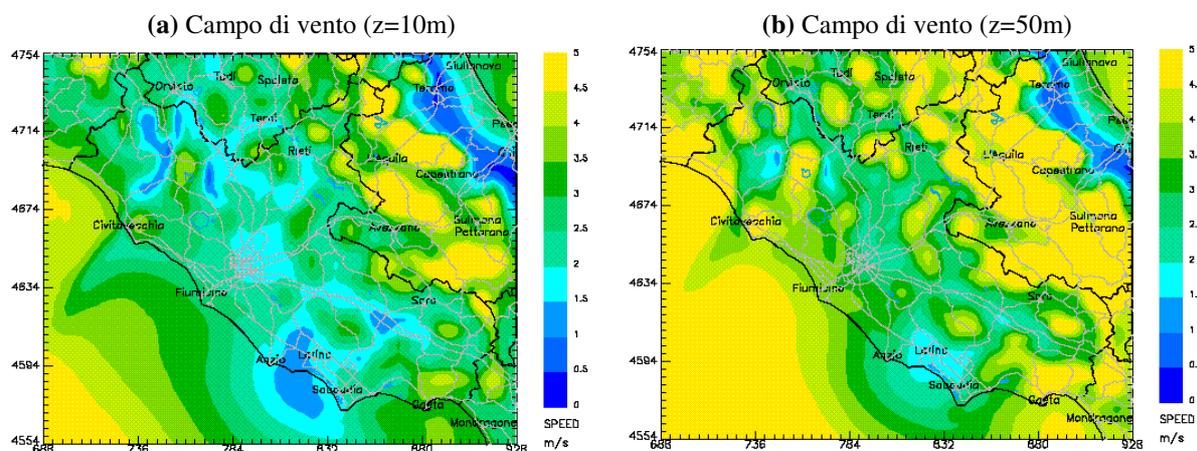


Fig.5 – campi di vento a 10m (a sinistra) ed alla quota di 50m (a destra)

Come si nota, entrambi i campi evidenziano una notevole variabilità spaziale, causata soprattutto dalla presenza dei rilievi orografici della zona, dalla presenza del mare e della linea di costa e dalle diverse destinazioni d'uso del suolo. Inoltre, da queste figure emerge, come ci si aspetta, che la velocità media annua rilevata in quota (figura a destra) sia superiore all'intensità del vento in prossimità della superficie (figura a sinistra).

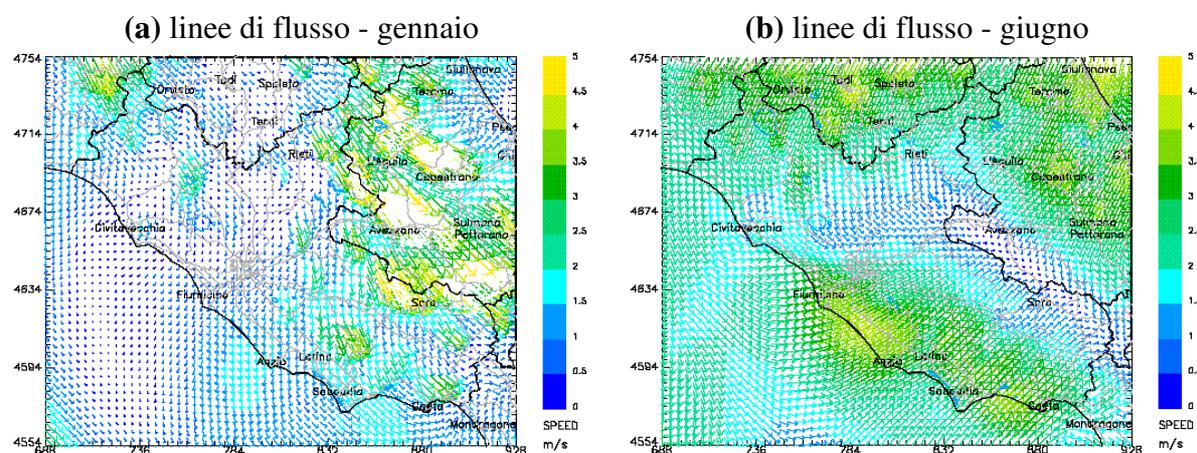


Fig.6 – linee di flusso in differenti condizioni atmosferiche stabili.

Per meglio comprendere l'elevato grado di complessità del flusso delle masse d'aria nella re-

gione, in *Fig. 6* sono riportate le linee di flusso del campo di vento (cioè le traiettorie percorse dalle diverse masse d'aria) rappresentative di una tipica situazione di stabilità atmosferica (figura a sinistra), tipica soprattutto delle situazioni diurne invernali e/o nuvolose e/o di brezza di terra, ed una tipica situazione convettiva (figura a destra), tipica delle situazioni diurne, estive e soleggiate nel dominio comprendente la zona di Malagrotta.

Le figure precedenti evidenziano come si venga ad instaurare una diversa circolazione nelle due tipiche situazioni di stabilità atmosferica considerate. In particolare, si evidenzia che nelle condizioni di instabilità atmosferica, cioè in situazioni diurne, estive e soleggiate, si venga ad instaurare un regime di circolazione di brezza marina tipica di queste situazioni meteorologiche caratterizzato da flussi d'aria che dal mare fluiscono verso l'interno.

Per meglio evidenziare la dinamica delle masse d'aria nell'area in esame, in *Fig.7* sono riportate le rose dei venti, a diverse quote (10, 100 e 1800 m), derivanti dai campi meteorologici tridimensionali utilizzati nella simulazione. La rosa dei venti a 10 m rappresenta la situazione che si viene a creare al suolo e che risente della situazione orografica complessa della zona. La rosa dei venti a 100 m evidenzia come tale situazione permanga ancora entro lo strato superficiale della parte bassa dell'atmosfera mentre la rosa relativa alla quota di 1800 m rappresenta la situazione a mesoscala.

Analizzando con maggior dettaglio la distribuzione dei venti alle quote  $z = 10\text{m}$  e  $z = 100\text{m}$  (*Fig. 7a e 7b*) si evidenziano due direzioni del vento dominanti, da SW e da NE, dovute rispettivamente alla caratteristica circolazione di brezza marina che si osserva durante i mesi estivi nelle zone in prossimità della costa ed alla circolazione invernale. Tale comportamento risulta chiaramente marcato negli strati atmosferici in prossimità della superficie terrestre dove sono dominanti i fenomeni meteorologici a mesoscala. Con l'aumentare della quota, invece, si osserva un incremento della velocità del vento favorito dalla progressiva diminuzione della resistenza meccanica dovuta alla superficie terrestre ed una distribuzione dei venti che risente maggiormente dell'intrusione di fenomeni a scala sinottica in grado di sovrapporsi fino a nascondere (a quote superiori all'altezza di rimescolamento) l'influenza dell'orografia.

Per meglio evidenziare le peculiarità stagionali, nelle *Fig 8a e 8b* viene mostrata la distribuzione dei venti alla quota di 10 m nei mesi di gennaio (*Fig. 8a*) e giugno (*Fig. 8b*) da cui emerge la circolazione di brezza marina con venti che raggiungono un'intensità di 5 m/s.

## Rose dei venti (gennaio-giugno)

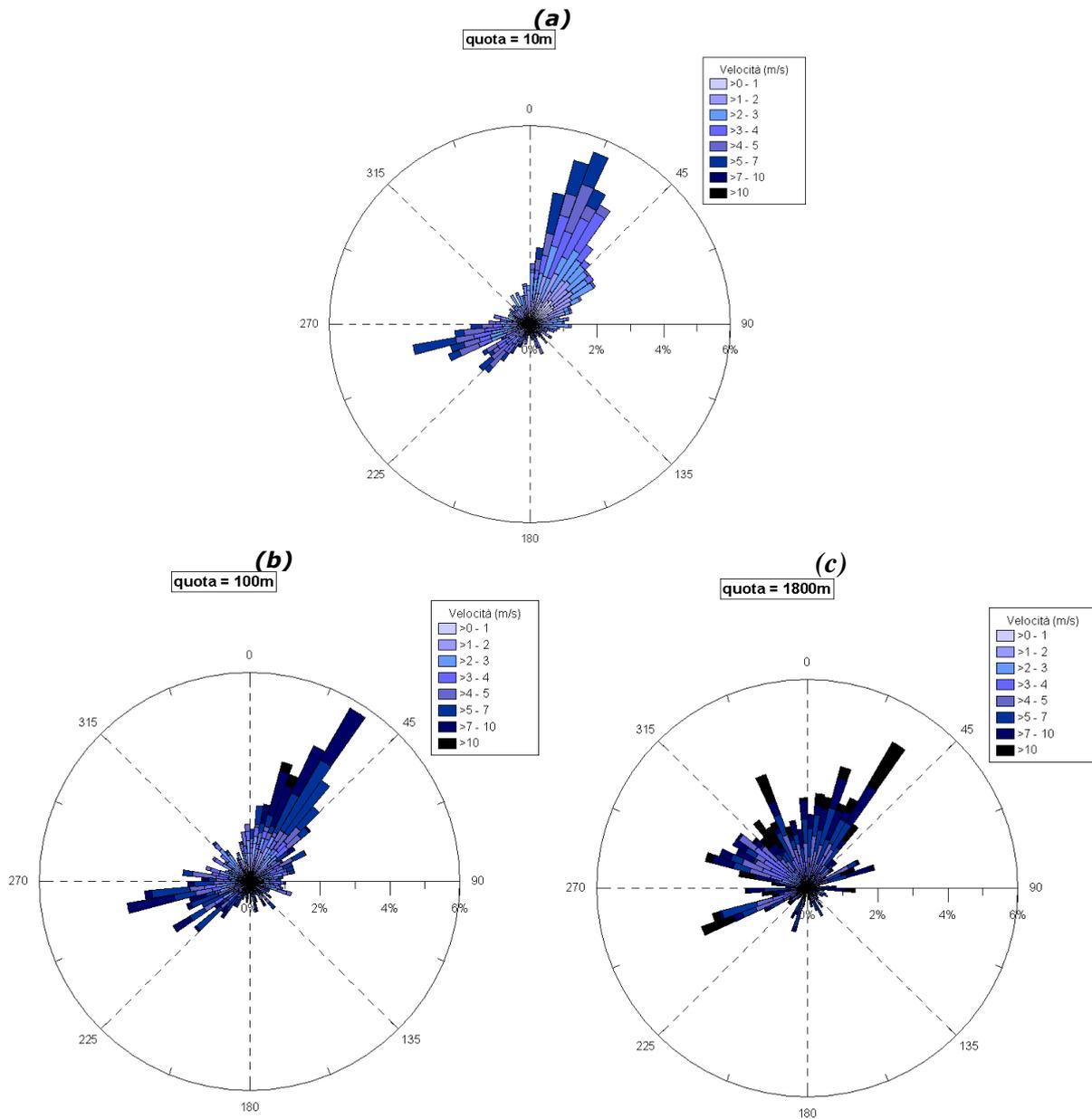


Fig. 7 – Rose dei venti rappresentative del periodo gennaio-giugno a differenti quote.  $z=10m$  (a),  $z=100m$  (b),  $z=1800m$  (c).

### Rose dei venti - quota = 10m

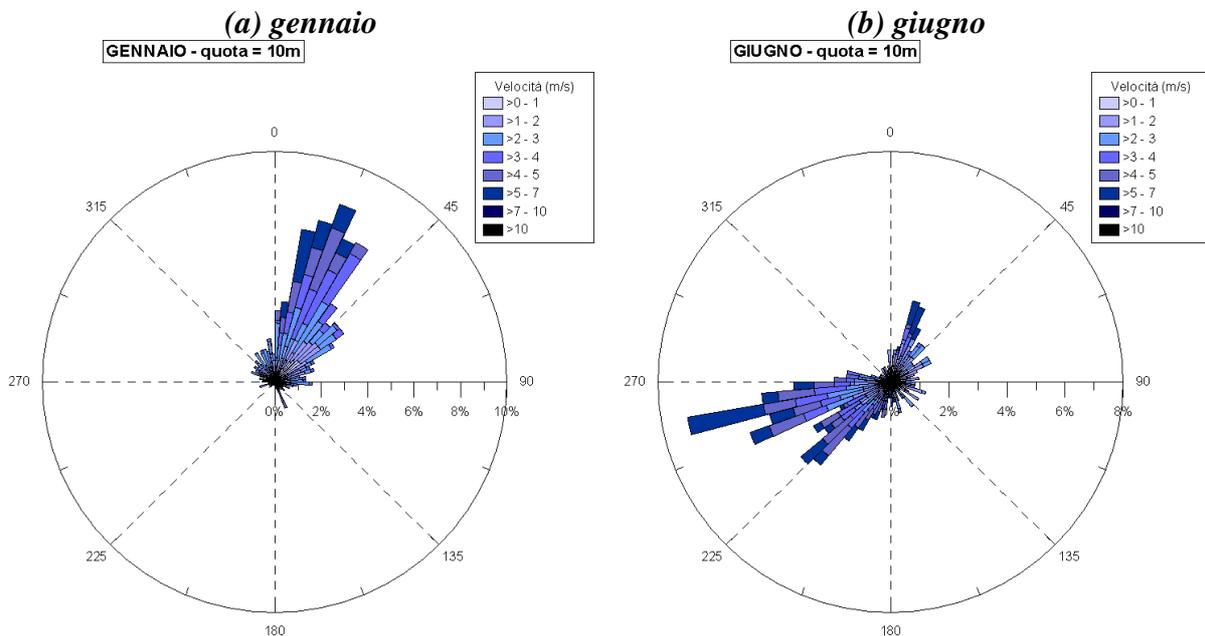


Fig.8 – Rose dei venti alla quota  $z = 10m$  del mese di gennaio (a) e giugno (b).

Il comportamento, spesso trascurato, dei parametri micrometeorologici assume un'importanza fondamentale nell'interpretazione dei risultati ottenuti da un modello di dispersione lagrangiano poiché risulta essere la chiave che permette di legare l'andamento dei parametri meteorologici (temperatura, velocità e direzione del vento, pressione) alle concentrazioni in prossimità del suolo degli inquinanti che vengono ricostruite dal modello di simulazione stesso.

### Altezza di Rimescolamento

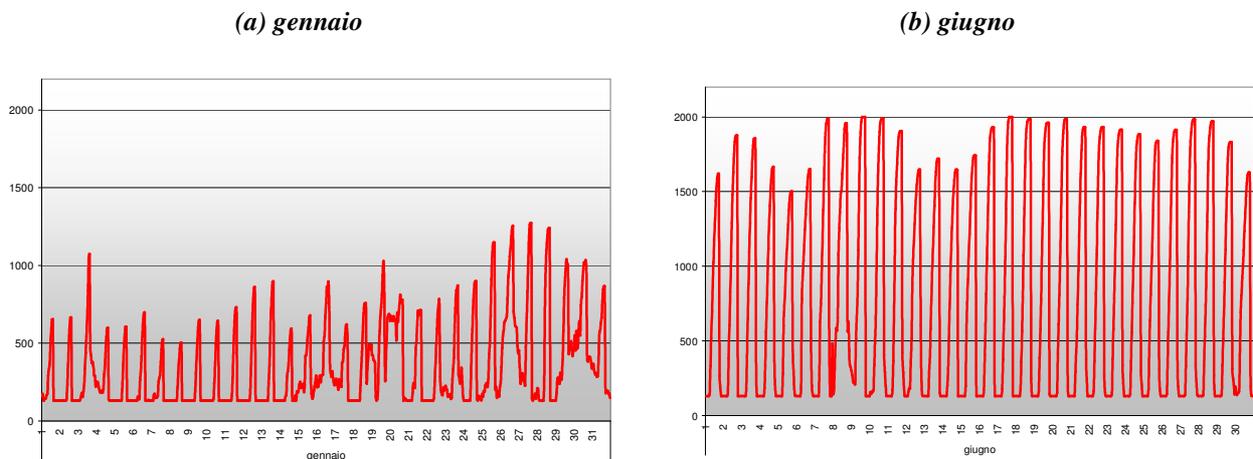


Fig.9 – Evoluzione oraria dell'altezza di rimescolamento nei mesi di gennaio (a) e giugno (b).

Al fine di ottenere informazioni sull'intensità della turbolenza caratteristica dei periodi simulati, di seguito è riportato il comportamento, nei mesi di gennaio e giugno, dell'altezza di rimescolamento ( $h_{mix}$ ) della velocità di frizione ( $u_*$ ) e della velocità convettiva di scala ( $w_*$ ) che esprimono, rispettivamente, una misura dell'altezza della *PBL* e dell'intensità della turbolenza di origine sia meccanica che termica. Va ricordato che il *Planetary Boundary Layer (PBL)* è la parte di troposfera più vicina la suolo, direttamente influenzata dalla superficie terrestre, in cui si sviluppa in modo significativo e continuo la turbolenza che è poi il motore principale della dispersione degli inquinanti in aria. Come è lecito aspettarsi, si osserva un incremento dell'intensità della turbolenza nel mese di giugno rispetto al mese di gennaio dovuto all'instaurarsi della forzante termica caratteristica dei mesi estivi. Tale comportamento produce una crescita del *PBL* che, durante le ore diurne dei mesi estivi, è in grado di estendersi oltre 1500m a fronte di quanto osservato nei mesi invernali quando si mantiene generalmente inferiore ai 1000m. Pertanto, una sostanza inquinante che, durante i mesi estivi, viene rilasciata anche in prossimità del suolo ha a disposizione un volume di atmosfera maggiore, rispetto ai mesi invernali, entro il quale disperdersi poiché catturata nei flussi convettivi in grado di estendersi per tutto il *PBL* favorendo quindi un eventuale diluizione e quindi il decremento della concentrazione nei strati atmosferici in prossimità della superficie terrestre.

#### Velocità di frizione ( $u^*$ ) e velocità convettiva di scala ( $w^*$ )

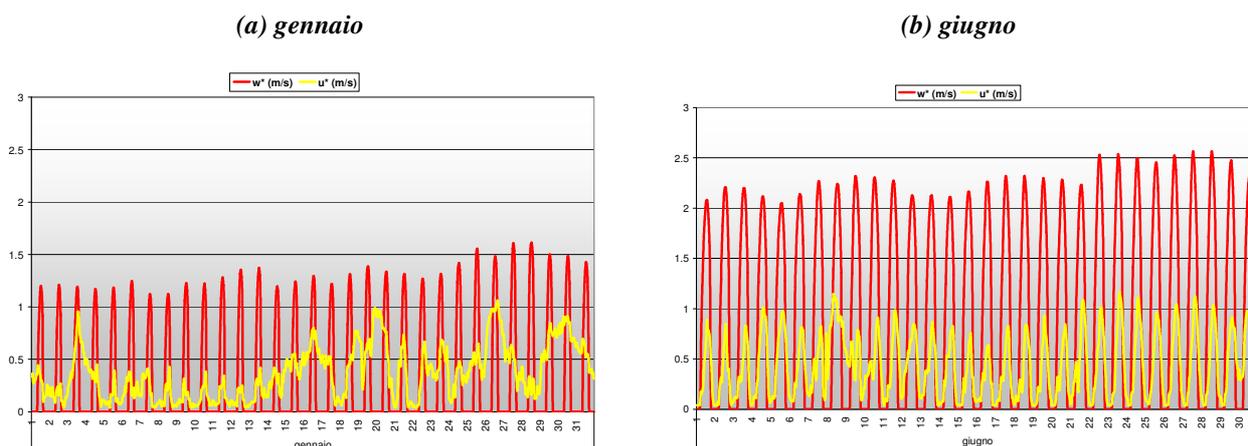


Fig.10 – Andamento della friction velocity  $u^*$  (a), e della velocità convettiva di scala  $w^*$  (b).

## 4.2 Il quadro emissivo

Come detto, il presente studio prende in considerazione esclusivamente le sorgenti non residenziali presenti nella zona di Malagrotta, cioè le emissioni industriali convogliate (della Raffineria di Roma, dell'Inceneritore di rifiuti ospedalieri dell'AMA, le sorgenti convogliate della discarica di Malagrotta ed il gassificatore), individuabili in altrettante ciminiere e classificabili come sorgenti puntuali, le sorgenti dalle principali arterie stradali schematizzabili e classificabili come sorgenti di tipo lineare, e la sorgente diffusa legata all'area di coltivazione dei lotti della discarica di Malagrotta. Pertanto il quadro emissivo, di seguito esposto, considerato nelle simulazioni della valutazione della qualità dell'aria è, in sostanza, riconducibile alle seguenti categorie di sorgenti :

- sorgenti puntuali;
- sorgenti stradali;
- sorgenti diffuse (discarica).

## Sorgenti puntuali

Ai fini della simulazione modellistica delle sorgenti puntuali rivestono particolare importanza le caratteristiche sia fisiche che geometriche dei punti di emissione degli impianti che considerati, cioè:

- la loro localizzazione geografica,
- la quota di rilascio dei fumi,
- il diametro interno della ciminiera,
- la temperatura di uscita dei fumi,
- la velocità di uscita dei fumi.

Mentre per la raffineria e l'inceneritore di rifiuti ospedalieri l'individuazione delle sorgenti convogliate di tipo puntuale da considerare era evidente, nel caso della discarica la situazione era decisamente più *sfumata* vista la complessità dei vari impianti in essa presenti ed attivi. Considerando il regime di funzionamento e la rilevanza delle emissioni si è ipotizzato, in prima istanza, di considerare nella simulazione solo i punti di emissione (camini) corrispondenti agli impianti di produzione di energia elettrica localizzati all'interno della discarica stessa alimentati dal biogas raccolto dal sistema di captazione presente nei vari lotti ancora attivi della discarica stessa. Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geografiche, geometriche e di emissioni delle singole sorgenti puntuali presenti nelle tre macro-sorgenti industriali considerate. Tutti i valori riportati sono stati desunti da quanto riportato nelle rispettive autorizzazioni. Come si vede, la stragrande maggioranza delle informazioni è risultata nota, salvo il caso di un camino della raffineria per cui sono stati utilizzati valori ragionevoli di default.

Impianto	Camino	X (UTM32)	Y (UTM32)	Altezza camino (m)	Diametro ca- mino (m)	Temperatura (K)	Velocità di uscita fumi (m/s)
Raffineria	H2701	775821	4639223	72	2.9	623	4.9
Raffineria	H2051	775963	4639191	70	1.9	508	3.8
Raffineria	H2101	775945	4639220	36	1.2	723	2.4
Raffineria	H2102	775937	4639218	37	1.2	663	1.9
Raffineria	H2451	775924	4639286	40	1.1	498	5.9
Raffineria	H2303	775913	4639309	41	2.1	538	1.1
Raffineria	H2301A/B	775921	4639327	40	2.2	573	3.5
Raffineria	H2351	775909	4639325	43	2.4	493	1
Raffineria	H2201	775901	4639322	31	1.5	603	2.6
Raffineria	H2251	775827	4639275	65	2.5	493	2.7
Raffineria	H2901	775841	4639242	31	0.9	523	5.1
Raffineria	H2902	775835	4639236	36	0.8	543	5.3
Raffineria	X0501B	776011	4639404	25	1.8	423	5.4
Raffineria	H2603	776011	4639404	26	0.9	553	2.2
Raffineria	H3102	775984	4639725	50	1.4	773	1.2
Raffineria	H1701	775968	4639132	12	7.3	*	*
Discarica	TRBGAS1	776721	4638815	14	1.6	643	19.5
Discarica	TRBGAS2	776721	4638815	14	1.6	714	21.7
Discarica	CATER1	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER2	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER3	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER4	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER5	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER6	777456	4639022	9	0.6	758	11.1
Discarica	CATER7	777426	4639067	4	0.4	803	26.5
Discarica	CATER8	777426	4639067	4	0.4	803	26.5
Discarica	CATER9	777426	4639067	4	0.4	803	26.5
Inceneritore	CAMINO	776250	4637931	80	1.13	387	15.5
Gassificatore	Eb2	776722	4638804	20	2.5	473	15

Oltre alle caratteristiche geografiche (coordinate geografiche UTM 32), geometriche (altezza di emissione e diametro interno della ciminiera) e di emissione (velocità e temperatura dei fumi), un'altra informazione indispensabile nella simulazione della dispersione è costituita dal tipo di inquinanti emessi e dal relativo tasso di emissione. Nel calcolo dell'impronta degli impianti che in qualche modo presentano processi di combustione, come già si è detto di è considerata come sostanza *marker* gli Ossidi di Azoto NO<sub>x</sub>, anche se dalle autorizzazioni sono stati desunti, per ogni inquinante emesso da ogni singola sorgente, i tassi di emissione relativi. E' necessario sottolineare il fatto che i tassi di emissione caratteristici di ogni sorgente inquinante sono costituiti dai flussi di massa annui (tonnellate/anno). Il quadro completo che ne risulta è raccolto nella tabella seguente. Va, ovviamente ricordato che la dispersione degli inquinanti in atmosfera viene simulata ora per ora e quindi, ai fini della simulazione stessa, dai flussi di massa annui sono stati dedotti i necessari tassi di emissione oraria applicando un'opportuna modulazione temporale che tenesse conto dei cicli lavorativi dei vari impianti considerati.

Punto di emissione		Inquinante (t/a)						
Impianto	Camino	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COV	PST	IPA	H <sub>2</sub> S
Raffineria	H2701	507	71.5	1.53		0.49	4.00E-08	3.86E-02
Raffineria	H2051	979.5	103.5	2.06		0.19	2.00E-07	1.91E+00
Raffineria	H2101	9.9	5.2	0.32		5.26	1.00E-08	4.34E-02
Raffineria	H2102	146.8	6.3	0.39		5.26	2.00E-08	5.36E-02
Raffineria	H2451	30.3	14.8	0.91		0.08	4.00E-08	1.23E-01
Raffineria	H2303	23.1	11.4	0.19		0.06	1.00E-07	5.75E-03
Raffineria	H2301A/B	66.5	33.1	0.86		0.22	2.00E-08	1.67E-02
Raffineria	H2351	37	15.8	1.01		0.13	1.00E-07	8.30E-03
Raffineria	H2201	22.8	11.1	0.7		7.01	3.00E-05	9.46E-02
Raffineria	H2251	182	25.9	2.08		0.23	2.00E-08	2.08E-02
Raffineria	H2901	22.2	10.9	0.67		6.13	3.00E-05	9.13E-02
Raffineria	H2902	18.5	9	0.55		6.13	2.00E-05	7.48E-02
Raffineria	X0501B	337.4	80.6	1.54		0.3	2.00E-08	1.81E-02
Raffineria	H2603	8.4	4.4			5.26		
Raffineria	H3102	319.2	2.7			10.51		
Raffineria	H1701	28.8	7			7.01		
Discarica	TRBGAS1		36.79	91.98				
Discarica	TRBGAS2		36.79	78.84				
Discarica	CATERP1		6.13	6.86				
Discarica	CATERP2		6.13	6.86				
Discarica	CATERP3		6.13	6.86				
Discarica	CATERP4		6.13	6.86				
Discarica	CATERP5							
Discarica	CATERP6							
Discarica	CATERP7		6.13	6.86				
Discarica	CATERP8		6.13	6.86				
Discarica	CATERP9							
Inceneritore	CAMINO	1.16	14.58	0.67	0.18	0.05	3.65E-06	
Gassificatore	Eb2		137	159		9		

### Sorgenti stradali

Ignorando la viabilità locale minore e concentrandosi solo sulle arterie a grande traffico e su quei tratta stradali locali percorsi da un intenso traffico indotto dalle attività industriali della zona, si è giunti ad individuare le seguenti arterie stradali come significative per lo studio in oggetto:

- Grande Raccordo Anulare (come parte della Circonvallazione Occidentale);
- tratto della Via Aurelia;
- Via di Malagrotta;
- Via di Ponte Galeria;
- Via della Pisana;
- tratto dell'autostrada Roma-Fiumicino;
- tratto dell'autostrada Roma-Civitavecchia.

Ai fini della simulazione, ogni arteria stradale è stata analizzata impiegando un opportuno sistema cartografico. In particolare, ogni singola arteria è stata scomposta in un insieme ragionevolmente piccolo di tronchi rettilinei. Di ogni tronco sono state individuate le coordinate geografiche del nodo di inizio e di fine tronco. Nella realtà, il modello di simulazione non considera i singoli tronchi come vere e proprie sorgenti lineari, ma come sorgenti areali di forma parallelepipedica con il lato trasversale alla direzione del flusso di autoveicoli di dimensione molto minore rispetto alla direzione di marcia. Se la dimensione lungo il senso di marcia veniva determinata dalle coordinate geografiche degli estremi del tronco, le dimensioni trasversali dello stesso venivano legate al numero di corsie complessive caratteristico dell'arteria stradale di cui il tronco faceva parte.

Partendo dall'analisi fatta nell'ambito del Piano di Risanamento della Regione Lazio e, quando necessario (nel caso della viabilità locale ad intenso traffico di veicoli pesanti), da indagini specifiche condotte in collaborazione con ISPRA, si è giunti alla determinazione nei flussi di massa annui (tonnellate/anno) relative a SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>10</sub> e COV. Tali valori sono riportati graficamente in Fig.11. Va comunque ricordato che, anche in questo caso, la sostanza *marker* è costituita dagli Ossidi di Azoto NO<sub>x</sub>.

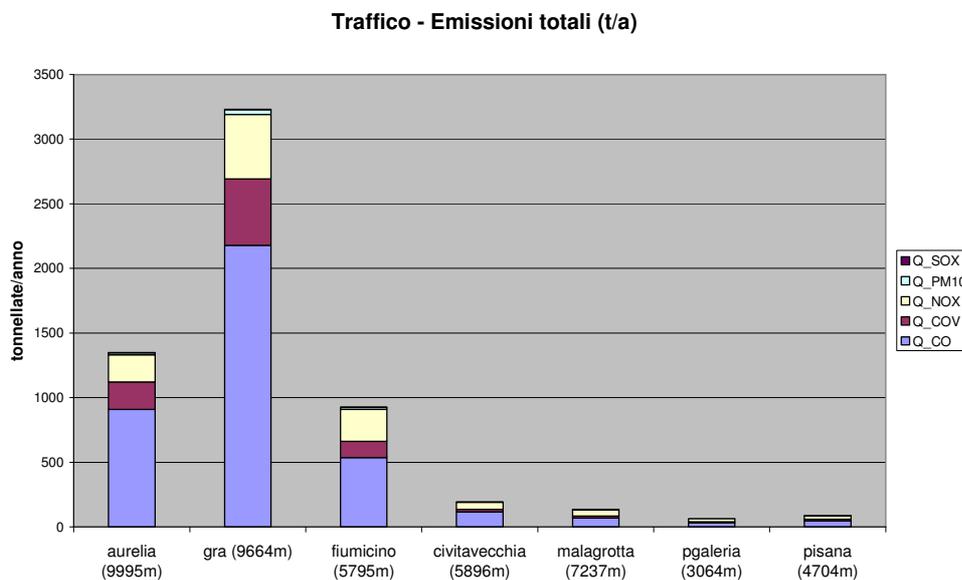


Fig.11 – Valore di emissione (t/a) per ogni tratto stradale simulato

Anche in questo caso va ricordato che il modello di dispersione richiede tassi di emissione a livello orario; tali valori sono stati dedotti dai flussi di massa annui impiegando una ripartizione temporale congruente con il profilo di flussi di traffico caratteristici dei vari giorni della settimana.

### Sorgenti diffuse

Al fine di stimare l'impatto delle sorgenti industriali presenti nel comprensorio di Malagrotta è stata effettuata la ricostruzione modellistica della discarica cui, dal 1984, vengono conferiti i rifiuti dell'area metropolitana di Roma. La superficie della discarica, di seguito riportata, si estende per circa 120 Ha e rappresenta la discarica più grande d'Europa. La discarica è suddivisa in 12 lotti (sottoaree della discarica) di dimensioni differenti ed il cui *tempo di vita* risulta variabile in funzione della quantità di rifiuti conferiti in ogni singolo lotto e della volumetria di ogni singolo lotto e della quantità di rifiuti conferiti ogni anno in ognuno di essi.

LOTTO	SUPERFICIE (Ha)	VOLUMETRIA (m <sup>3</sup> )	DATE DI COLTIVAZIONE
A	5.6	1500000	Esaurito nel 1987
B	21.86	5300000	Esaurito nel 1988
C	17.18	4500000	Esaurito nel 1993
D	12.67	4600000	in esercizio dal giugno 2003
E	13.61	2700000	in esercizio dal 1992 al 1997
F	16.32	3100000	in esercizio dal 1993 al 2001
G	4.70	2700000	in esercizio dal 1988 al 1991
H	11.31	3500000	in esercizio dal 2001
I	7.85	3400000	in esercizio da giu. a dic. '02
L	8.06	1000000	in esercizio dal 1998 al 2001
Lotto intercluso		900000	in esercizio dal 2006
Totale	119.16 (+lotto intercluso)	33200000	

Nella Fig.12 è riportata la discarica con la geometria dei singoli lotti.

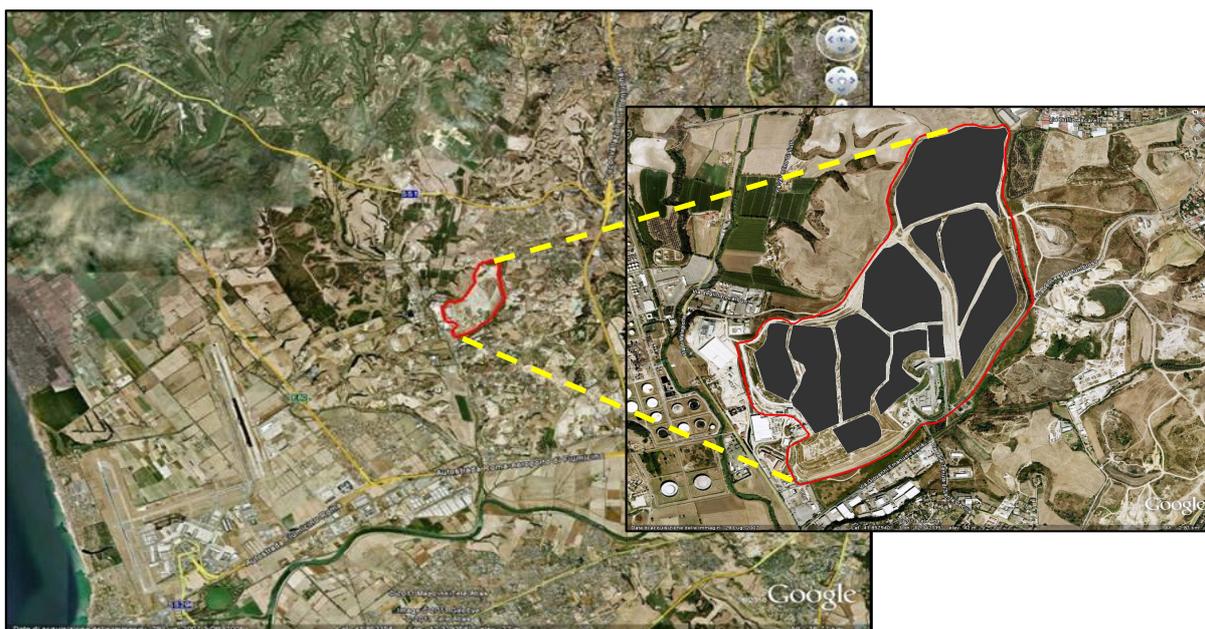


Fig12 - Perimetro della discarica e dei singoli lotti di Malagrotta.

Come si è detto nella Relazione Finale del Progetto ERAS, la sostanza marker per le discariche è l'idrogeno solforato H<sub>2</sub>S e ciò vale anche per la discarica di mala grotta. Applicando la metodologia descritta nella relazione Finale, si è stimato che le emissioni annue totali di H<sub>2</sub>S fosse pari a 11 t/a.

Ai fini modellistici è necessario a questo punto definire dal punto di vista geometrico la posizione e la dimensione de lotti in modo tale che questa informazione sia compatibile e quindi *digeribile* dal modello di simulazione. Pertanto la forma di ogni singolo lotto è stata schematizzata con una serie di quadrati di dimensioni e in numero tali da approssimare il più realisticamente possibile la forma dell'intera discarica e sui quali spalmare le singole informazioni emissive in

funzione della percentuale di area contenuta (Fig. 13).

*geometria reale dei singoli lotti*

*approssimazione modellistica dei singoli lotti*

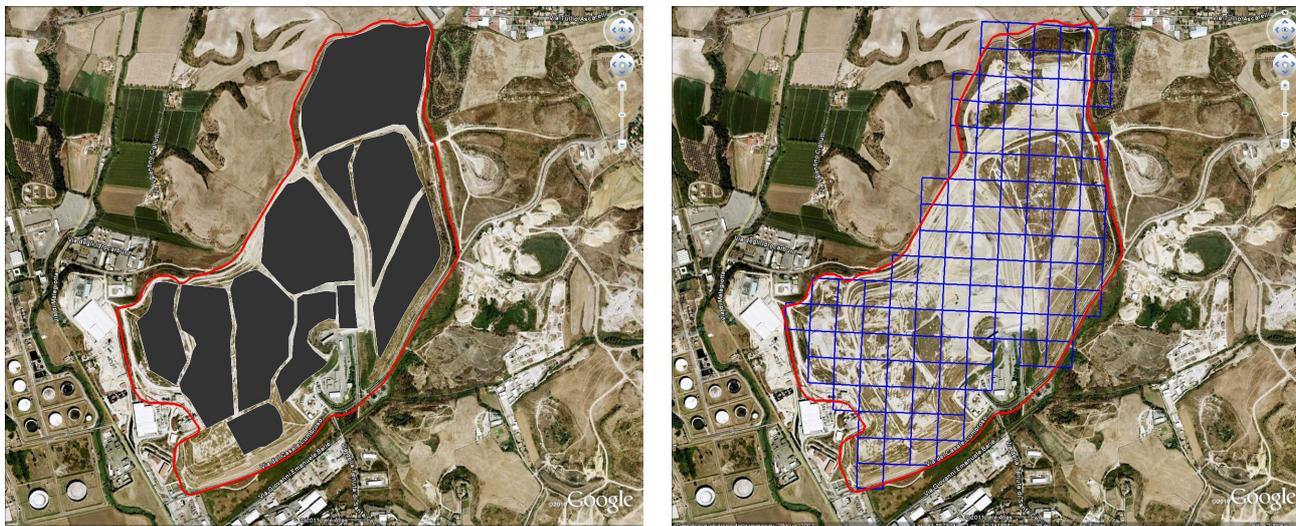
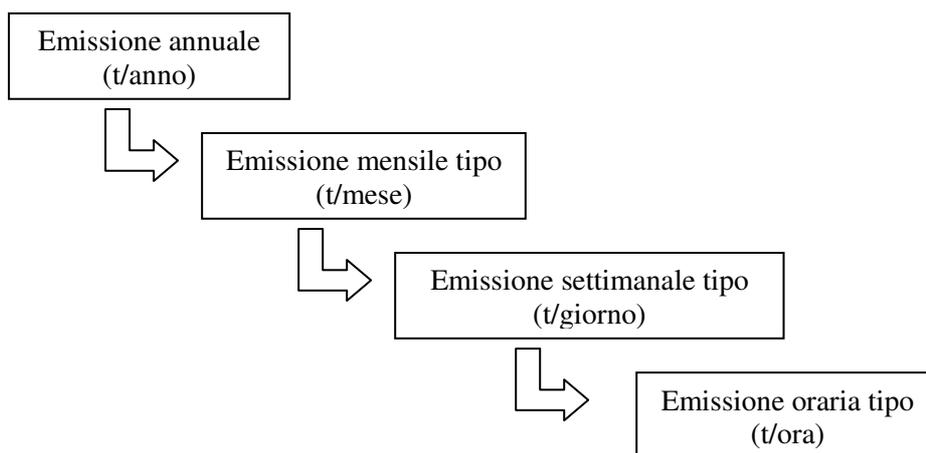


Fig.13 – Approssimazione geometrica dei singoli finalizzata alla ricostruzione modellistica

### Modulazione temporale delle emissioni

Il modello di simulazione della dispersione degli inquinanti in aria ricostruisce, a livello orario, la distribuzione spaziale della concentrazione dei vari inquinanti. Come detto, perché ciò risulti possibile è indispensabile la conoscenza dei *tassi di emissione orari* delle varie sostanze inquinanti emesse dalle differenti sorgenti (puntuali e lineari). Pertanto, le emissioni note originariamente come emissioni annuali, sono state *modulate* a livello orario per tutto il periodo su cui è effettuata la ricostruzione. Qui si è adottato uno schema consueto di modulazione illustrato nello schema a blocchi sottostante.



I parametri di riferimento utilizzati per la simulazione sono:

✓ per gli impianti industriali

- le caratteristiche geometriche delle fonti di emissione: coordinate, altezza e diametro dei singoli punti di emissione;
- le caratteristiche fisiche delle fonti di emissione: velocità e temperatura di uscita dei

- fumi;
  - emissione annua dei vari inquinanti in termini di flusso di massa.
- ✓ per le sorgenti stradali
- le caratteristiche geometriche dei segmenti stradali: coordinate di inizio e fine di ogni segmento stradale rettilineo, ampiezza della carreggiata;
  - emissione annua dei vari inquinanti in termini di flusso di massa secondo.
- ✓ per le sorgenti areali (discarica)
- le caratteristiche geometriche e operative dei singoli lotti (dimensione, volumetria, età);
  - emissione annua di ogni singolo lotto.

Per *modulare* il flusso di massa annuale delle sorgenti emmissive vengono generalmente utilizzati dei coefficienti di proporzionalità (a livello mensile, settimanale e giornaliero) tipici di sorgenti della stessa tipologia di quelli trattati e in grado di tener conto del differente livello di operatività delle sorgenti stesse durante un anno tipico.

Nel caso considerato, in mancanza di informazioni specifiche riguardanti i coefficienti di modulazione temporale richiesti dal modello, le emissioni puntuali e la sorgente areale (discarica) sono state distribuite *uniformemente* lungo tutto il periodo di calcolo poiché si è ritenuta essere questa la scelta più conservativa. Sostanzialmente è stata adottata l'ipotesi di massima operatività delle sorgenti simulate lungo tutto l'arco delle 24 del giorno tipo compatibilmente con i valori annui di emissione.

In via preliminare, nel caso delle sorgenti stradali la modulazione temporale per ora adottata tiene conto dei differenti flussi di traffico in funzione della tipologia di strada e del parco circolante secondo i coefficienti di modulazione riportati in Fig. 14 (modulazione settimanale) e Fig. 15 (modulazione giornaliera).

### *Modulazione settimanale*

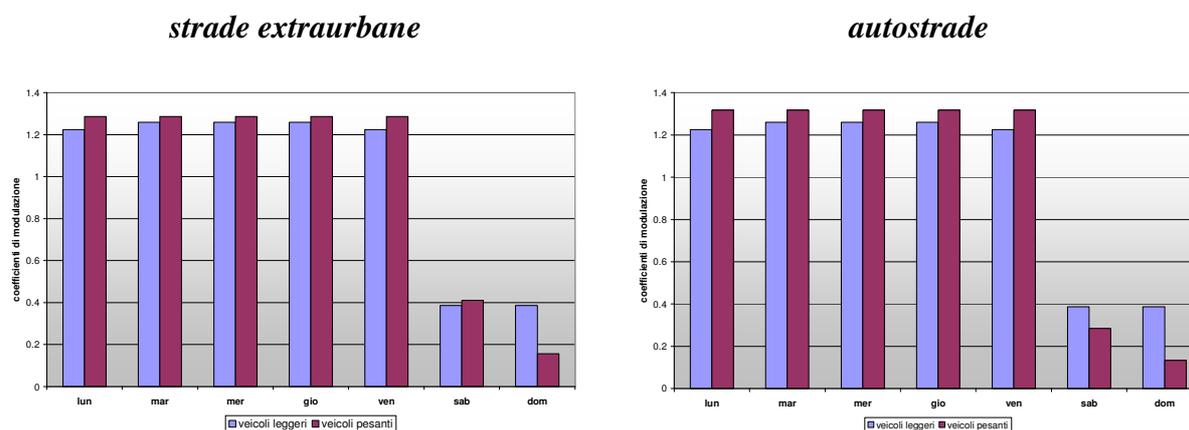
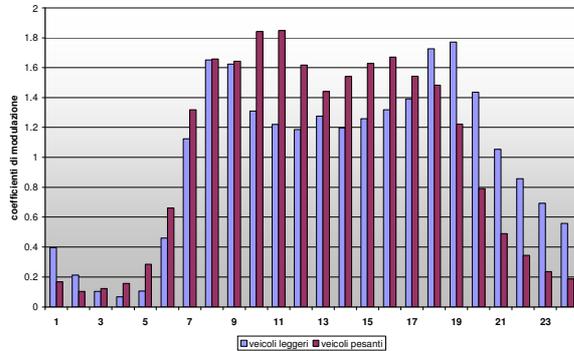


Fig. 14 – modulazione settimanale per tipologia di strada (strade extraurbane e autostrade) per tipologia di veicolo (mezzi leggeri e pesanti) utilizzata nella simulazione.

## Modulazione giornaliera

### strade extraurbane



### autostrade

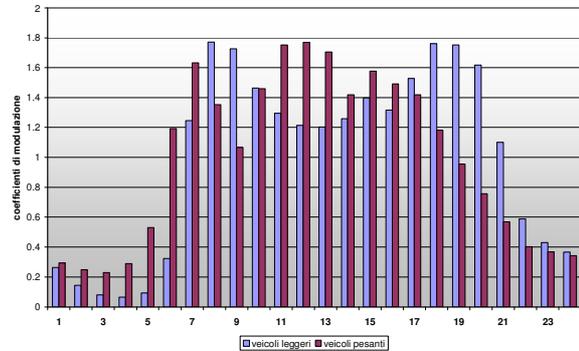
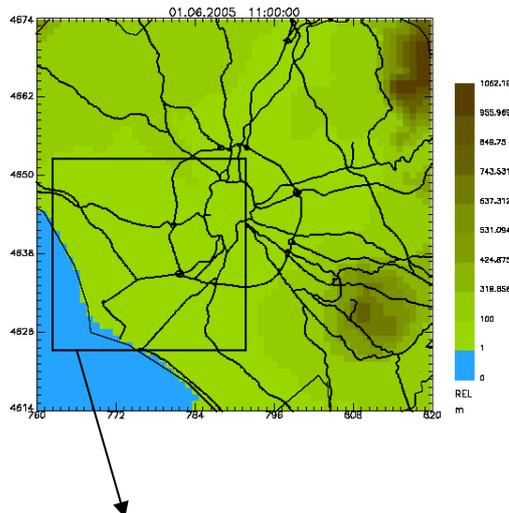


Fig. 15 – modulazione giornaliera per tipologia di strada (strade extraurbane e autostrade) e per tipologia di veicolo (mezzi leggeri e pesanti) utilizzata nella simulazione.

## 5. STIMA DEL FOOTPRINT DELLE VARIE ATTIVITÀ INDUSTRIALI

Il dominio di calcolo, cioè l'area considerata nella simulazione, (Fig.16), ricopre un'area di 900 km<sup>2</sup> (30 km x 30 km) con una risoluzione orizzontale di 500 m, centrato intorno alle sorgenti di emissione considerate (Fig.17).

*(dominio 60Km x 60Km; risoluzione 1000m)*



*(dominio 30Km x 30Km; risoluzione 1000m)*

Fig.16 – porzione di territorio laziale che rappresenta il dominio di calcolo utilizzato nella presente simulazione

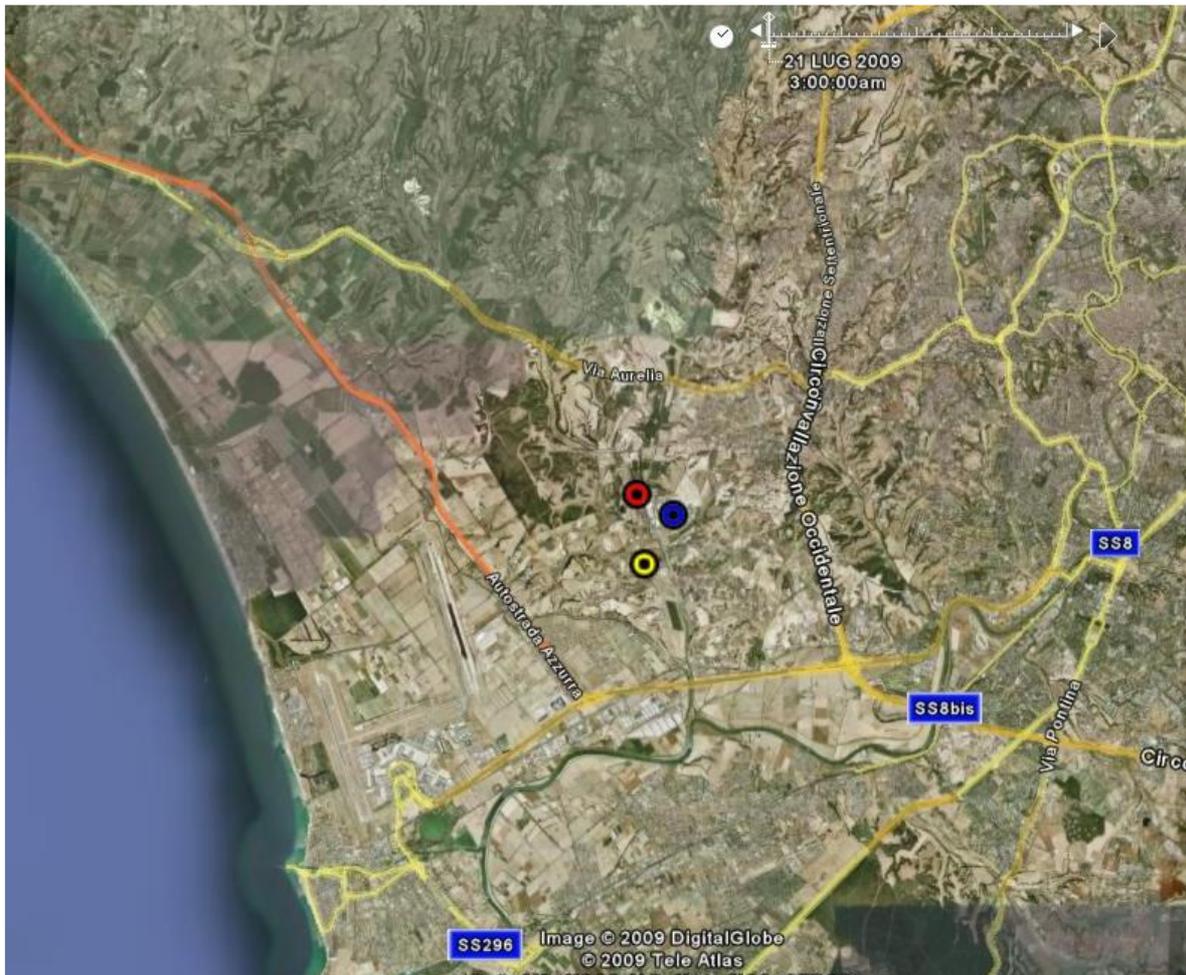


Fig.17 – Rappresentazione cartografica del dominio di calcolo utilizzato per la simulazione (Raffineria di Roma in rosso, Inceneritore AMA in giallo, Discarica in blu).

### 5.1 Footprint della Discarica di Malagrotta

Sulla base delle emissioni della sostanza *marker*  $H_2S$ , la metodologia modellistica ha consentito di determinare il *footprint* dell'impianto, cioè l'area entro cui la concentrazione media annuale della sostanza *marker* risulta non inferiore a 0.1 volte la concentrazione annua massima stimata nell'intero dominio di calcolo.

In particolare, la modellizzazione:

- ha stimato come concentrazione media annua di  $H_2S$  entro l'intero dominio di calcolo sia pari a circa  $3 \mu g/m^3$ ,
- l'area entro cui la concentrazione media annua di sostanza *marker* risulta non inferiore a 0.01 volte la concentrazione massima annua stimata ha una forma decisamente regolare, segno indicativo del fatto che la zona di Malagrotta non è caratterizzata da effetti orografici particolarmente severi.

Tutto è rappresentato nella Fig. 18, mentre nella Fig.19 il *footprint* è stato rappresentato in maniera tridimensionale.

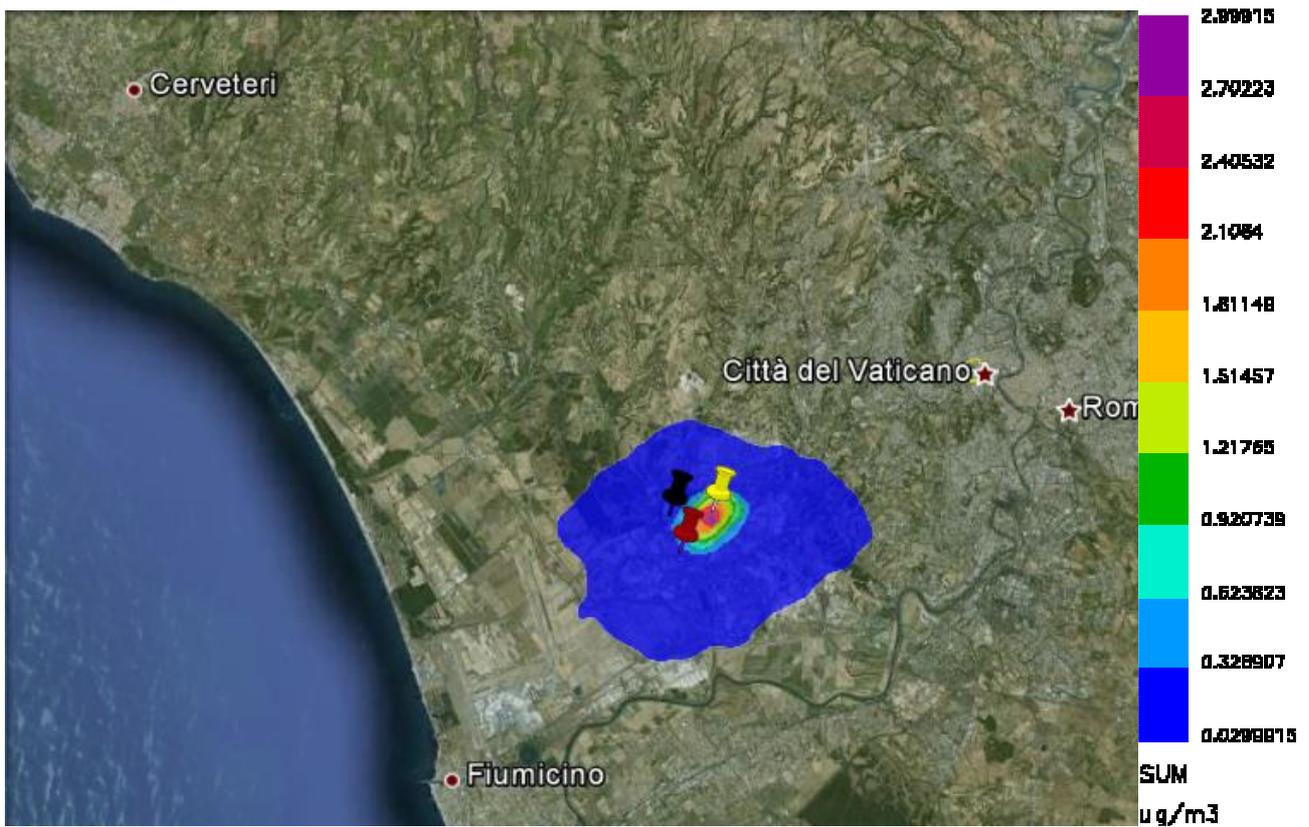


Fig. 18 – Footprint della discarica di Malagrotta

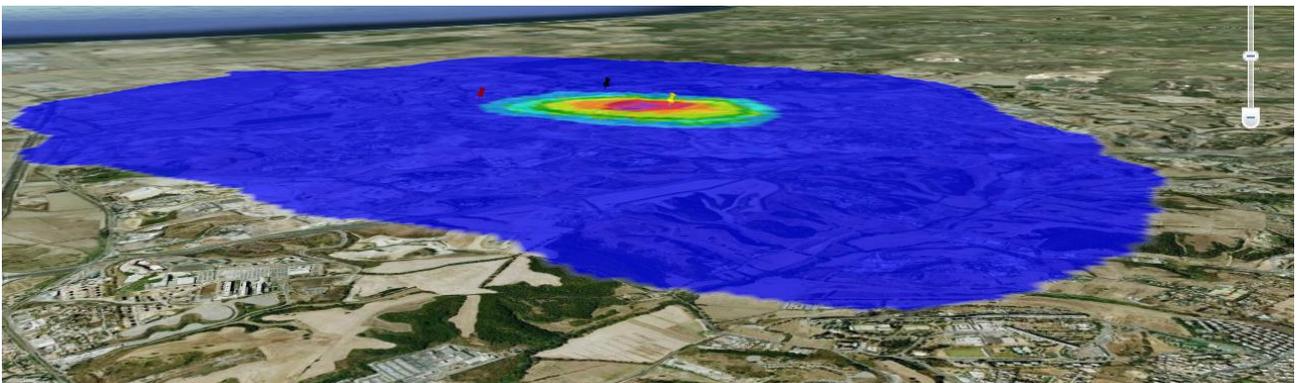


Fig. 19 – Footprint della discarica di Malagrotta: visione tridimensionale

## 5.2 Footprint della Raffineria di Roma

Sulla base delle emissioni stimate per i vari punti di emissione della Raffineria di Roma è stato possibile, mediante l'utilizzo del modello di dispersione della sostanza *marker* (che è costituita dagli Ossidi di Azoto NOX), ricostruire il *footprint* dell'impianto che è rappresentato nella Fig. 20, mentre nella Fig. 21 è riportata la versione tridimensionale della stessa.

Come si può vedere dalla due figure, la distribuzione è ragionevolmente simmetrica, escluden-

do la presenza di severe interazioni da parte dell'orografia.

Oltre a ciò si nota come la dimensione del *footprint* sia notevole e ciò deriva dal fatto che le sostanze inquinanti sono emesse da ciminiere di media dimensione che, da un lato, rendono possibili elevate diluizioni delle sostanze stesse (con conseguente minor valore della concentrazione al suolo) e dall'altro le distribuiscono su aree piuttosto vaste.

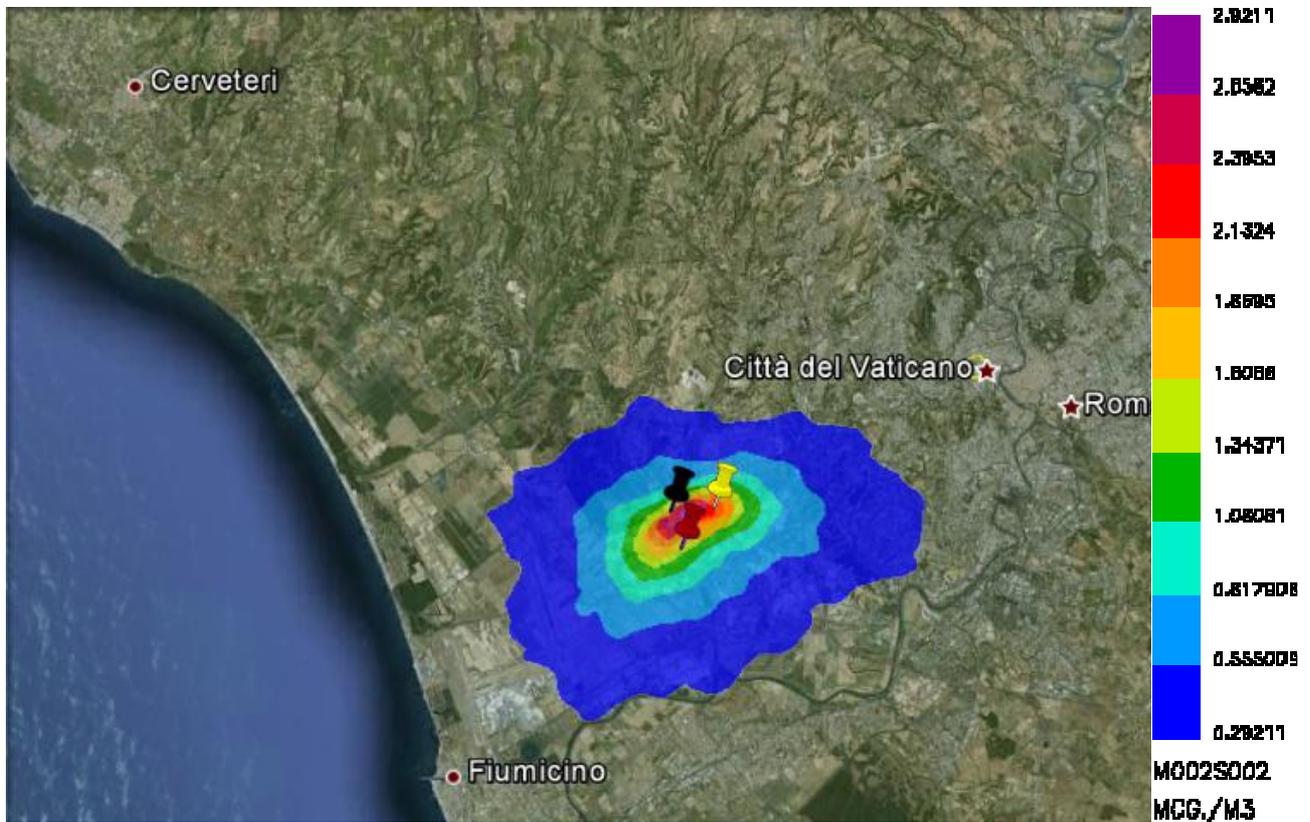


Fig. 20 – Footprint della Raffineria di Roma

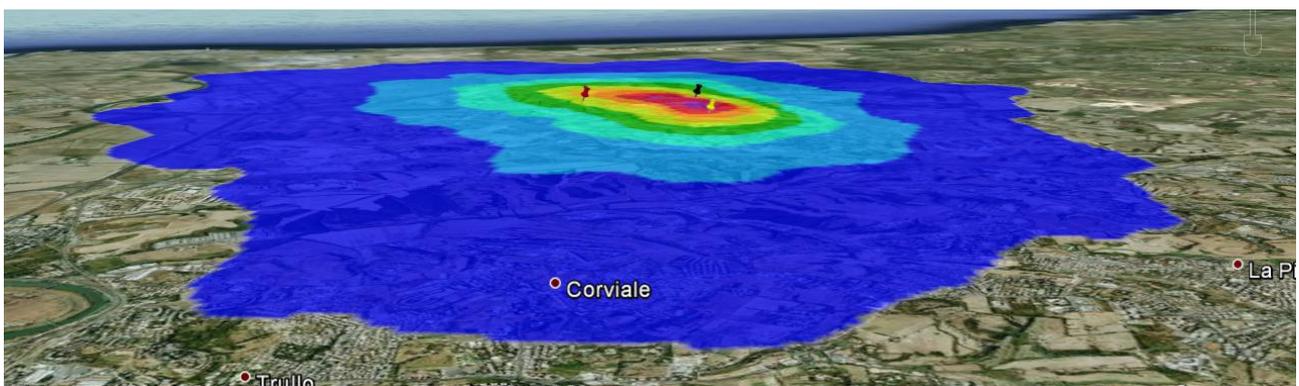


Fig. 21 – Footprint della Raffineria di Roma: visione tridimensionale

### 5.3 Footprint dell'Inceneritore di Rifiuti Ospedalieri (A.M.A.)

Sulla base delle emissioni stimate (anche in questo caso, la sostanza *marker* è costituita dagli ossidi di azoto  $\text{NO}_x$ ), la metodologia modellistica ha consentito di individuare il *footprint* dell'inceneritore la cui sorgente di emissione è costituita da una ciminiera elevata (alta 80 m). Nella Fig. 22 è presentato il *footprint* in pianta, mentre nella Fig. 23 lo stesso è rappresentato

in una visione tridimensionale.

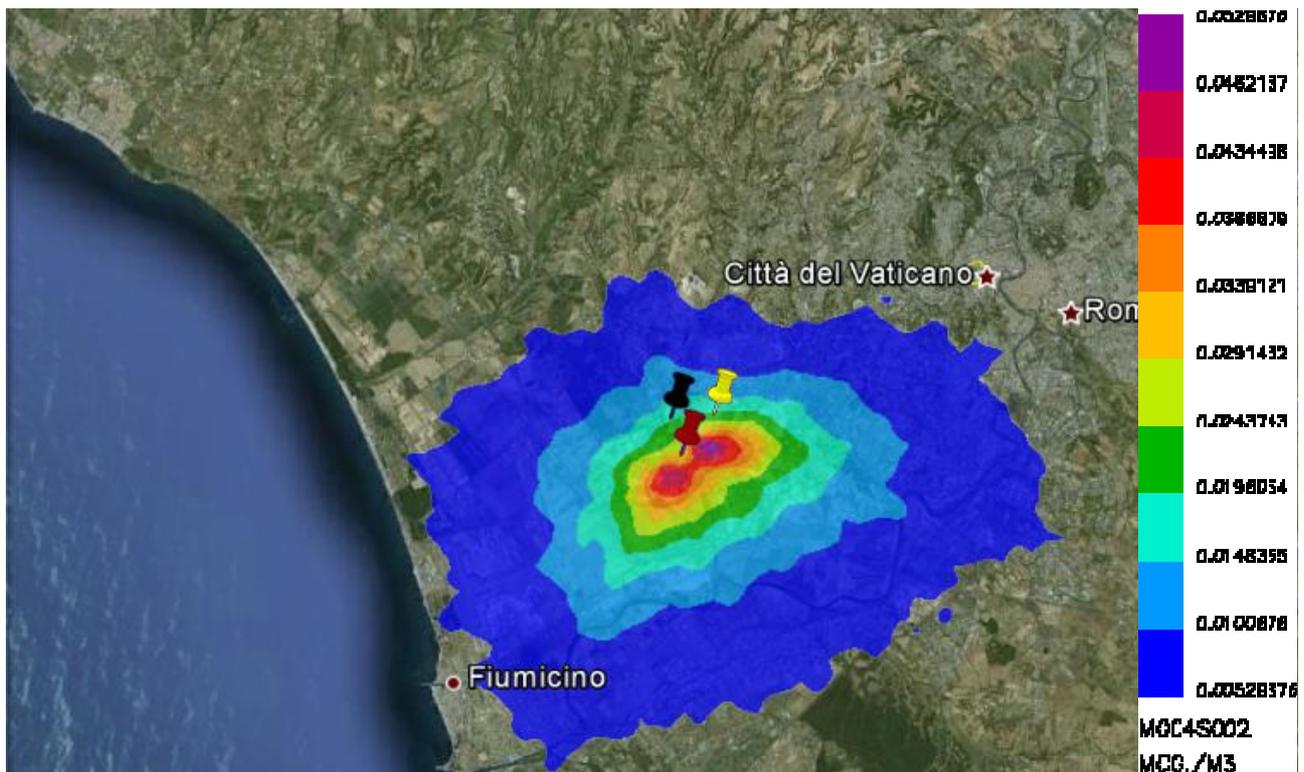


Fig. 22 – Footprint dell'Inceneritore A.M.A.

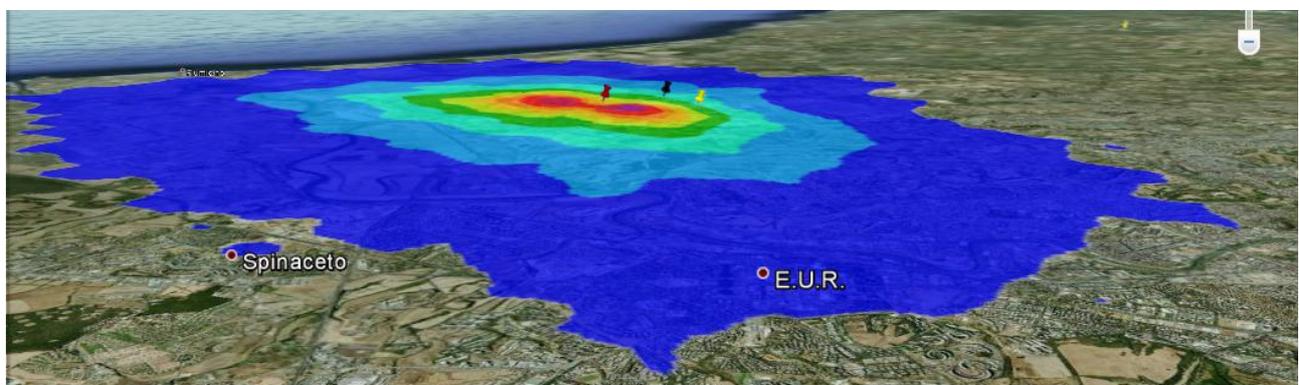


Fig. 23 – Footprint dell'Inceneritore A.M.A.: visione tridimensionale

Da queste figure si nota come a fronte di concentrazioni molto basse al suolo, l'area del footprint sia estremamente estesa e, come già visto, ciò deriva unicamente dal fatto che le sostanze inquinanti vengono emesse ad una quota notevolmente elevata.

#### 5.4 Footprint delle Arterie viarie della zona

Le principali sorgenti stradali che interessano la zona di Malagrotta sono:

- Grande Raccordo Anulare (come parte della Circonvallazione Occidentale);
- tratto della Via Aurelia;
- Via di Malagrotta;
- Via di Ponte Galeria;

- Via della Pisana;
- tratto dell'autostrada Roma-Fiumicino;
- tratto dell'autostrada Roma-Civitavecchia.

Alcune di esse sono strade a grande scorrimento di interesse regionale, altre ad intenso flusso di traffico pesante ma di interesse locale. Per completezza, si è determinato il *footprint* ad esse relativo impiegando la stessa metodologia usata per le attività trattate in precedenza. I risultati ottenuti sono rappresentati nella Fig. 24 dove viene presentata la distribuzione spaziale della media annua della concentrazione di NO<sub>x</sub>. Come si può notare, i valori di concentrazione stimati risultano estremamente elevati. Per tutto il dominio di calcolo la concentrazione media di periodo risulta almeno dell'ordine di 5 µg/m<sup>3</sup>, una grossa porzione di territorio presenta una concentrazione di almeno 10-20 µg/m<sup>3</sup> e nelle vicinanze delle arterie stradali tale concentrazione sale a valori di 40-60 µg/m<sup>3</sup>.

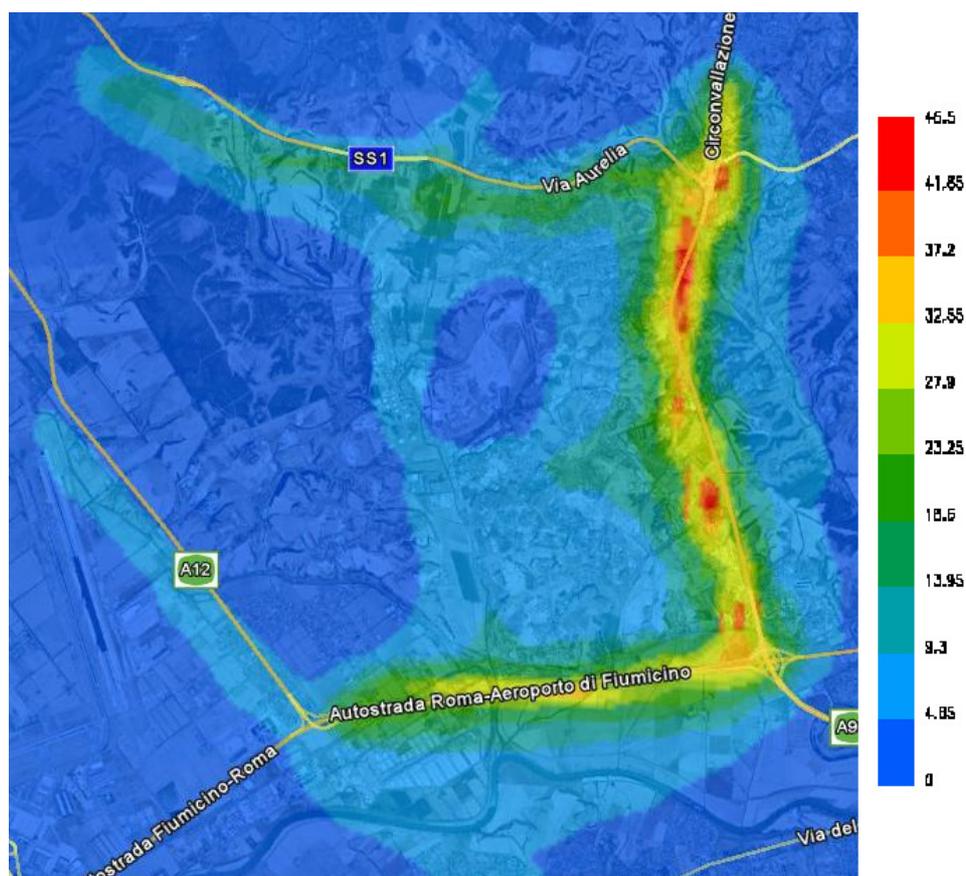


Fig. 23 – distribuzione della concentrazione annua di NO<sub>x</sub> derivante dalle strade.

## 5.5 Footprint dell'impianto di gassificazione

Recentemente, nell'ambito del sistema di trattamento dei rifiuti è stato realizzato un impianto di gassificazione degli stessi. L'impianto è dotato di una ciminiera di media altezza (20 m) e si stima che emetta come sostanza *marker* gli Ossidi di Azoto NO<sub>x</sub> con tasso annuale pari a circa 137 t/a.

Applicando la metodologia modellistica scelta nel presente studio è stato possibile determinare la distribuzione della concentrazione media annua di NO<sub>x</sub> rappresentata nella Fig. 24, che rappresenta di fatto il *footprint* dell'impianto.

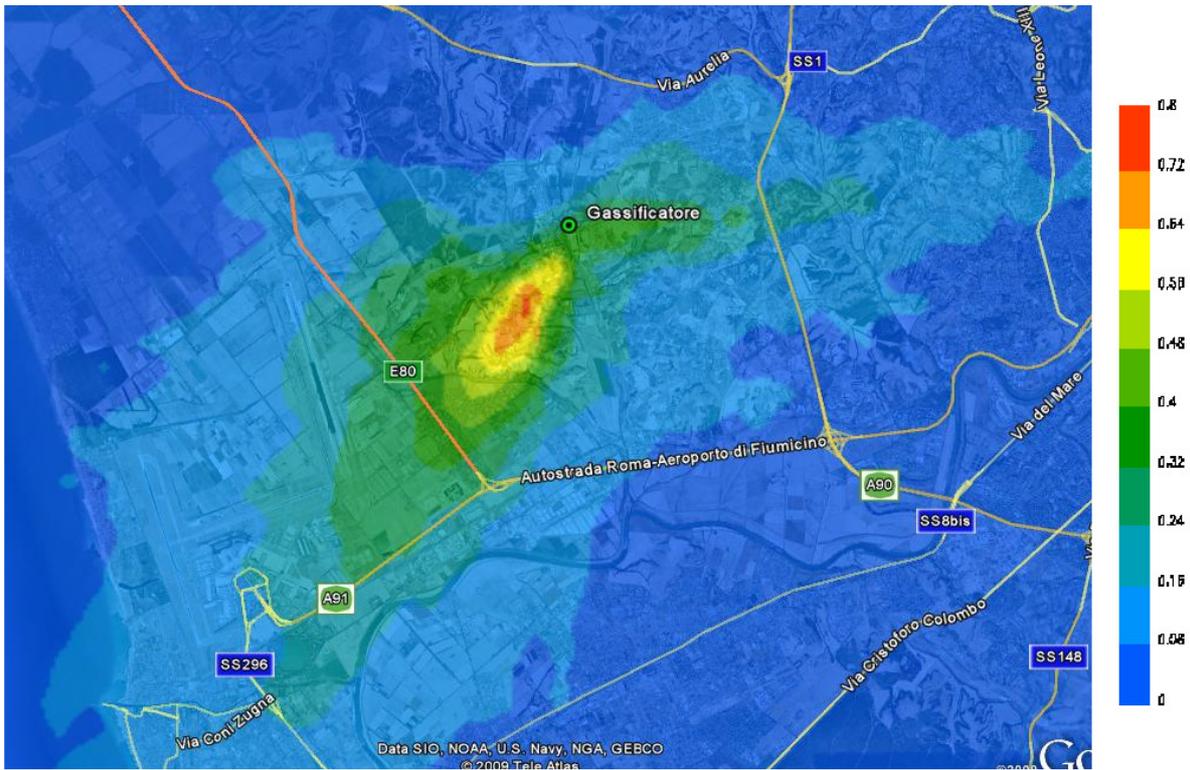


Fig. 24 – Distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione media di NOx dovuta all’impianto di gassificazione.