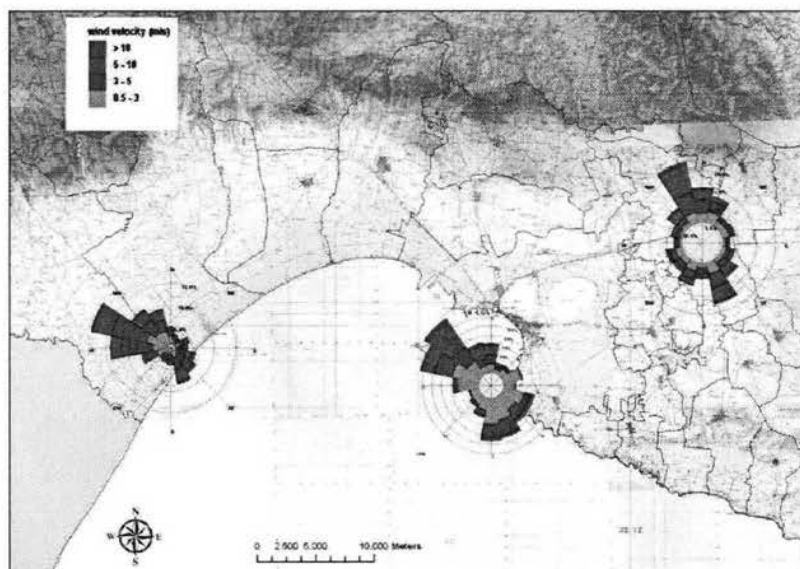


Figura 2.4.4 Rose dei venti a Marina di Ginosa, Capo San Vito e Grottaglie

Le figure successive sono frutto dell'elaborazione dei dati di vento relativi al quinquennio 2007-2011 nella postazione di Capo San Vito. In particolare vengono riportate le velocità medie e massime per settore di vento (Fig.2.4.5 a) e la distribuzione in frequenza per classi di velocità (Fig.2.4.5b). Al fine di evidenziare le circolazioni locali di brezza, che caratterizzano l'area in esame per la presenza della discontinuità terra mare e tipiche del periodo estivo, nelle figure successive si confrontano le rose dei venti relative al semestre estivo ed invernale (Fig.2.4.6).

L'analisi dei venti mostra come direzione prevalente di provenienza del vento il settore NO (12%), seguito in ordine decrescente di frequenza di accadimento, dai settori ONO e S (con frequenza pari rispettivamente a circa il 10%). Al settore NO contribuiscono venti sinottici di intensità elevata (mediamente pari a 5m/s), ai settori ONO e S, caratterizzati rispettivamente da venti di intensità media pari a circa 4m/s e 2m/s, contribuiscono anche le circolazioni di brezza. La percentuale di calme di vento (intese come le ore in cui la velocità è inferiore a 0.5 m/s) è pari al 17.6%; le velocità comprese tra i 0.5m/s ed i 3 m/s, tra i 3 e i 5m/s e superiori ai 5m/s si manifestano rispettivamente con una frequenza di accadimento pari al 42.4%, al 22.5% e al 17.7%. I semestri estivo ed invernale sono caratterizzati da una diversa distribuzione di venti per la presenza nel semestre estivo delle

circolazioni locali (in particolare dai settori ONO, O, OSO,SSO, S, SSE anche per la particolare collocazione della centralina posta su di un promontorio sul mare). A causa di tali circolazioni locali i venti del semestre estivo sono mediamente meno intensi rispetto al semestre invernale (2.6 m/s nel semestre estivo e 3.1 m/s nel semestre invernale), ma la percentuale di calme di vento del semestre estivo è leggermente inferiore al caso invernale (14.6% del semestre estivo contro il 18.5% del semestre invernale).

Figura 2.4.5 (a-b): (a) velocità media e massima per settore di vento e (b) distribuzione in frequenza per classi di velocità, misurate nella postazione di San Vito (2007-2011)

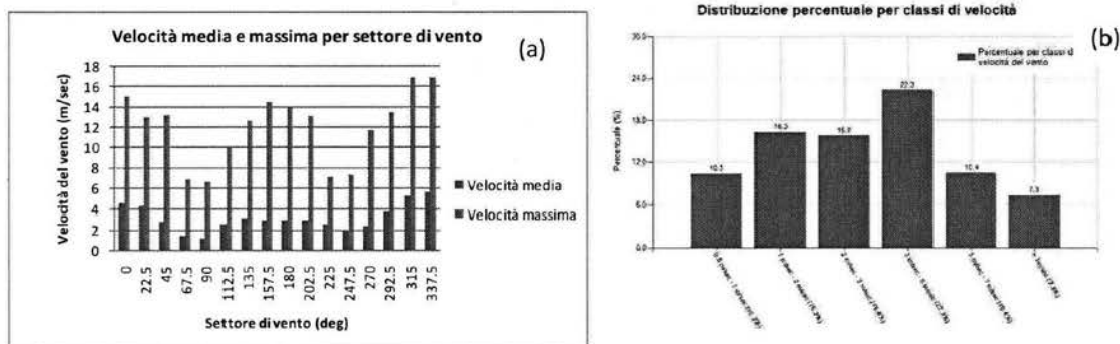
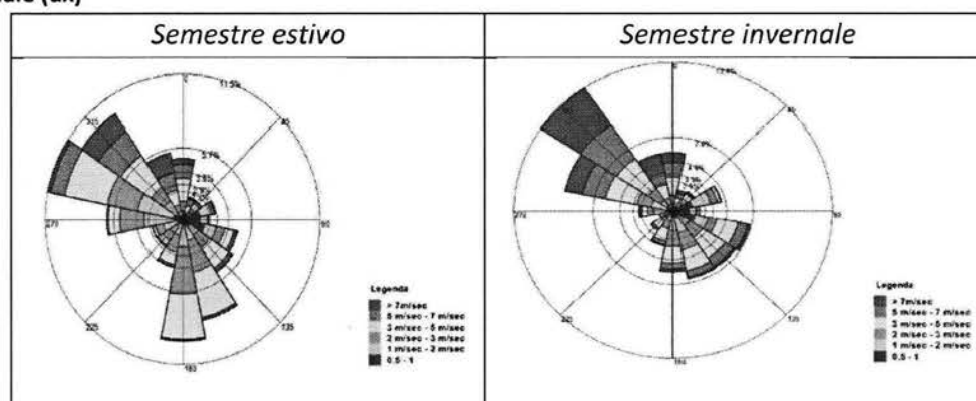


Figura 2.4.6 Rose dei venti nella postazione di capo San Vito (2007-2011), nel semestre estivo (sx) ed invernale (dx)



2.4.3.2 Dataset MINNI 2007 e confronto con il dato osservato

La dimensione del dominio e le caratteristiche territoriali dell'area in esame necessitano di dati meteorologici, particolarmente quelli anemologici, ben distribuiti sul territorio e dotati di un certo grado di omogeneità e di affidabilità. Oltre a questo, date le caratteristiche dei

modelli scelti, per poter tenere conto sia delle condizioni di flusso in prossimità del terreno che di quelle in quota, è necessario disporre sia di dati al suolo che di profili verticali. Entrambe le condizioni risultano infatti particolarmente importanti quando si deve simulare la dispersione di emissioni da sorgenti puntuali dotate di risalita termica (plume rise) dei pennacchi, che possono essere esposti anche a forti variazioni di flusso in quota, in grado di determinarne un cammino complesso. Si è quindi deciso di realizzare le simulazioni, utilizzando un dataset meteorologico affidabile, in grado di garantire una copertura continua sul territorio sia attraverso dati in quota che su livelli verticali.

Il progetto MINNI (Modello Integrato Nazionale per la Negoziazione Internazionale) contiene i risultati di un sistema modellistico in grado di ricostruire a diverse scale il trasporto, la dispersione e le trasformazioni chimiche di inquinanti sull'intero territorio italiano. La meteorologia per l'anno 2007 è stata prodotta attraverso l'applicazione del modello meteorologico prognostico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System, versione 4.0, <http://atmet.com>), in modalità previsione mediante un sistema di griglie innestate a diverse risoluzioni. Il RAMS è un codice numerico molto versatile, sviluppato presso la Colorado State University e dalla divisione ASTER della Mission Research Corporation per la simulazione e la previsione dei fenomeni meteorologici (Pielke et al., 1992). L'approccio prognostico, che si basa sulla soluzione delle equazioni di termodinamica che governano l'atmosfera e che tramite opportune tecniche di nudging tiene anche conto delle osservazioni al suolo, offre migliori performance rispetto all'approccio diagnostico, le cui prestazioni risultano molto più dipendenti dalla qualità e dalla quantità dei dati meteorologici usati come input.

I campi meteorologici a 4 km di risoluzione sulla regione sono stati calcolati innestando (Fig. 2.4.7) la griglia a 4 km di risoluzione del Sud Italia (riquadro blu in Fig. 2.4.7) in quella a 12 km di risoluzione, estesa sul territorio nazionale (riquadro verde in Fig. 2.4.7).

Le informazioni meteorologiche provenienti dal dataset Minni a 4km di risoluzione orizzontale (Figura 2.4.8) vengono poi riportate alla risoluzione di 500m mediante i codici Swift/Minerve e Surfpro del sistema modellistico Aria Industry. Ogni nodo del grigliato corrisponde ad una posizione dove sono presenti informazioni meteorologiche sia al suolo che fino ad oltre 5000m di quota.

Figura 2.4.7 (sx) sistema di griglie innestate utilizzate in MINNI e (dx) dettaglio del grigliato orizzontale dei dati meteorologici a 4km di risoluzione relativi al dominio Sud Italia. Il rettangolo rosso identifica il dominio orizzontale delle simulazioni.

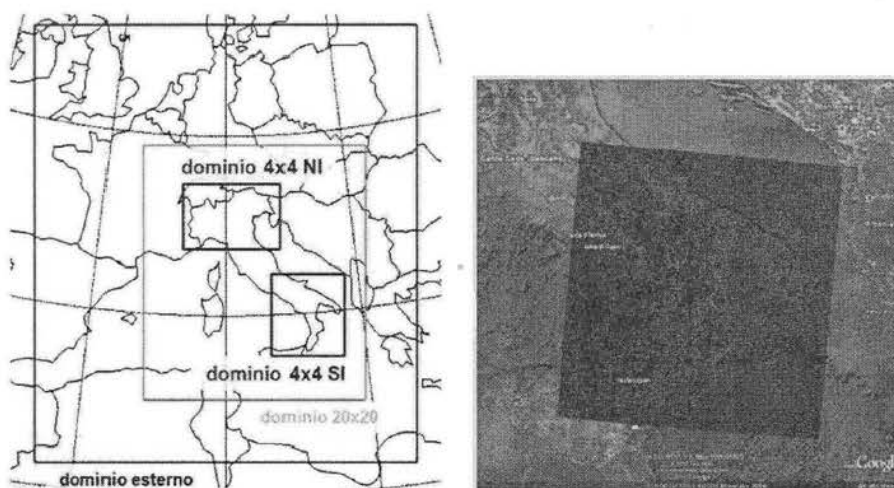
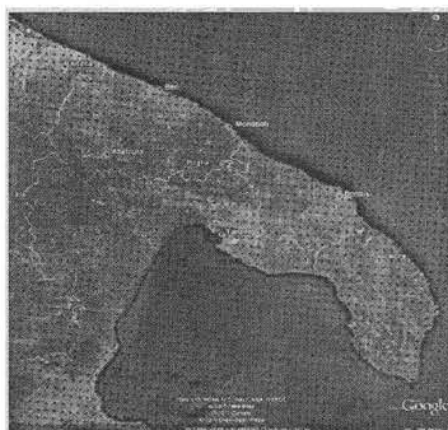


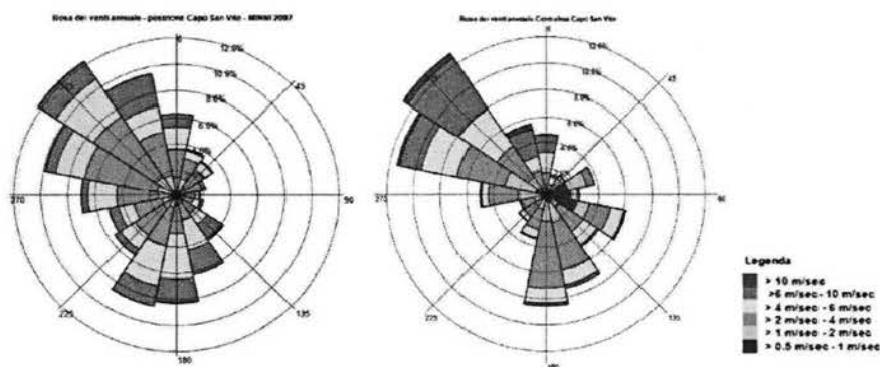
Figura 2.4.8 Dettaglio della copertura mediante dati meteorologici Minni sul dominio di calcolo per le simulazioni



Al fine di valutare la capacità del modello nel ricostruire il campo anemologico del 2007 sull'area di studio, in figura 2.4.9 sono mostrate le rose dei venti modellate e misurate a Capo San Vito nel 2007. Le due distribuzioni risultano abbastanza simili: le componenti prevalenti da nord-ovest e quelle da sud sud-est vengono ben riprodotte. Le variazioni locali indotte da circolazioni di brezza, tipiche di quest'area ed associate a venti provenienti dai settori meridionali, possono avere conseguenze importanti sulle condizioni locali del tempo e sulla struttura del boundary layer, modificando la dispersione degli

inquinanti in modo significativo. La distribuzione delle classi di velocità mostra nel caso del dato misurato una corrispondenza tra intensità maggiori e direzione da nord-ovest, meno evidente nel dato modellato. Nel dato misurato si osserva come le intensità minori si registrino in corrispondenza di venti da sud sud-est. La percentuale di calme di vento modellate è pari al 4%, mentre quelle misurate risultano del 13.9%. Nel confronto tra il dato modellato ed il dato misurato è opportuno inoltre tenere presente che il dato modellato è un dato mediato su un volume di cella ed il dato osservato è invece un dato puntuale.

Figura 2.4.9 Rose dei venti: confronto modellato (sx)-misurato (dx) a Capo San Vito per il 2007



2.4.3.3 Valutazione comparativa degli effetti sulla qualità dell'aria al variare del dataset meteorologico

La variabilità meteorologica influenza l'inquinamento atmosferico favorendo/sfavorendo la dispersione degli inquinanti emessi dalle sorgenti presenti sul territorio: la frequenza e la persistenza di episodi critici determina il numero di superamenti dei valori limite sul breve periodo (valutati a partire dalle concentrazioni medie orarie o giornaliere) che vengono registrati annualmente per i diversi inquinanti monitorati.

L'analisi delle osservazioni di qualità dell'aria per gli inquinanti atmosferici (gas e polveri sottili) mostra generalmente variazioni interannuali rilevanti per gli indicatori di breve periodo, mentre risultano generalmente meno evidenti per gli indicatori di lungo periodo,

quali le medie annuali, per i quali le variazioni osservate risultano di piccola entità rispetto ai valori medi.

Il progetto MINNI ha compreso l'esecuzione di simulazioni di qualità dell'aria su 4 periodi annuali (1999, 2003, 2005 e 2007): la disponibilità di questi data-base annuali meteorologici ha consentito una verifica della variabilità interannuale sulle concentrazioni dei diversi inquinanti su tutto il territorio nazionale. Sono state effettuate 4 simulazioni annuali, mantenendo costante il data-set emissivo ed esaminando così le anomalie sulle concentrazioni dovute alle variazioni meteorologiche dei 4 anni.

In particolare per la zona di Taranto le concentrazioni annuali medie per le polveri sottili e per gli ossidi di azoto e di zolfo sono risultate molto simili con variazioni tra i 4 anni al di sotto di $1\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.5 Emissioni

2.5.1 Sorgenti simulate

Le sorgenti emissive ILVA modellate sono di tipo puntuale, lineare ed areale.

Le sorgenti puntuali sono le emissioni convogliate ovvero i camini ILVA; nella figura 2.5.1 si riporta la mappa relativa alla distribuzione spaziale dei 181 camini ILVA, trattati come tali dalle simulazioni modellistiche.

Relativamente al numero di emissioni convogliate trattate si precisa che alcuni camini con caratteristiche omogenee, appartenenti alla stessa linea impiantistica, sono stati raggruppati.

Figura 2.5.1 Localizzazione delle sorgenti puntuali simulate, presenti all'interno dello stabilimento ILVA di Taranto (punti gialli)



Le emissioni areali comprendono:

- le sorgenti areali “a caldo” (in numero pari a 5), riferite in particolare alla cokeria, all’agglomerato, alle acciaierie e all’altoforno;
- le sorgenti areali “a freddo” (in numero pari a 9), riferite ai parchi minerari, ai nastri (non posti nelle vicinanze del quartiere Tamburi) e alla movimentazione materiale in generale;
- le sorgenti lineari (in numero pari a 3) relative a quota parte dei nastri⁶, nello specifico posti nelle vicinanze del quartiere Tamburi.

Nella figura 2.3.2 in particolare si esplicitano le aree di attribuzione delle relative emissioni inquinanti dell’area a caldo.

⁶ Sono state modellizzate esplicitamente le emissioni provenienti dai nastri del II e IV sporgente e dal percorso che i nastri compiono lungo il perimetro di ILVA nelle vicinanze del quartiere Tamburi.

Figura 2.5.2 Localizzazione delle sorgenti areali (area a caldo) presenti all'interno dello stabilimento ILVA di Taranto



Nella figura 2.5.3 vengono indicate con il colore giallo le aree di attribuzione delle emissioni dovute all'erosione eolica dai parchi minerari, in rosso l'area di attribuzione (coincidente con l'area dello stabilimento ILVA) delle emissioni provenienti dalla movimentazione e dalla rete dei nastri, non posti nelle vicinanze del quartiere Tamburi ed in fucsia i nastri trattati esplicitamente come tali.

Figura 2.5.3 Localizzazione delle sorgenti areali (parchi e movimentazione) e lineari (nastri) presenti all'interno dello stabilimento ILVA di Taranto



Nella tabella 2.5.1 si riportano le emissioni ILVA delle sorgenti convogliate, delle sorgenti diffuse dell'area a caldo e a freddo.

Tabella 2.5.1 Emissioni convogliate, dell'area a caldo e a freddo dello stabilimento ILVA relative alla situazione emissiva 2010

Inquinante	Emissioni convogliate ILVA	Emissioni diffuse area a caldo ILVA	Altre diffuse ILVA (parchi, nastri e movimentazione)	Unità di misura
BaP	76.0	178.4		kg/anno
Naftalene	853.6	4267.1		kg/anno
As	1536.2	50.1	26.0	kg/anno
Ni	893.6	183.7	1479.4	kg/anno
Cd	1336.5	74.6	20.1	kg/anno
Pb	39474.0	549.1	364.0	kg/anno
Se	478.7	544.2	6.7	kg/anno
Cr(VI)	11.0			kg/anno
Benzene	142.2	10.8		tonn/anno
PCB	49.5			kg/anno
PCDD/F	38.9	0.7		kg/anno

Per ogni tipologia di sorgente le emissioni sono considerate stazionarie o costanti durante l'intero anno di simulazione.

Per quanto riguarda le sorgenti diffuse relative a cokeria, altiforni, agglomerato ed acciaierie occorre tenere conto del fatto che le emissioni avvengono a temperature superiori a quelle dell'aria atmosferica, determinando un fenomeno di sovrainnalzamento termico. Tali sorgenti, quindi, non possono essere considerate al suolo, ma è necessaria una stima della quota di emissione in grado di tenere conto di questo fenomeno. Per quanto riguarda la cokeria sono stati presi a riferimento gli algoritmi denominati di "Enhanced Plume Rise" (EPA 2003), suggeriti dall'Environmental Protection Agency americana. Tali algoritmi sono tarati specificamente per le strutture e i cicli di lavorazione delle cokerie e consentono, date le caratteristiche geometriche e termiche delle batterie, di stimare i valori del flusso di buoyancy da utilizzare nel calcolo del plume rise. Utilizzando tale metodologia e i valori delle variabili meteorologiche (vento e temperatura) in prossimità della cokeria, è stata stimata un'altezza media di sovrainnalzamento pari a circa 100 metri. Per la cokeria l'area di emissione viene quindi posizionata in verticale tra 80 e 120 metri, tenendo in questo modo conto della variabilità verticale sulle emissioni. Per le altre sorgenti (altiforni, agglomerato ed acciaierie) in assenza di informazioni e di una stima modellistica consolidata, si è utilizzato un approccio conservativo, ipotizzando il

livellamento verticale delle sorgenti ad un valore più contenuto e posizionando quindi le emissioni tra 40 ed 80 metri.

2.5.2 Algoritmo per la stima delle emissioni dai parchi minerali

La metodologia di stima è stata desunta dalla sezione 13.2.5 del documento AP-42 dell'Environmental Protection Agency (E.P.A., 2006). La metodologia descrive il fenomeno dell'erosione eolica dei cumuli di stoccaggio sulla base di alcuni parametri quali la tipologia del materiale stoccato e conseguenti rugosità superficiale e velocità di soglia del vento per l'erosione, la forma e altezza del cumulo di stoccaggio, la velocità del vento agente sui cumuli. Il metodo di stima orario ha inoltre il vantaggio di poter ricostruire in maniera più realistica gli eventi emissivi che effettivamente si manifestano durante l'anno, consentendo di riprodurre non solo la situazione media annua, ma anche tutti gli eventi di picco che si presentano nelle ore di vento forte nelle aree sottovoce ai parchi minerali (in Appendice A, è riportata la descrizione dettagliata dell'algoritmo).

2.6 Sistema modellistico

Per le simulazioni annuali e il calcolo dei valori di concentrazione e deposizione al suolo è stata utilizzata la suite di programmi contenuta nel pacchetto ARIA/Industry costituita dal codice Minerve/Swift per la ricostruzione diagnostica dei campi di vento su terreno complesso, dal codice SurfPro 3.0 per la ricostruzione dei campi di turbolenza e dal modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY 3.1 (Fig. 2.4.1).

L'insieme dei programmi citati consente di tenere conto in maniera diretta sia dell'orografia che di eventuali disomogeneità del terreno (come ad esempio la presenza di interfaccia terra-mare), simulando condizioni meteo-dispersive che presentano variazioni nelle tre dimensioni e nel tempo. Nei prossimi paragrafi è contenuta una descrizione più dettagliata di ognuno dei codici e delle loro principali funzionalità.

Figura 2.4.1 Schema della cascata modellistica utilizzata



2.6.1 Modello meteorologico diagnostico e micro-meteorologico

Il modello Minerve/Swift, sviluppato da EDF e ARIA Technologies S.A. (Aria Technologies, 2001, Finardi et al. 1998), è un codice “mass-consistent” di tipo diagnostico in grado di ricostruire i campi tridimensionali di vento e temperatura. Per la ricostruzione del campo di vento il modello opera essenzialmente in due fasi: nella prima effettua l’interpolazione sul dominio di calcolo tridimensionale dei dati di vento forniti in input; nella seconda, detta di analisi oggettiva, applica il principio fluidodinamico di conservazione della massa ad ogni cella del dominio e produce un campo di vento definito aggiustato. La ricostruzione del campo di temperatura viene effettuata mediante una interpolazione tridimensionale di Cressman.

Il codice SurfPro, sviluppato da ARIANET S.r.l. (Silibello, 2006), è un preprocessore micrometeorologico in grado di ricostruire le principali variabili che descrivono la turbolenza atmosferica su terreno complesso, necessarie in input a modelli di dispersione. Il codice riceve in input i campi tridimensionali di vento e temperatura, generati dal codice MINERVE/Swift 7.1, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la nuvolosità ora per ora disponibile dai campi provenienti da un modello prognostico) e la matrice di dati di uso del suolo su un grigliato orizzontale

corrispondente a quello dei dati di vento. In questo modo si riesce a tener conto della non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare.

Utilizzando diversi schemi di parametrizzazione della turbolenza consolidati in letteratura, il codice ricostruisce campi bidimensionali delle seguenti variabili:

- altezza di rugosità z_0 ;
- altezza dello strato limite notturno o dello strato limite convettivo diurno H_{mix} ;
- velocità di frizione u^* ;
- altezza di Monin-Obukhov L ;
- velocità convettiva di scala w^*
- velocità di deposizione secca per specie chimiche gassose e particolato.

SURFPro stima la velocità di deposizione secca mediante un modello resistivo che considera l'inverso della somma delle diverse resistenze.

Il programma tiene inoltre conto sia dell'inclinazione dei pendii rispetto a quella dei raggi solari che degli effetti d'ombra presenti a causa dell'eventuale mascheramento provocato dall'orografia.

2.6.2 Pre-processore delle emissioni

L'input emissivo al modello di simulazione SPRAY è stato messo a punto a partire dai dati illustrati ai paragrafi precedenti, che provengono dall'inventario regionale INEMAR. Il codice utilizzato per le simulazioni necessita di un input su base oraria per tutto il periodo di simulazione (8760 ore). I dati emissivi, espressi in t/anno per ogni inquinante di interesse, sono stati disaggregati nello spazio e nel tempo, utilizzando i moduli di calcolo di Emission Manager (ARIA Technologies, 2008), gestiti attraverso la shell EMMA (Calori, 2006).

Le emissioni di Benzene sono state derivate in questo studio applicando profili di speciazione standard.

2.6.3 Modello di dispersione

SPRAY 3.1 sviluppato da ARIANET S.r.l. e ARIA Technologies S.A. (Tinarelli et al., 1994, 1999, 2007) è un modello tridimensionale lagrangiano per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). È in grado di ricostruire campi di concentrazione determinati da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche.

L'inquinante è simulato da "particelle virtuali" il cui movimento è definito sia dal vento medio locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica. In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni difficili da riprodurre con modelli tradizionali (calma di vento, inversione di temperatura con la quota, impatto con orografia complessa, dispersione in siti con forti discontinuità spaziali tipo terra-mare o città-campagna). SPRAY è in grado di simulare il sovrainnalzamento termico di effluenti caldi mediante opportune formule dinamiche (Anfossi, 1993), in grado di tenere conto delle variazioni verticali e orizzontali di vento e stabilità atmosferica.

SPRAY 3.1 è in grado di simulare i fenomeni di deposizione secca ed umida. La deposizione secca viene simulata mediante un metodo di rimozione probabilistico orientato alla particella, derivato dalla soluzione dell'equazione di Fokker-Planck (Boughton et al., 1987), che impone una condizione al contorno al suolo tale da garantire, in ogni intervallo di tempo Δt , che il flusso di deposizione sia proporzionale alla concentrazione al suolo, secondo un coefficiente rappresentato dalla velocità di deposizione. La massa rimossa dalla particella viene accumulata nella cella sottostante consentendo il calcolo dei flussi di deposizione per ogni specie considerata. La deposizione umida viene calcolata in presenza di precipitazione, ipotizzando che, in ogni intervallo di tempo Δt , vi sia un decadimento o rimozione della massa di una specie associata alla particella secondo la legge esponenziale:

$$m(t + \Delta t) = m(t)e^{-S\Delta t}$$

dove S è definito come coefficiente di washout, proporzionale alla precipitazione $S = S_1 R$; R rappresenta il rateo di precipitazione in mm/ora; S_1 è il coefficiente standardizzato di washout, dipendente dalla specie o dalla granulometria di particolato e riferito alla precipitazione standard di 1 mm/ora. In presenza di specie di particolato di granulometria elevata (tipicamente superiore a $10\mu\text{m}$) il codice è in grado di tenere conto del settling gravitazionale delle particelle, mediante velocità verticali di equilibrio sulle particelle calcolate mediante la formulazione seguente:

$$w_s = \frac{g\rho d^2 C_c}{18\mu}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, ρ la densità delle particelle espresso in kg/m^3 (supposta $\gg \rho_{\text{air}}$), d il diametro delle particelle, μ viscosità dinamica dell'aria ($18 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m s)}$), C_c Cunningham slip-flow correction factor.

2.7 Risultati delle simulazioni

Il sistema di modelli descritto è stato utilizzato per simulare il trasporto e la dispersione degli inquinanti atmosferici emessi dagli impianti dello stabilimento ILVA relativamente alla situazione emissiva riferita all'anno 2010. Le simulazioni hanno prodotto mappe di concentrazione al suolo di macroinquinanti convenzionali (SO_2 , NO_x , benzene, PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$) e mappe di concentrazione e deposizione totale al suolo dei microinquinanti organici (diossine, PCB e IPA) ed inorganici (metalli).

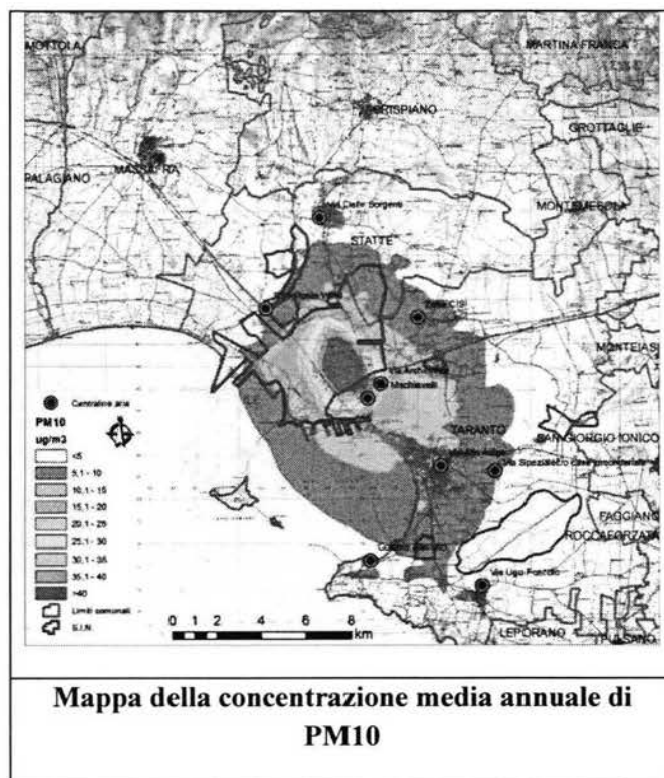
Figura 2.7.1 Mappe di concentrazione media annuale al suolo di PM10

Figura 2.7.2 Mappe di concentrazione media annuale al suolo e di deposizione totale di BaP

