

Ricostruzione del campo di vento e micrometeorologico con il modello CALMET

Preparato da:

Enviroware srl

Centro Direzionale Colleoni – Andromeda 1

20041 Agrate Brianza (MI)

Preparato per:

Ambiente Italia srl

Via Carlo Poerio, 39

20129 Milano (MI)

Giugno 2007

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. DESCRIZIONE DEL MODELLO CALMET	3
3. IL DOMINIO DI SIMULAZIONE	4
4. DATI METEOROLOGICI UTILIZZATI.....	7
5. RISULTATI.....	11
6. TEST DI DISPERSIONE	15
7. CONTENUTO DEL DVD	17
8. BIBLIOGRAFIA.....	18

1. Introduzione

Lo studio è finalizzato alla ricostruzione del campo anemologico, di temperatura e micrometeorologico su un dominio situato all'interno della Regione Calabria, centrato sul punto di coordinate Lon 15.71 Lat 37.95 (Saline Ioniche), e per il periodo di un anno. A tale scopo è stato utilizzato il modello meteorologico diagnostico CALMET, processore del modello di dispersione CALPUFF (Scire et al., 1995), indicato dalla US-EPA come modello preferito per il trasporto su lunghe distanze e suggerito anche per la simulazione del trasporto degli inquinanti su distanze relativamente brevi.

La simulazione è stata effettuata con il modello CALMET versione 5.53a livello 040716, compatibile con CALPUFF versione 5.711a livello 040716. Tali versioni, pur non essendo le più recenti, sono quelle ufficialmente suggerite dalla US-EPA.

L'output del modello meteorologico diagnostico CALMET sarà successivamente utilizzato dal Cliente al fine di effettuare simulazioni di dispersione di inquinanti in atmosfera.

2. Descrizione del modello CALMET

CALMET (Scire et al., 1995) è un modello meteorologico diagnostico, cioè in grado di ricostruire il campo di vento su un dominio di calcolo con orografia complessa a partire da misure al suolo e da almeno un profilo verticale. Esso contiene inoltre degli algoritmi per il calcolo di parametri micrometeorologici fondamentali nell'applicazione di modelli di dispersione in atmosfera, come, ad esempio, l'altezza di rimescolamento, la lunghezza di Monin-Obukhov e la classe di stabilità atmosferica di Pasquill-Gifford.

CALMET ricostruisce il campo di vento in due successivi passi. Nel primo passo modifica il vento iniziale in funzione degli effetti cinematici del terreno e dei venti di pendenza; nel secondo passo questo vento viene ulteriormente modificato in funzione dei dati misurati e dell'equazione di conservazione della massa. Nei diversi punti del dominio di simulazione il vento misurato ha un peso che decresce con l'aumentare della distanza dalla stazione di misura.

Il vento allo step iniziale, che poi verrà corretto, può essere determinato come valore medio del vento misurato sul dominio a una certa quota, oppure può essere l'output di un modello meteorologico prognostico. In questo secondo caso i risultati del modello prognostico possono essere utilizzati in alcuni punti anche per rimpiazzare le misure

meteorologiche. CALMET è in grado di leggere direttamente gli output dei modelli meteorologici prognostici CSUMM e MM5.

Il modulo micrometeorologico presente in CALMET utilizza, sopra il suolo, i metodi di Holtslag e Van Ulden (Holtslag e Van Ulden, 1982, 1983) per il calcolo del flusso di calore sensibile, della lunghezza di Monin-Obukhov, della velocità di frizione. Sopra l'acqua invece si utilizza un metodo diverso che prende in considerazione le diverse proprietà termiche. I parametri micrometeorologici vengono quindi utilizzati per calcolare lo spessore dello strato limite planetario e i coefficienti di dispersione turbolenta dei modelli di trasporto.

L'output di CALMET viene utilizzato in maniera diretta dal modello di dispersione Lagrangiano a puff CALPUFF (Scire et al., 1995) e dal modello di dispersione Euleriano fotochimica CALGRID (Yamartino et al., 1989; Yamartino et al., 1992).

CALMET è il modello meteorologico di CALPUFF, uno dei modelli suggeriti dall'US-EPA Environmental Protection Agency) la simulazione del trasporto degli inquinanti su lunghe distanze.

CALMET è stato recentemente modificato allo scopo di migliorare gli algoritmi di interpolazione della temperatura e del calcolo delle componenti diretta, riflessa e diffusa della radiazione solare tenendo conto dell'ombra indotta dall'orografia (Bellasio et al., 2005).

Lo studio descritto in questo documento è stato realizzato utilizzando la versione 5.53a del modello CALMET (Level: 040716), compatibile con CALPUFF versione 5.711a livello 040716. Tali versioni, pur non essendo le più recenti, sono quelle ufficialmente suggerite dalla US-EPA.

3. Il dominio di simulazione

Il dominio di simulazione è situato nella parte più meridionale della Regione Calabria ed è contenuto approssimativamente all'interno dell'area mostrata in Figura 1. La zona di studio è situata all'interno di un'area con orografia complessa, caratterizzata dalla presenza del mare a Ovest e a Sud, e di rilievi che nella zona Nord-Est del dominio superano i 1300 m.

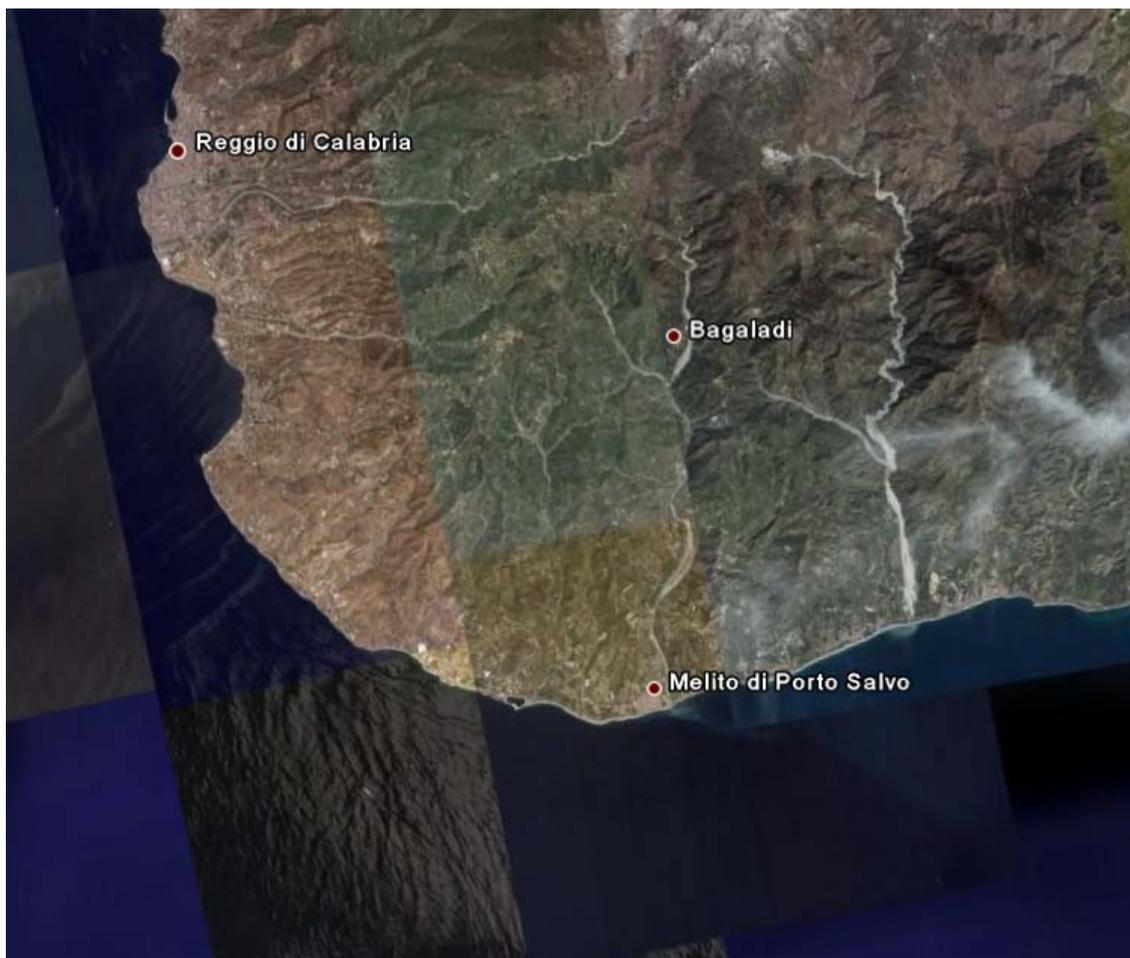


Figura 1. Localizzazione della zona di studio. (Fonte: Google Earth)

Il dominio di studio è stato determinato a partire dalla posizione della sorgente di interesse (Lon 15.71, Lat 37.95) per il successivo studio di dispersione degli inquinanti con il modello CALPUFF e dalla dimensione del dominio che verrà utilizzato per tale simulazione (20 km di lato). Il dominio del modello meteorologico CALMET è stato scelto più grande del dominio di CALPUFF (oltre 30 km), in maniera tale da permettere eventuali aggiustamenti attualmente non previsti nella fase di dispersione degli inquinanti. CALPUFF è comunque in grado di innestarsi all'interno di un dominio di CALMET di maggiore estensione. Le coordinate del centro del dominio sono state trasformate in UTM (zona 33), e a tali coordinate sono stati sottratti 15000 m in ogni direzione in modo tale da trovare le coordinate dell'angolo di Sud Ovest del dominio meteorologico. Le coordinate così ottenute sono state approssimate ai 500 m. Ne risulta che le coordinate UTM dell'angolo di Sud Ovest del dominio sono $X=547000$ m, $Y=4185000$ m. Sono state quindi considerate 63 griglie di calcolo per ciascuna direzione, ciascuna di lato pari a 500 m

L'orografia media e l'utilizzo del suolo sono stati determinati per ogni cella del dominio di calcolo descritto con i risultati mostrati rispettivamente in Figura 2 e Figura 3. Circa il 62% del dominio di simulazione è acqua.

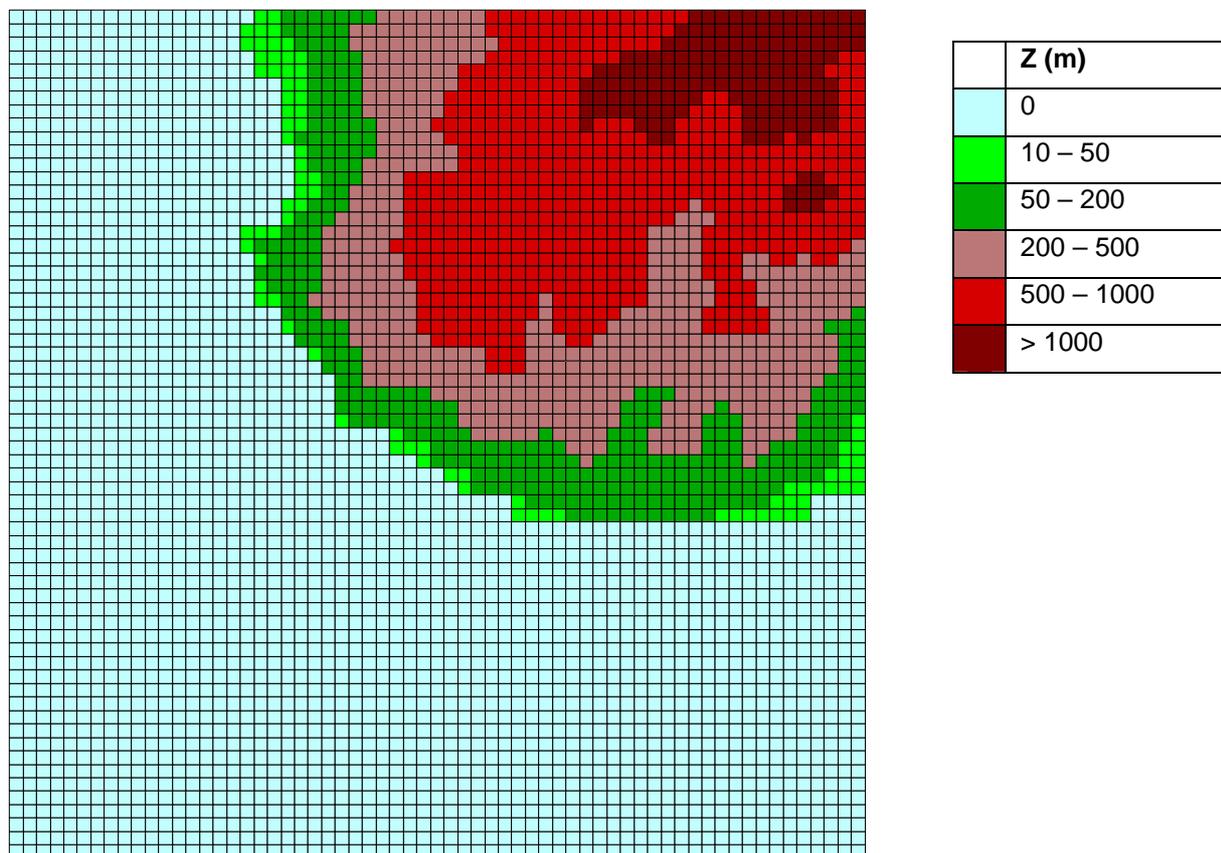


Figura 2. Orografia sul dominio discretizzato con celle di 500 m.

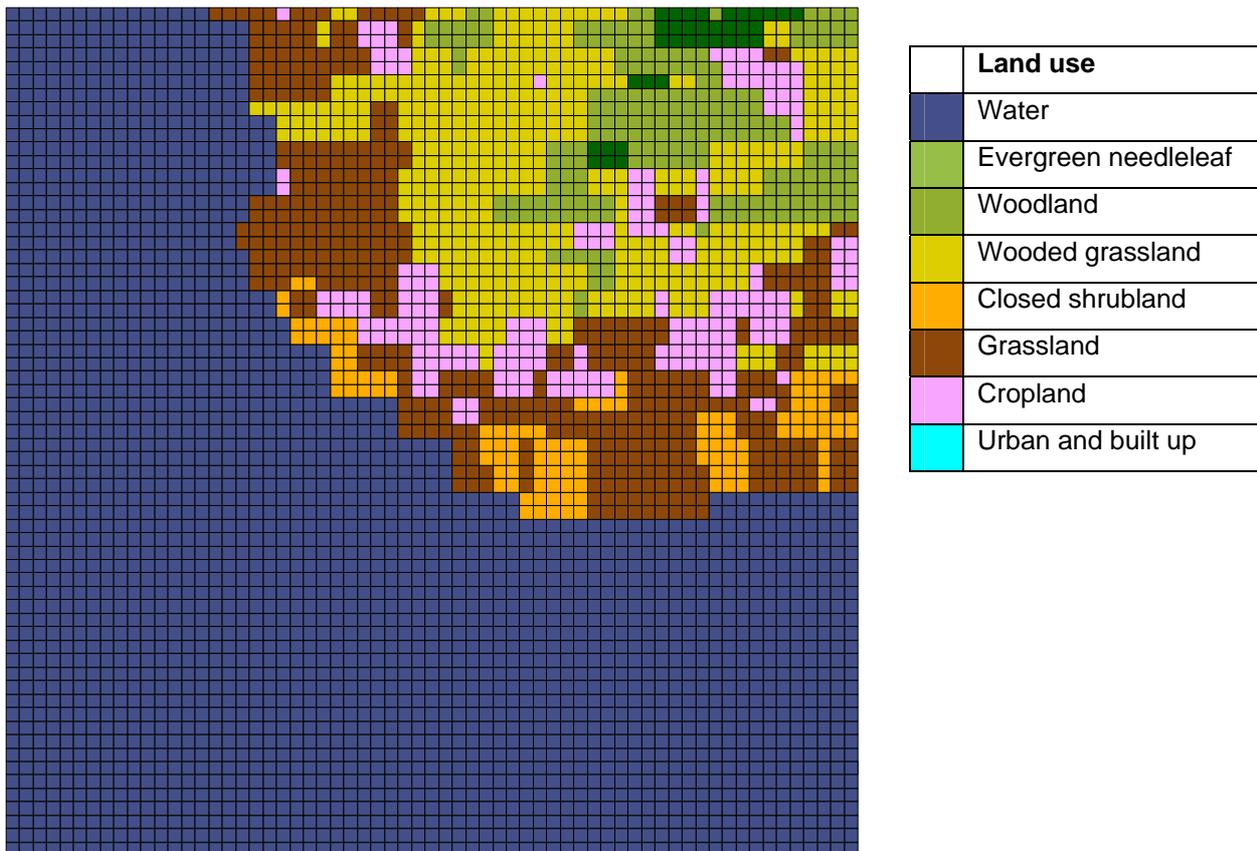


Figura 3. Utilizzo del suolo sul dominio discretizzato con celle di 500 m.

In direzione verticale sono state utilizzate 8 griglie di calcolo per un'altezza totale di 3000 m. Il periodo temporale di simulazione è l'intero anno 2004.

4. Dati meteorologici utilizzati

Il modello CALMET necessita in ingresso di misure meteorologiche al suolo con risoluzione oraria e di almeno un profilo verticale con risoluzione temporale non superiore alle 12 ore. Tali informazioni sono state ottenute a partire dalle previsioni del modello BOLAM 21 e dalle misure effettuate dalla centralina meteorologica di Saline Ioniche (15°44'17.54"E; 37°55'41.08"N).

Il modello prognostico ad area limitata BOLAM21 è operativo presso l'Università di Genova e determina con cadenza trioraria (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC) e risoluzione spaziale di 0.2° in longitudine e latitudine (circa 21 km alle nostre latitudini) per un totale di 154 x 144 punti di griglia, le seguenti variabili al suolo:

- pressione,

- precipitazione totale
- precipitazione convettiva
- flusso di calore sensibile,
- flusso di calore latente,
- radiazione ad onda corta,
- radiazione ad onda lunga,
- copertura nuvolosa,
- temperatura del suolo,
- temperatura dell'aria,
- umidità relativa,
- componenti orizzontali del vento

BOLAM21 fornisce anche le seguenti variabili tridimensionali calcolate in corrispondenza dei livelli verticali di pressione pari a 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300 hPa:

- altezza geopotenziale,
- temperatura,
- componenti orizzontali del vento
- componente verticale del vento

L'area di simulazione del modello BOLAM21 è riportata in Figura 4. Il modello BOLAM21 è inizializzato con i dati ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) aventi risoluzione di 55 km circa alla nostra latitudine.

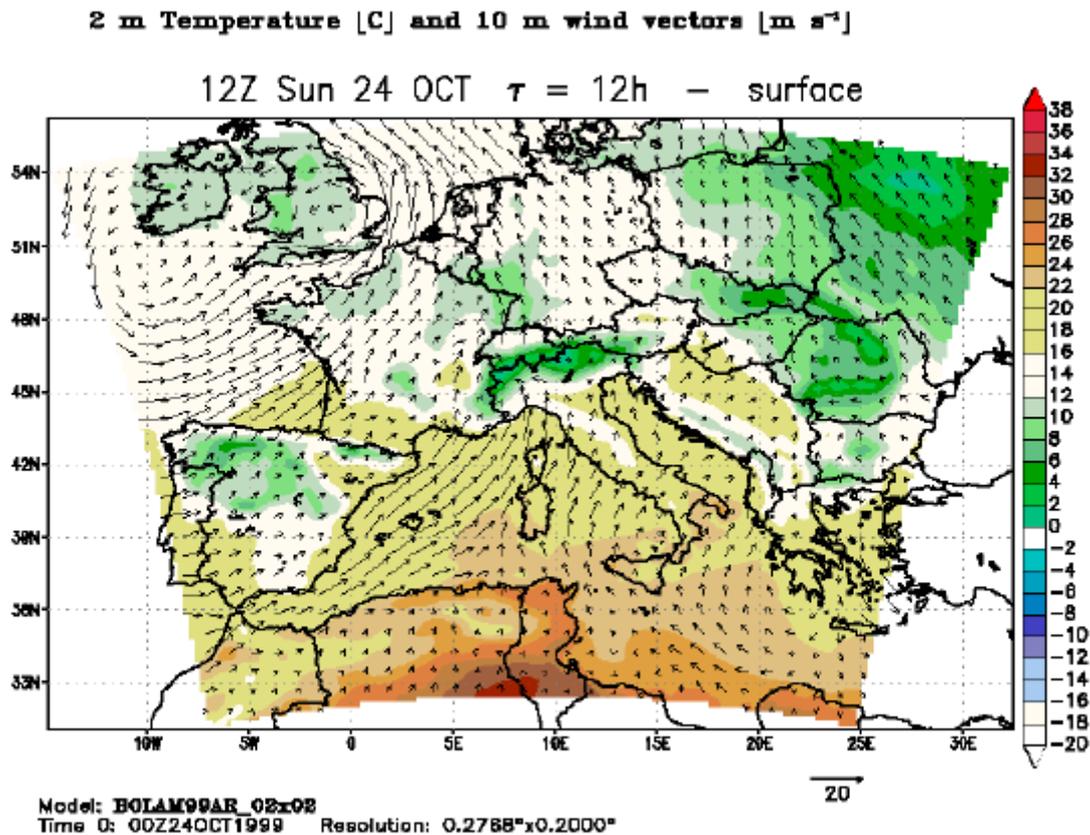


Figura 4. Dominio di simulazione del modello BOLAM21 dell'Università di Genova.

La Figura 5 mostra il dominio di simulazione (perimetro verde), la posizione della centralina meteorologica di Saline Ioniche (croce blu) e la posizione dei 9 nodi BOLAM21 interni o prossimi al dominio (cerchi rossi). I dati meteorologici in superficie sono stati ottenuti a partire dalle misure della stazione meteorologica e dei due nodi BOLAM21 che cadono all'interno del dominio di simulazione. I dati meteorologici in quota sono invece stati ottenuti utilizzando i 9 nodi BOLAM21 mostrati in Figura 5.

La rosa dei venti ottenuta a partire dalle misure effettuate durante l'anno 2004 dalla centralina meteorologica di Saline Ioniche è riportata in Figura 6 ed in Figura 7 sovrapposta all'immagine satellitare del sito.

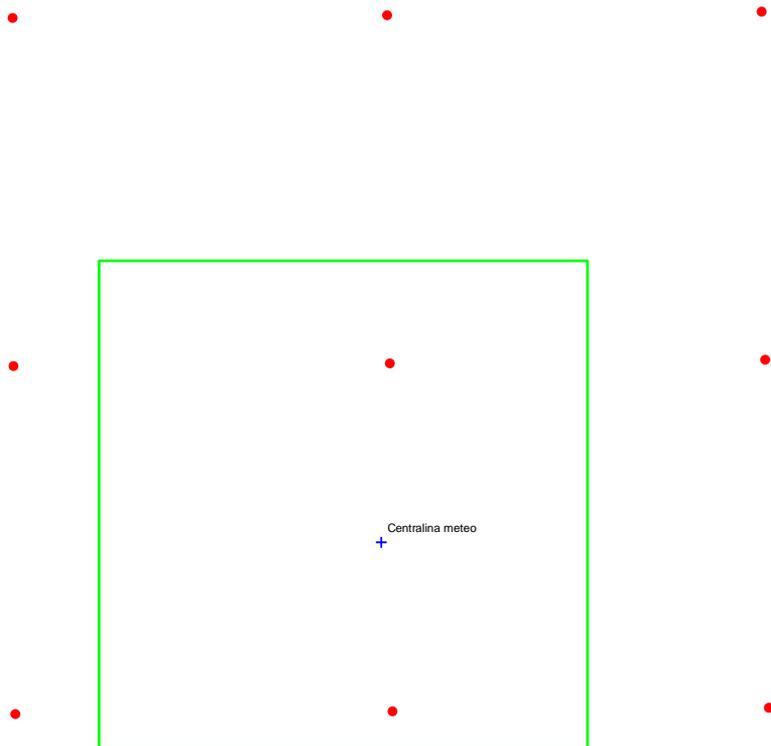


Figura 5. Dominio di simulazione, posizione dei nodi BOLAM21 e della centralina meteorologica.

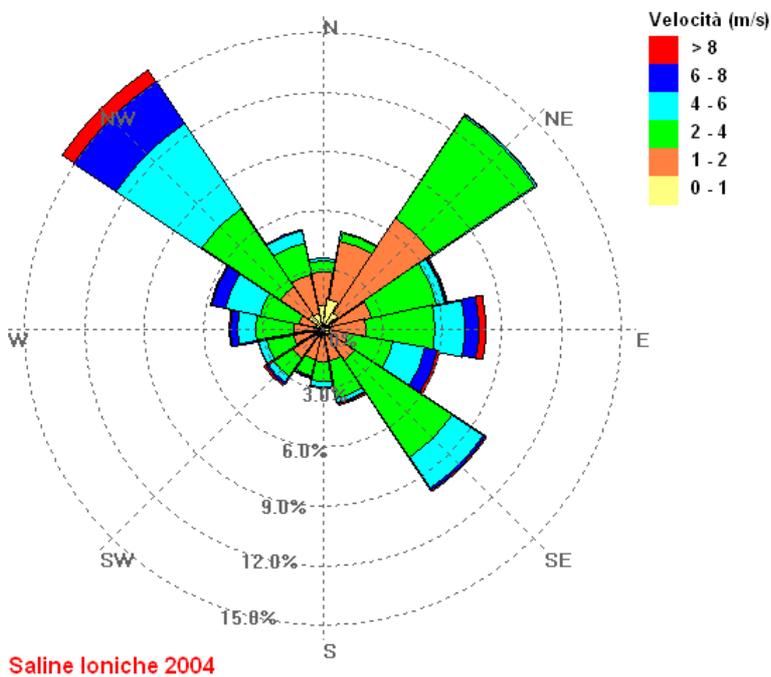


Figura 6. Rosa dei venti ottenuta a partire dalle misure della centralina meteorologica di Saline Ioniche relative all'anno 2004.



Figura 7. Rosa dei venti sovrapposta all'immagine satellitare del sito (ottenuta a partire dalle misure della centralina meteorologica di Saline Ioniche relative all'anno 2004). Tilting di 30 gradi rispetto alla verticale.

5. Risultati

La simulazione ha richiesto un tempo macchina di oltre 8000 s su un PC dotato di CPU AMD Athlon 3500+ MHz a 64 bit, memoria RAM di 768 MB. Data la notevole dimensione dell'output, la simulazione è stata frazionata su 4 periodi come indicato in Tabella 1. Nella tabella J1 e J2 indicano rispettivamente il giorno giuliano iniziale e il giorno giuliano finale del periodo contenuto nel file di output. Ciascuno dei quattro file di output binari prodotti ha una dimensione di circa 1.5 GB.

Periodo	J1	J2	Output
1	1	91	calmet_500m_001_091.bin
2	92	182	calmet_500m_092_182.bin
3	183	274	calmet_500m_183_274.bin
4	275	366	calmet_500m_275_366.bin

Tabella 1. Periodi di frazionamento della simulazione.

Il frazionamento della simulazione meteorologica su più periodi non complica l'esecuzione della simulazione di dispersione atmosferica con il modello CALPUFF. Tale modello infatti permette di indicare in input l'utilizzo di più files meteorologici di CALMET, e produce in output un unico file binario contenente le concentrazioni degli inquinanti di interesse. Al fine di utilizzare i file prodotti da CALMET in CALPUFF è necessario indicare NMETDAT = 4 (cioè l'utilizzo di 4 file di CALMET), e indicare, nel corretto ordine temporale, il percorso e il nome di ciascun file di output nella variabile METDAT.

A scopo di verifica sono stati estratti i dati di direzione e velocità del vento per ogni ora dell'anno 2004 dal file di output di CALMET relativamente alla cella di calcolo contenente la centralina meteorologica di Saline Ioniche. La rosa dei venti prodotta a partire da tali dati e relativa ad una quota di 10 m sopra il suolo è mostrata in Figura 8; come si nota tale rosa è praticamente identica a quella rappresentata in Figura 6.

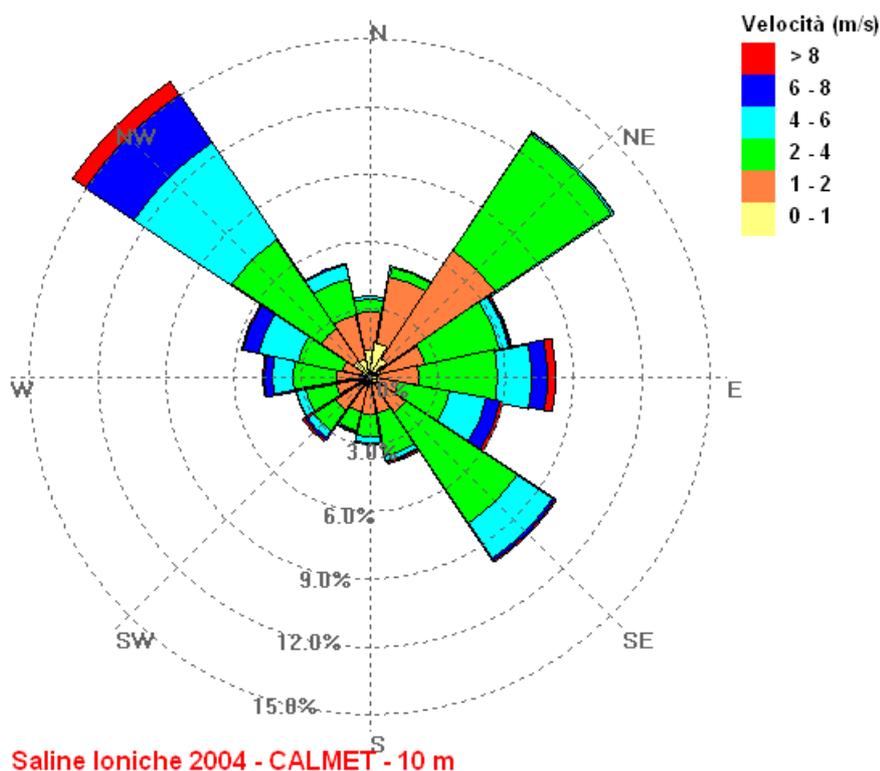


Figura 8. Rosa dei venti ottenuta a partire dai dati di CALMET estratti dalla cella di calcolo contenente la centralina meteorologica e relativi ad un'altezza di 10 m sopra il suolo.

Per lo stesso punto i dati sono stati estratti anche per la quota di 70 m sopra il suolo. La rosa dei venti relativa è mostrata in Figura 9; rispetto alla rosa relativa ai dati al suolo (cioè

a 10 m) è praticamente scomparso il vento proveniente da Nord Est, mentre rimane importante la direzione Nord Ovest, a cui si è aggiunta anche la Nord Nord Ovest. Come ci si attendeva inoltre sono scomparsi i venti di debole intensità e sono aumentati i venti di maggiore intensità.

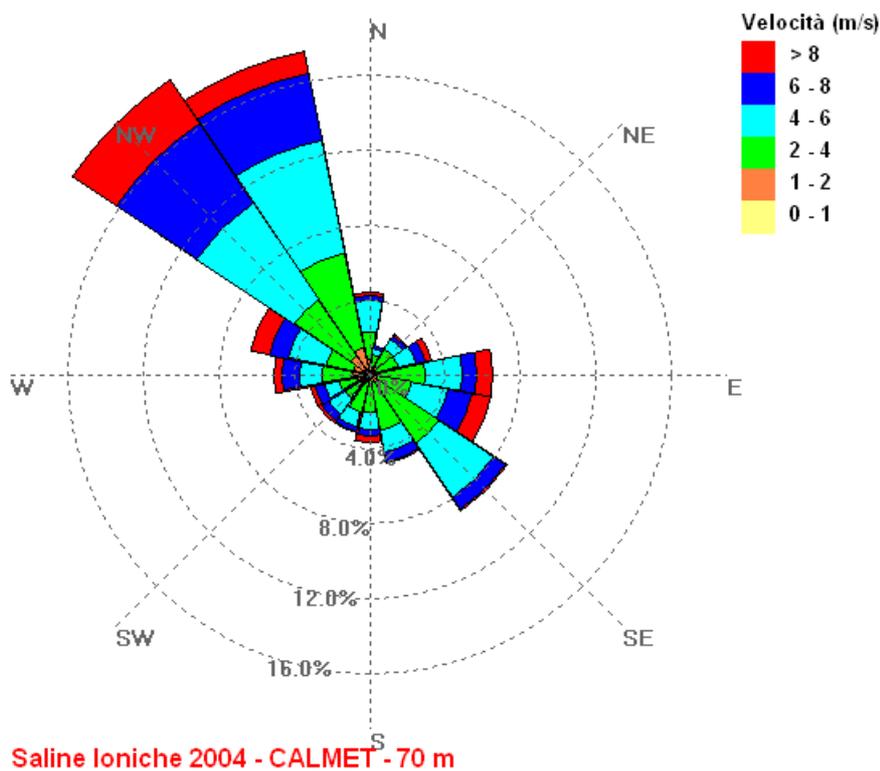


Figura 9. Rosa dei venti ottenuta a partire dai dati di CALMET estratti dalla cella di calcolo contenente la centralina meteorologica e relativi ad un'altezza di 70 m sopra il suolo.

La Figura 10 mostra a titolo d'esempio il campo di vento orizzontale predetto da CALMET alla quota di 10 m sopra il suolo sovrapposto all'orografia per l'ora di simulazione 753 (le 9 dell'1 febbraio 2004). La Figura 11 fornisce la stessa informazione per l'ora di simulazione 4387 (le 19 del primo luglio 2004).

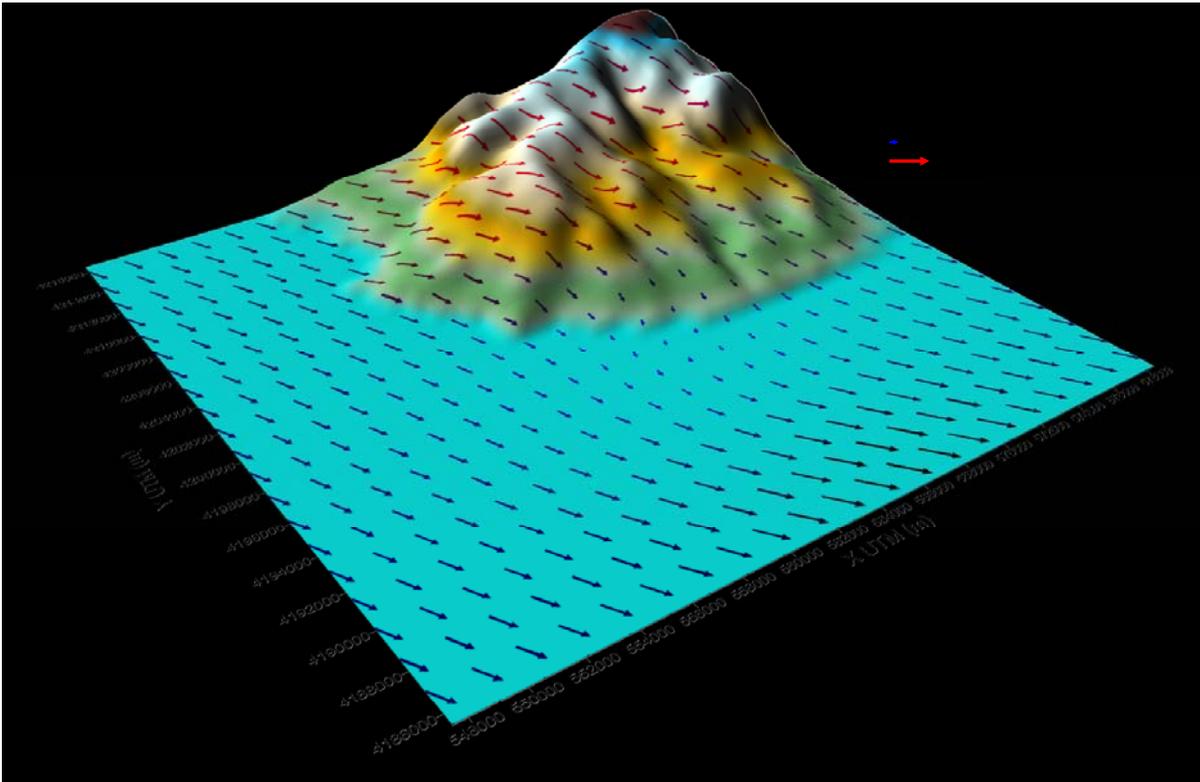


Figura 10. Campo di vento predetto da CALMET per l'ora di simulazione 753 sovrapposto all'orografia.

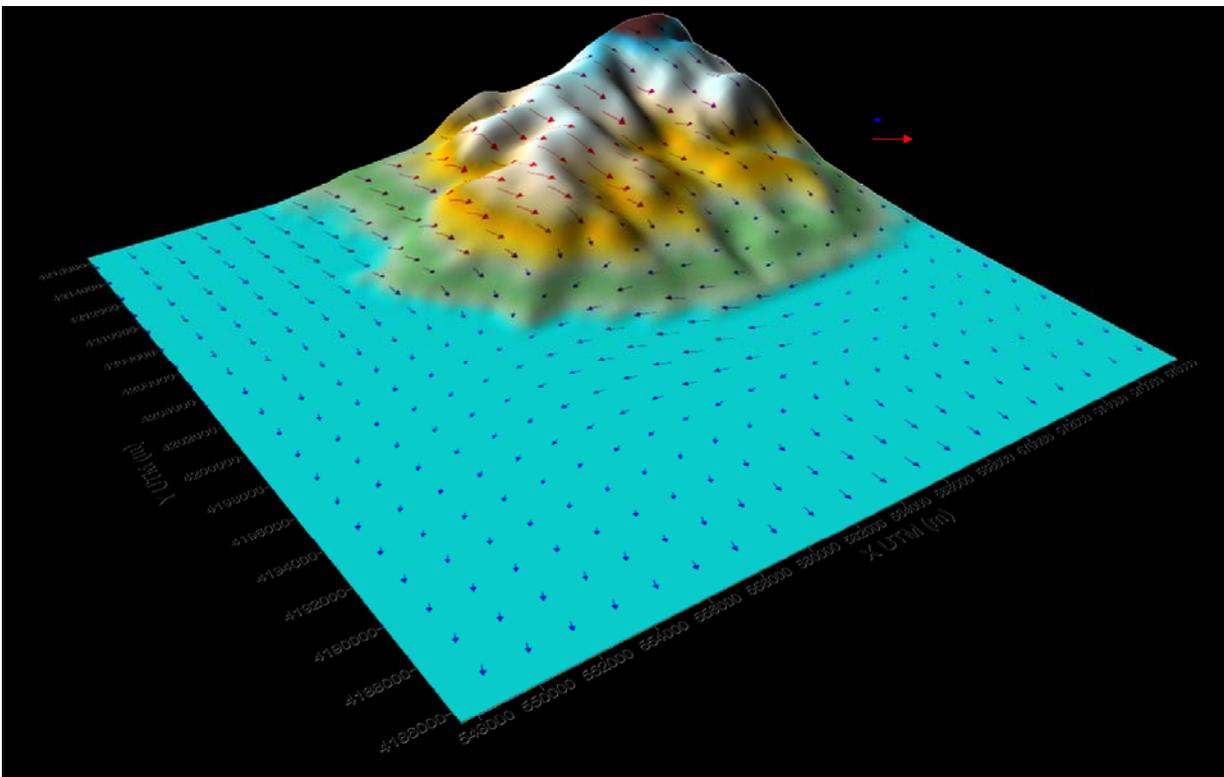


Figura 11. Campo di vento predetto da CALMET per l'ora di simulazione 4387 sovrapposto all'orografia.

6. Test di dispersione

I file di output binari prodotti da CALMET sono stati verificati per mezzo di una simulazione di test condotta con il modello CALPUFF. E' stata introdotta una sorgente fittizia avente le stesse coordinate della centralina meteorologica di Saline Ioniche e rateo unitario.

I dati di concentrazione predetti da CALPUFF sono stati estratti nei quattro punti posizionati casualmente attorno alla centralina meteorologica come mostrato in Figura 12. L'andamento dei valori di concentrazione è mostrato in Figura 13.

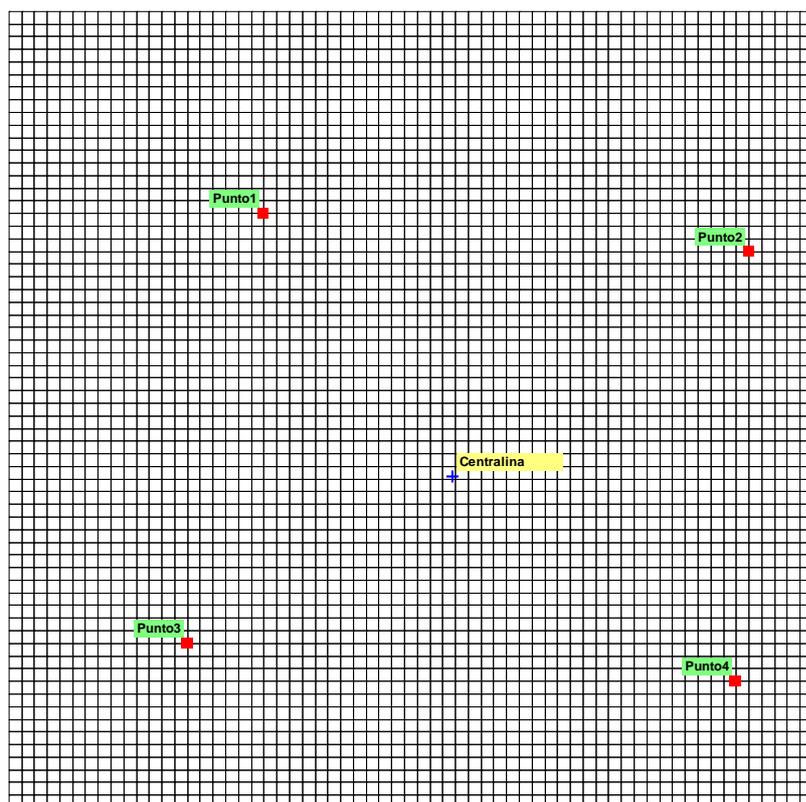


Figura 12. Posizione della centralina meteorologica sul dominio e dei quattro punti di campionamento della concentrazione.

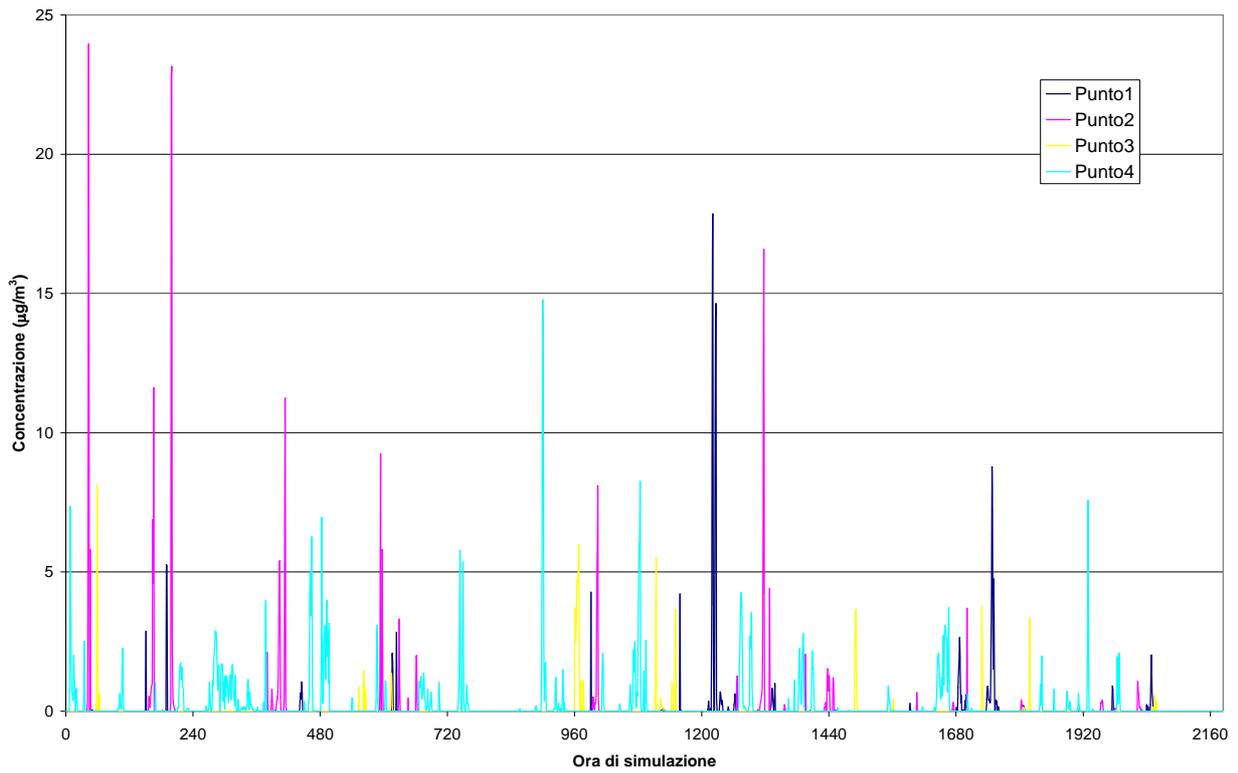


Figura 13. Andamento temporale della concentrazione nei quattro punti casuali di campionamento.

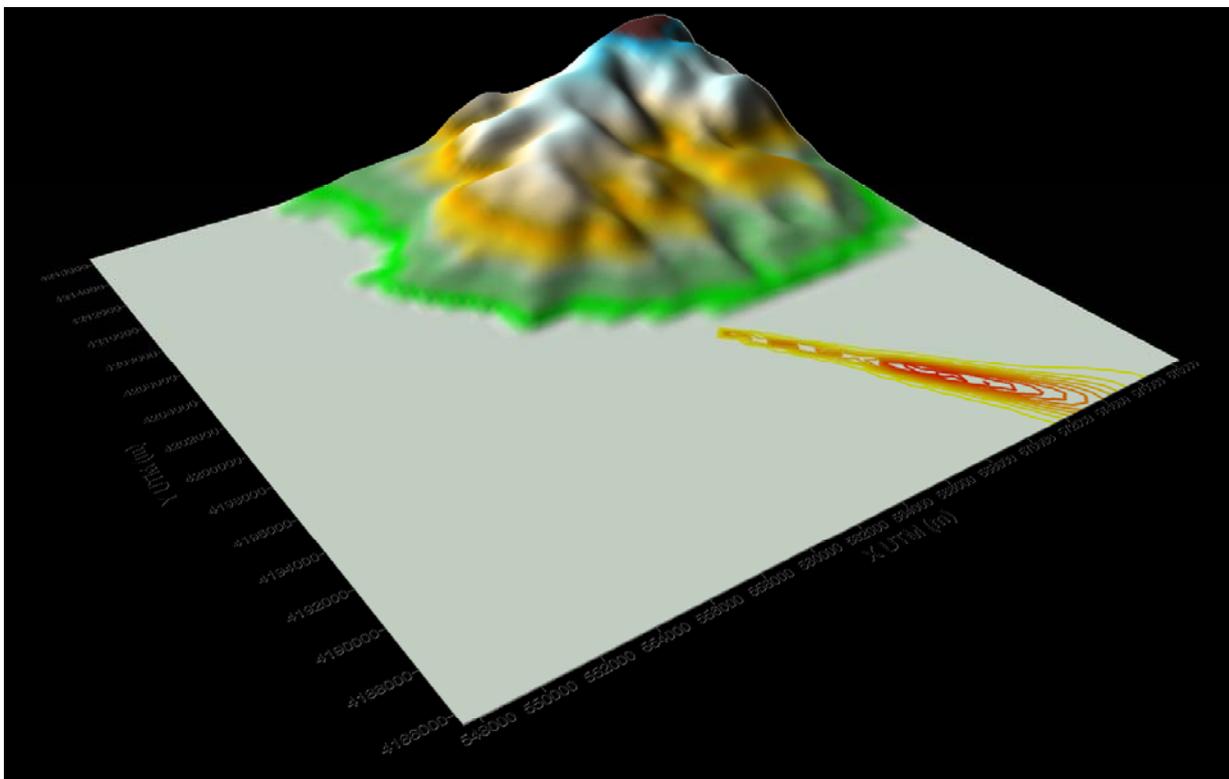


Figura 14. Campo di concentrazione predetto da CALPUFF per l'ora di simulazione 753 sovrapposto all'orografia.

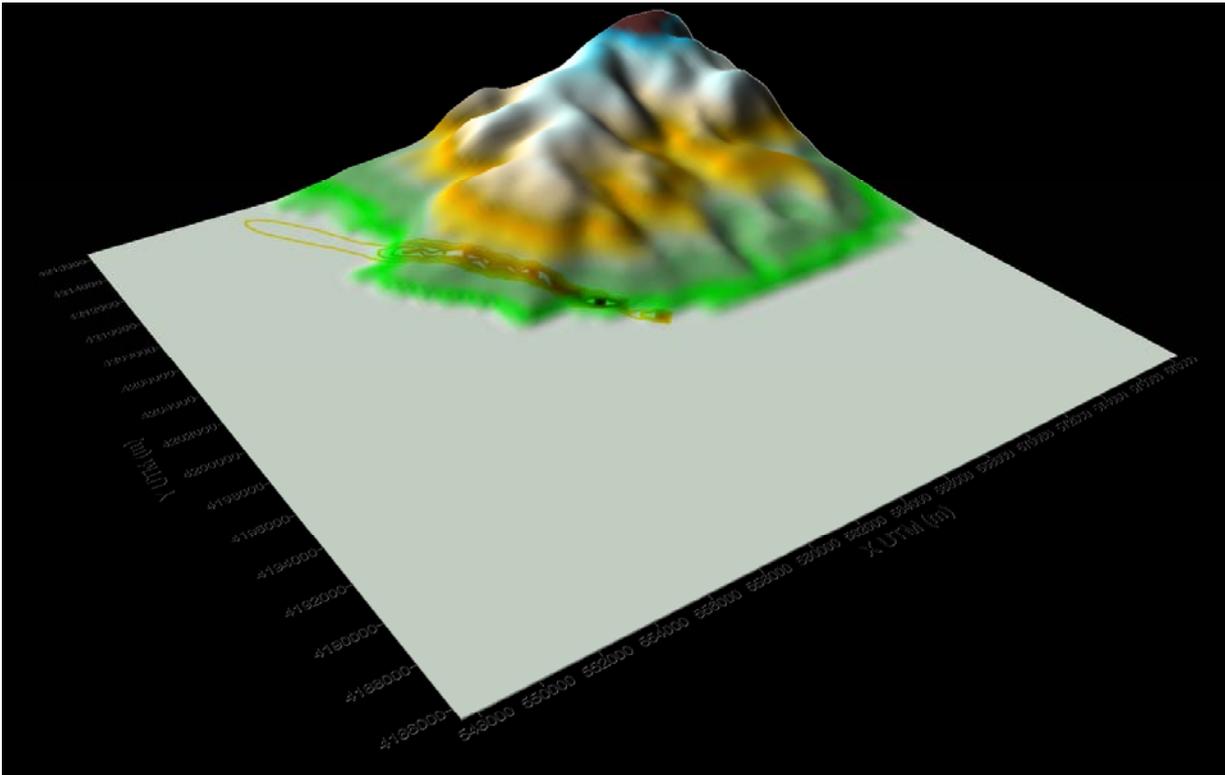


Figura 15. Campo di concentrazione predetto da CALPUFF per l'ora di simulazione 1220 sovrapposto all'orografia.

7. Contenuto del DVD

I risultati della simulazione del modello CALMET sono disponibili all'indirizzo internet protetto <http://www.enviroware.it/output/AmbienteItalia/> a cui è possibile accedere utilizzando

Login: AmbienteItalia

Password: RdSbTsS

(Login e Password sono case sensitive).

Gli 8 files disponibili per il download sono i seguenti (per un totale di circa 7 GB):

- calmet_500m_001_091.bin
- calmet_500m_092_182.bin
- calmet_500m_183_274.bin
- calmet_500m_275_366.bin
- calmet_500m_001_091.lst
- calmet_500m_092_182.lst
- calmet_500m_183_274.lst

- calmet_500m_275_366.lst

Tali files vengono inoltre forniti su 2 DVD che contengono anche il presente documento.

8. Bibliografia

- Bellasio R., G.Maffeis, J.Scire, M.G.Longoni, R.Bianconi and N.Quaranta (2005) Algorithms to account for topographic shading effects and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models. *Boundary-Layer Meteorology*, 114: 595-614.
- Holtslag, A.A.M. and A.P. Van Ulden, 1982: Simple estimates of nighttime surface fluxes from routine weather data. KNMI Scientific Report, W.R. 82-4, 11p.
- Holtslag, A.A.M. and A.P. Van Ulden, 1983: A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *J. Clim. And Appl. Meteor.*, 22, 517-529.
- Scire, J.S., D.G. Strimaitis and R.J. Yamartino, 1995: Model formulation and user's guide for the CALPUFF dispersion model. Earth Tech. Inc., Concord, MA.
- Scire, J.S., E.M. Insley and R.J. Yamartino, 2000: Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model. Earth Tech. Inc., Concord, MA.
- Yamartino, R.J., J.S. Scire , S. R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang, 1989: CALGRID: A Mesoscale Photochemical Grid Model. Volume I: Model Formulation Document. California Air Resources Board, Sacramento, CA.
- Yamartino, R.J., J.S. Scire , S. R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang, 1992: CALGRID mesoscale photochemical grid model. I – Model formulation, *Atmospheric Environ.*, 26A, 1493-1512.