

## **POTENZIAMENTO DELLA MODELLISTICA METEOROLOGICA AD AREA LIMITATA FINALIZZATA ALLA PREVISIONE AGROMETEOROLOGICA OPERANTE IN AMBITO MIPAF**

ANDREA BUZZI, PIERO MALGUZZI, OXANA DROFA, GUIDO FIORAVANTI  
Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, ISAC-CNR, Bologna

### **INTRODUZIONE**

L'attività progettuale del primo anno si è incentrata sui seguenti obiettivi:

1. Modellistica dei processi idrotermici nel suolo e nella vegetazione, per lo sviluppo di uno schema avanzato per il calcolo dei bilanci energetico ed idrico superficiale

- analisi dei metodi di parametrizzazione dei processi di scambio dell'acqua e del calore tra l'atmosfera e suolo;
- analisi delle linee di sviluppo delle parametrizzazioni nei modelli di previsioni meteorologiche a mesoscala, con lo scopo di migliorare le condizioni sul contorno inferiore dell'atmosfera e la previsione dei parametri atmosferici nello strato adiacente al suolo;
- studio e implementazione di una specifica modellizzazione dei processi d'interazione tra l'atmosfera e la superficie sottostante, che comprende la descrizione dell'influenza della vegetazione e la descrizione dei processi termici e idrici del suolo (D. Pressman);
- determinazione dei parametri fisici richiesti dalla parametrizzazione sopraindicata.

2. Ricerca ed elaborazione dei dataset di tipi di suolo e di vegetazione e delle osservazioni meteorologiche:

- dataset di: orografia, tipo di suolo, tessitura del suolo, permafrost, classi di vegetazione, leaf area index (classi), emissività etc.
- dati meteorologici e di temperatura del suolo.

3. Aggiornamento delle procedure di elaborazione e assimilazione dei dati di ingresso al modello.

4. Sviluppo di schemi più efficienti di integrazione temporale e definizione di un nuovo schema di griglia in coordinate geografiche ruotate:

- Schema temporale
- Schema di griglia in coordinate sferiche ruotate.

## MODELLISTICA

Le fasi in cui si è articolata l'attività sono le seguenti:

- 1) analisi dei metodi recenti di parametrizzazione dei processi di scambio dell'acqua e del calore tra l'atmosfera e la superficie sottostante, per gli scopi della modellistica numerica meteorologica;
- 2) analisi delle possibili linee di sviluppo delle parametrizzazioni nei modelli di previsioni meteorologiche a mesoscala;
- 3) studio approfondito e messa a punto di una specifica modellizzazione dei processi d'interazione tra l'atmosfera e la superficie sottostante, che comprende la descrizione dell'influenza della vegetazione e la descrizione dei processi termici e idrici del suolo;
- 4) determinazione dei parametri fisici richiesti dalla parametrizzazione sopraindicata.

La descrizione dei processi di scambio di calore e acqua tra l'atmosfera e la superficie sottostante per gli scopi della modellistica numerica è basata sulla parametrizzazione dei processi idrotermici alla superficie sottostante e al di sotto di essa. Per superficie sottostante si intende qui la superficie terrestre, che può essere rappresentata dal suolo o da uno specchio d'acqua (si esclude il mare da questa trattazione), e può essere coperta da una coltre vegetale o da uno strato di neve. La definizione delle condizioni sul contorno inferiore di un modello atmosferico implica la determinazione dei flussi di calore e di acqua tra l'atmosfera e la terra, e questo, a sua volta, richiede una descrizione approssimata dei processi termodinamici in uno strato di terra che può influenzare i flussi indicati.

Nell'ambiente della modellistica numerica sono state sviluppate varie e diverse parametrizzazioni dei processi del suolo e della vegetazione e della loro interazione con lo strato atmosferico interessato. Queste parametrizzazioni si distinguono per via dei diversi metodi di approssimazione dei processi fisici, in particolare di quelli collegati con la vegetazione e lo strato di acqua superficiale. Sono state individuate le seguenti parametrizzazioni:

- 1) Modello di suolo della Oregon State University (Pan, Mahrt, 1987).
- 2) Modello CAPS (Coupled Atmosphere-Plant-Soil) del Phillips Laboratory (Chang et al., 1999).
- 3) Simple Parametrization of Land Processes for Meteorological Models (Toulouse, France, Noilhan and Planton, 1989).
- 4) Modello ISBA (Interaction Between Soil, Biosphere, and Atmosphere) (Noilhan, Mahfouf, 1996).
- 5) Modello di suolo di MAPS (Mesoscale Analysis and Prediction System) (Smirnova et al., 1997).
- 6) Modello dei processi del suolo per il modello a mesoscala per le previsioni del tempo del Centro Idrometeorologico della Russia (Pressman, 1994).
- 7) LSPM (Land Surface Process Model) (Cassardo, Longhetto, 1995).
- 8) LAPS (Land-Air Parametrization Scheme) (Mihailovic', 1996).
- 9) CLASS (Canadian Land Surface Scheme for GCMs) (Verseghy, 1991).
- 10) BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) (Dickinson et al., 1986).
- 11) ILSPS (Improved Land Surface Parametrization Scheme) del modello ECMWF (Viterbo, Beljaars, 1995).
- 12) LEAF-2 (Land Ecosystem-Atmosphere Feedback) del modello RAMS (Walko et al., 1999).

Gli schemi elencati approssimano i seguenti processi idrotermici sulla superficie della terra, nello strato vegetale e nel suolo:

- bilancio della radiazione (flusso radiativo netto) sulla "superficie attiva";
- flusso del calore sensibile dall'atmosfera alla superficie sottostante;
- flusso diffusivo del calore dentro il suolo;
- flusso della precipitazione alla superficie vegetale, intercettazione della precipitazione da parte della vegetazione; flusso della precipitazione (residua) al suolo;
- scolo (runoff) delle acque (di precipitazione, di neve sciolta) dalla superficie del suolo saturo d'acqua;
- flussi d'acqua nel suolo dovuti alla forza di gravità e alla capillarità;
- trasformazioni di fase dell'acqua all'interno del suolo e alla superficie  $\Rightarrow$  flussi di calore latente;
- evaporazione e condensazione diretta sulla superficie della vegetazione  $\Rightarrow$  flussi di calore latente;
- evapotraspirazione  $\Rightarrow$  flusso di calore latente;
- flusso turbolento di vapore acqueo dall'atmosfera alla superficie sottostante;
- trasformazioni di fase dell'acqua accumulata sulla superficie attiva  $\Rightarrow$  flusso di calore latente.

Sulla base dei risultati ottenuti nella ricerca bibliografica, è stata scelta la parametrizzazione scelta del Centro Idrometeorologico della Russia, sviluppata per un modello operativo di previsione alla mesoscala. Tale parametrizzazione è caratterizzata da una descrizione accurata dei processi termodinamici, con una particolare attenzione rivolta alla conservazione di energia e di massa dell'acqua nella sua evoluzione sulla superficie terrestre e dentro il suolo. Questa parametrizzazione descrive inoltre con sufficiente accuratezza l'effetto della coltre vegetale.

## MODELLO DEL SUOLO

Di seguito è presentata una descrizione generale della parametrizzazione sopraindicata (Pressman, 1994). Nel modello qui presentato, i processi idrotermici sono approssimati nell'ipotesi della reversibilità dei processi termodinamici. Alla base dell'atmosfera ci sono due ambienti: il suolo (un eventuale specchio d'acqua, ad esempi lago o palude, è considerato come un tipo speciale di suolo) e l'acqua presente sulla superficie del suolo (pozza o neve). Quest'ultima può esistere in due fasi.

Si usa la forma differenziale delle equazioni che descrivono l'evoluzione del contenuto idrico del suolo e l'entropia del suolo:

$$\partial W / \partial t = \partial \Pi_w / \partial z \quad (1)$$

$$\partial S / \partial t = \partial \Pi_s / \partial z, \quad (2)$$

dove  $W$  rappresenta il contenuto volumetrico dell'acqua (nel suolo, nella miscela oppure nello specchio d'acqua),  $S$  è l'entropia degli ambienti analizzati,  $\Pi_w$  e  $\Pi_s$  sono i flussi di  $W$  e di  $S$  rispettivamente. La particolarità e la difficoltà della soluzione delle equazioni (1) e (2) è data dal fatto che le funzioni  $W$  e  $S$  e i rispettivi flussi sono continue solo al di sopra della temperatura di congelamento, mentre, se la temperatura scende sotto lo zero centigrado, esse presentano uno shock (discontinuità). Per poter approssimare un caso generico, cioè quando le funzioni subiscono uno shock oppure quando la miscela compare e scompare, si usa la forma originale integrale per la legge di conservazione:

$$\int_{z_1}^{z_2} W(\xi, t) \Big|_{t_1}^{t_2} d\xi = \int_{t_1}^{t_2} (\Pi_w + \dot{z} \cdot W) \Big|_{z_1}^{z_2} dt, \quad (3)$$

$$\int_{z_1}^{z_2} S(\xi, t) \Big|_{t_1}^{t_2} d\xi = \int_{t_1}^{t_2} (\Pi_s + \dot{z} \cdot S) \Big|_{z_1}^{z_2} dt. \quad (4)$$

dove  $\dot{z}$  è la velocità del limite dell'integrazione in  $\xi$  e il simbolo  $x|_u^v$  significa  $x(v) - x(u)$ . Determinando la versione al limite della forma integrale presentata sopra (che è stato chiamato "relazione dello shock") si ottiene la formula della velocità di spostamento dello shock. Per risolvere le equazioni, date le difficoltà presenti nell'algoritmo, si applica il metodo di *splitting* fisico. L'algoritmo può essere implementato in qualsiasi modello di suolo. Per risolvere le equazioni fisiche in maniera numerica si può usare una griglia con un numero arbitrario di punti.

## MODELLO DI VEGETAZIONE

Nel seguito viene presentato in breve il metodo di rappresentazione della vegetazione. Per approssimare il processo di evapotraspirazione, è stata applicata la parametrizzazione di Pan e Mahrt (1987). Di seguito si parlerà di vegetazione usando il termine "foglia", intendendo con esso tutta la vegetazione intesa come interfaccia tra l'atmosfera e il suolo sottostante. Lo spessore della foglia è trascurato. La sua superficie superiore può intercettare l'acqua delle precipitazioni ed essere parzialmente secca oppure completamente coperta con le gocce, che possono evaporare direttamente senza raggiungere la terra. La parte secca della foglia può evapotraspirare l'acqua estratta dal suolo con le radici (solo durante il giorno). L'eccesso delle gocce che coprono la foglia cade al suolo. La foglia esercita un'influenza diretta sui flussi di calore solo assorbendo la radiazione solare e influenzando i flussi idrici del suolo. In questo algoritmo la base della cella più bassa di atmosfera è costituita di tre parti, suolo nudo, foglia secca e foglia bagnata. Sulla foglia bagnata e sulla superficie della miscela si impone la condizione di saturazione del vapore d'acqua. Sulla parte secca della foglia si impone:

$$\rho_2 \cdot \bar{q}_2 = \rho_2 \cdot q_1 - (\rho_1 \cdot q_v^{sat}(T_1^0) - \rho_2 \cdot \bar{q}_2) \cdot res \cdot \frac{\sum \Delta z_k^{soil} \cdot \begin{cases} 1 & \text{if } (q_w)_k \geq q_w^{ref} \\ ((q_w)_k - q_w^{wilt}) / (q_w^{ref} - q_w^{wilt}) & \\ 0 & \text{if } (q_w)_k \leq q_w^{wilt} \end{cases}}{\sum \Delta z_k^{soil}} \quad (5),$$

dove la somma è fatta per tutti gli strati comprendenti la zona delle radici,  $\rho_1$  e  $q_1$  sono la densità dell'aria e la massa specifica dell'acqua del livello di interfaccia tra l'atmosfera e il suolo;  $\rho_2$  e  $q_2$  sono la densità dell'aria e la massa specifica media dell'acqua per tutta la cella sul livello atmosferico soprastante; *res* è un coefficiente non dimensionale dipendente dal tipo delle piante;  $q_w^{wilt}$  è il punto di appassimento

delle piante. La traspirazione si ferma se il contenuto idrico del suolo scende sotto questo valore; se  $q_w \geq q_w^{ref}$  la traspirazione raggiunge il suo tasso massimo.

Oltre ai parametri sopraindicati, è necessario conoscere la profondità delle radici e il valore massimo della massa delle precipitazioni intercettate  $(m_w^{leaf})_{max}$  per calcolare il loro eccesso, in modo che la frazione della foglia che risulta bagnata si calcola con la formula:

$$CWFR = \sqrt{m_w^{leaf} / (m_w^{leaf})_{max}} .$$

Si suppone che le radici possono estrarre l'acqua dal suolo se:

- 1)  $CWFR^{av} < 1$
- 2) nella zona delle radici  $T > 273.15K$ ,
- 3) il flusso dell'acqua atmosferica è indirizzato verso l'alto,
- 4) c'è almeno un livello nella zona delle radici dove  $q_w > q_w^{wilt}$  .

La parametrizzazione sopra descritta, inserita in un modello numerico dell'atmosfera, consente la previsione della temperatura e del contenuto idrico del suolo, dell'evoluzione dell'acqua accumulata sulla superficie del suolo, della temperatura e dell'umidità dell'aria soprastante il suolo. Sono necessari i valori di vari parametri fisici del suolo e della vegetazione. Questi parametri dipendono dal tipo di suolo e di vegetazione. In letteratura sono disponibili i parametri fisici del suolo richiesti dalla parametrizzazione presentata sopra, limitatamente ai tipi di suolo classificati in base alla sua "tessitura" (*texture*), mentre il database dei suoli idoneo al territorio che ci interessa (database della FAO) è basato su un'altra classificazione dei suoli. Per risolvere questa inconsistenza, è stato condotto uno studio per determinare corrispondenze tra le due classificazioni.

## **ELABORAZIONE DEI DATASET DEI TIPI DI SUOLO E DI VEGETAZIONE E DELLE OSSERVAZIONI METEOROLOGICHE**

Per il corretto utilizzo dei modelli sopra descritti, è necessario disporre:

- 1) di dati relativi alle caratteristiche fisiche del suolo e della copertura vegetale presente sul dominio d'interesse;
- 2) di dati relativi ai fenomeni meteorologici effettivamente osservati, ed in particolare quelli riguardanti la superficie terrestre, in quanto necessari per la validazione del modello di suolo di cui si vuole dotare il modello.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche del suolo e della vegetazione, la maggior parte delle informazioni e dei dataset ad esse attinenti, sono reperibili in Internet. I dataset prodotti per la linea di ricerca riguardano prevalentemente dati telerilevati.

Due ulteriori aspetti caratterizzano i set di dati oggetto di discussione:

- 1) l'area di interesse, individuata dalle coordinate geografiche: 40 W, 70 E; 15 N, 70N;
- 2) le informazioni georiferite: i dataset contengono informazioni relative ad entità (suolo, vegetazione ecc.) di cui si conoscono le reali coordinate geografiche.

*Dataset ricavati dalla Digital Soil Map of the World*

La *Digital Soil Map of the World*, distribuita dalla FAO su supporto cd-rom

([www.fao.org/waicent/Faoinfo/agricult/agl/agll/dsmw.htm](http://www.fao.org/waicent/Faoinfo/agricult/agl/agll/dsmw.htm)), è la versione rielaborata e digitalizzata della *FAO/UNESCO Soil Map of the World*, classificazione dei suoli di tutto il mondo, pubblicata tra il 1974 ed il 1978. Il processo di elaborazione delle informazioni contenute nella *Digital Soil Map of the World* è consistito, prima di tutto, nella "rasterizzazione" delle mappe del suolo e quindi nella loro memorizzazione, in formato testo, su file (*ascii raster file*); i file così ottenuti sono stati rielaborati mediante programmi appositamente scritti nel linguaggio FORTRAN90.

Tre sono i set di dati ricavati dalla *Digital Soil Map of the World*, per la linea di ricerca:

- 1) dataset dei tipi di suolo;
- 2) dataset della tessitura del suolo;
- 3) dataset del permafrost (che contiene l'informazione della presenza degli strati permanentemente ghiacciati nel suolo).

#### *Dataset del suolo*

Il dataset dei tipi di suolo distingue 26 classi di suolo, mentre il dataset originale della FAO considera la distinzione in numerose sottoclassi di queste 26 classi. Un altro noto dataset del suolo, noto come *Zobler dataset* individua solo 26 classi di suolo, quasi del tutto coincidenti con quelle da noi definite. Ogni classe di suolo FAO è determinata dalla combinazione tra suoli primari (suoli che occupano almeno il 24% dell'area territoriale considerata), suoli secondari (almeno il 20%) ed inclusioni (meno del 20%), mentre nel dataset finale si è ritenuto sufficiente prendere in considerazione soltanto i suoli primari.

#### *Dataset della tessitura del suolo*

Una dettagliata descrizione della tessitura del suolo, ovvero della sua composizione percentuale in termini di argilla, sabbia e limo, consente di definire le proprietà del suolo (come ad esempio la capacità idrica), determinanti nella descrizione degli scambi di flussi energetici tra suolo ed atmosfera. Data la relativamente bassa risoluzione del dataset originale della FAO (8 km x 8 km), l'informazione ricavata dal *texture dataset* è stata rielaborata, cercando di tener conto dei criteri di classificazione definiti dall'*American Soil Taxonomy*. A tale scopo è stato necessario determinare la frequenza con cui si manifesta ciascuna delle tre classi di tessitura (*coarse, medium, fine*) definite dal sistema di classificazione FAO, per ciascun tipo di suolo.

#### *Dataset della vegetazione*

Il dataset della vegetazione (*landcover dataset*) utilizzato nel progetto è quello fornito dal sito dello UMD (*University of Maryland*); si tratta di un dataset ad alta risoluzione spaziale (1km x 1km) in cui vengono distinte tredici classi di vegetazione (si veda la tabella 1).

<b>Classi di vegetazione</b>		<b>Classi di vegetazione</b>	
Water	0	Closed Shrubland	8
Evergreen needleleaf forest	1	Open Shrubland	9
Evergreen broadleaf forest	2	Grassland	10
Deciduous needleleaf forest	3	Cropland	11
Deciduous broadleaf forest	4	Bareground	12
Mixed Cover	5	Urban and Built-up	13
Woodland	6		
Wooded grassland	7		

### *LAI dataset*

L'indice di area fogliare (*LAI: Leaf Area Index*) viene definito come il rapporto tra la superficie fogliare totale, considerando un solo lembo, e la superficie del suolo su cui le foglie si proiettano. Il LAI è un indice non normalizzato: mentre è ben definito che il valore 0 corrisponde al suolo nudo (*bare ground*) e i valore del LAI per i vari tipi della vegetazione possono variare dallo 0 a un arbitrario numero positivo (perché le foglie possono sovrapporsi e loro area totale può superare l'area del suolo sottostante la pianta). Tuttavia spesso nei dataset si introduce una normalizzazione del LAI per limitarlo con il valore massimo 1. Il *leaf area index* viene spesso impiegato come parametro nei modelli SVAT (*soil-vegetation-atmosphere transfer*) e nei *Global Circulation Models*. Il sito <http://cybele.bu.edu/> fornisce un dataset del LAI con risoluzione spaziale di 15' x 15'. Sfruttando l'informazione del dataset così ottenuto, si è cercato di determinare, per ognuna delle classi di vegetazione del landcover dataset, delle curve che descrivessero l'andamento annuale del LAI.

### *Dati meteorologici*

La validazione del modello DALAM (e, in particolare, del modello di suolo di cui si vuole dotare il DALAM), rappresenta un aspetto fondamentale del progetto. Per una prima fase di validazione si è deciso di acquisire i dati relativi alla superficie (essendo l'attenzione rivolta al modello di suolo) per due periodi di tempo che vanno dal 27 al 30 dicembre e dal 3 al 6 luglio 2001. Per una maggiore accuratezza del processo di validazione, i dati sono stati raccolti non solo per il territorio nazionale, ma anche per una porzione d'Europa pressappoco coincidente con quella definita dai dataset ambientali descritti nelle pagine precedenti.

I dati relativi al territorio nazionale sono stati forniti dalla società Finsiel di Roma e riguardano i fenomeni meteorologici osservati nelle stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale (RAN) e nelle stazioni dell'Aeronautica Militare (AM); i dati meteorologici relativi alle stazioni europee, invece, sono stati acquisiti dal Centro Europeo (ECMWF), attraverso apposite "richieste" all'archivio MARS (*Meteorological Archival Retrieval System*). La maggior parte dei dati contenuti in esso sono memorizzati in uno dei due standard: GRIB (per i campi atmosferici) e BUFR (per le osservazioni).

## **AGGIORNAMENTO DELLE PROCEDURE DI ELABORAZIONE E ASSIMILAZIONE DEI DATI DI INGRESSO AL MODELLO**

Il modello DALAM viene inizializzato partendo dai seguenti campi meteorologici, su grigliato tridimensionale: umidità specifica, temperatura, componente zonale e meridionale del vento, geopotenziale, acquisiti su una griglia spaziale regolare di risoluzione 0.5x0.5 gradi e su 10 livelli standard di pressione. Oltre ai campi 3D sono acquisiti anche 6 campi superficiali costituiti da: pressione al suolo, componenti del vento a 10m, temperatura e temperatura di rugiada a 2m, copertura nuvolosa.

Per meglio sfruttare l'informazione presente nel modello del Centro Europeo si è introdotto, nell'ambito della presente attività, un incremento in termini di risoluzione spaziale della condizione iniziale e di quelle al contorno, aumentando a 25 il numero di livelli verticali assimilati, per meglio descrivere soprattutto la struttura verticale nel *boundary layer* atmosferico al tempo iniziale. Questo implica che vengano assimilati direttamente i livelli ibridi del modello del Centro Europeo. Altri aggiornamenti delle

procedure di assimilazione riguardano l'analisi di ulteriori campi superficiali. In particolare, il programma di pre-elaborazione utilizza la temperatura e il contenuto idrico di 3 strati di suolo forniti dall'analisi ECMWF (al posto di valori climatologici).

## **SVILUPPO DI SCHEMI PIÙ EFFICIENTI DI INTEGRAZIONE TEMPORALE E DEFINIZIONE DI UN NUOVO SCHEMA DI GRIGLIA IN COORDINATE GEOGRAFICHE RUOTATE**

Lo schema temporale della precedente versione del modello DALAM è basato su un'integrazione implicita dei termini che descrivono la propagazione delle onde di gravità, associata ad un trattamento esplicito a tre livelli temporali dei termini che rappresentano le avvezioni. Tale schema, denominato semi-implicito, permette di utilizzare un passo temporale quattro volte più lungo di quello imposto dal criterio di stabilità CFL, al prezzo di risolvere, ad ogni passo, un problema di Helmholtz tridimensionale. Malguzzi e Tartaglione (1999) hanno mostrato come sia più conveniente utilizzare uno schema esplicito di tipo *forward-backward* a due livelli temporali per la parte di equazioni riguardante la propagazione delle onde di gravità, separando nello stesso tempo l'integrazione della parte di avvezione. Quest'ultima può essere integrata nel tempo utilizzando lo schema del secondo ordine denominato FBAS che permette il raddoppio del passo temporale rispetto al precedente schema *leapfrog* mantenendo la stessa precisione. È stata effettuata l'implementazione del nuovo schema temporale basato sui sopra citati elementi che ha comportato ad una significativa riduzione del tempo di calcolo.

I campi meteorologici previsti da DALAM sono discretizzati su una griglia spaziale di coordinate sferiche (latitudine e longitudine) con incrementi costanti (senza rotazione). Il passo di griglia della precedente versione è di 0.284 gradi di latitudine e 0.39 gradi di longitudine, cui corrisponde una distanza media di 30 km. A causa della convergenza dei meridiani verso il polo, il passo di griglia in direzione longitudinale ha un'estensione variabile, compresa tra circa 38 km sul confine sud a circa 25 km sul confine nord. Questa disomogeneità implica, da una parte, una perdita di risoluzione verso sud e, dall'altra, una restrizione del passo temporale con conseguente perdita di *performance* del codice numerico. Il modo più semplice per ovviare a questi inconvenienti consiste nel discretizzare la variabilità spaziale dei campi su una griglia in coordinate sferiche ruotate.