



*Meteorologia e Micrometeorologia
per l'inquinamento atmosferico
2011*

Parte 10

**Anatomia di un
Modello Operativo di PBL**

*dott. Roberto Sozzi
dott. Andrea Bolignano*

Il cuore teorico di un Modello Operativo di PBL (prognostico ed Euleriano), è costituito dall'insieme delle equazioni (quasi tutte PDE) che descrivono:

- la conservazione delle materia
- la conservazione della quantità di moto
- la conservazione dell'entalpia
- la legge dei gas
- la conservazione dell'acqua nelle sue varie forme
- **la conservazione di altre sostanze** (questo argomento lo tratteremo estesamente nella seconda parte del corso e qui lo ignoreremo).

Tuttavia, alla fine, il **modello** è un **oggetto informatico** di grandi dimensioni normalmente scritto per essere applicato in molti casi diversi e spesso (come avviene nei Centri di previsione meteorologica e nei Centri regionali della qualità dell'aria, per essere applicato giorno dopo giorno senza interruzioni.

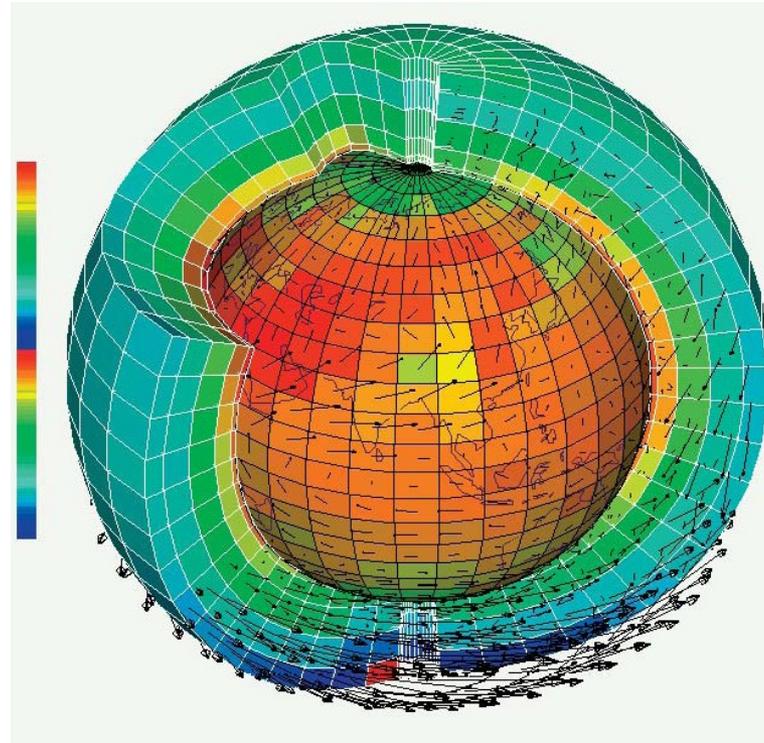
Quindi deve possedere una certa generalità ed adattabilità.

L'elemento di demarcazione logica per i modelli è costituito dal Dominio Spaziale di Calcolo.

Modelli Globali ⇒ Il loro obiettivo è la ricostruzione delle variabili meteorologiche su un dominio spaziale che comprende tutto il globo terrestre e l'intera atmosfera.

Modelli ad Area Limitata ⇒ Il loro obiettivo è la ricostruzione dei campi meteorologici e micrometeorologici in un dominio la cui frontiera inferiore è costituita da una porzione limitata di superficie terrestre

Modello Globale



Il suo Dominio di Calcolo è **chiuso su sé stesso** \Rightarrow le condizioni al contorno delle PDE che costituiscono il modello sono **periodiche** e quindi non devono essere note a priori.

Questa è una proprietà importante e determina la possibilità di utilizzo dei modelli ad area limitata

La **simmetria sferica** che contraddistingue il Dominio di Calcolo impone che tutte le PDE che lo caratterizzano siano **riscritte in coordinate sferiche**.

Sfruttando l'utilizzo delle coordinate sferiche e le condizioni al contorno periodiche, i vari campi meteorologici possono essere scomposti spazialmente in Serie di Fourier evitando la discretizzazione spaziale delle PDE ⇒ Metodi Pseudospettrali.

Dato che il Dominio di Calcolo è enorme, le celle elementari (che non sono parallelepipedi) hanno:

→ **Dimensioni orizzontali molto grandi**

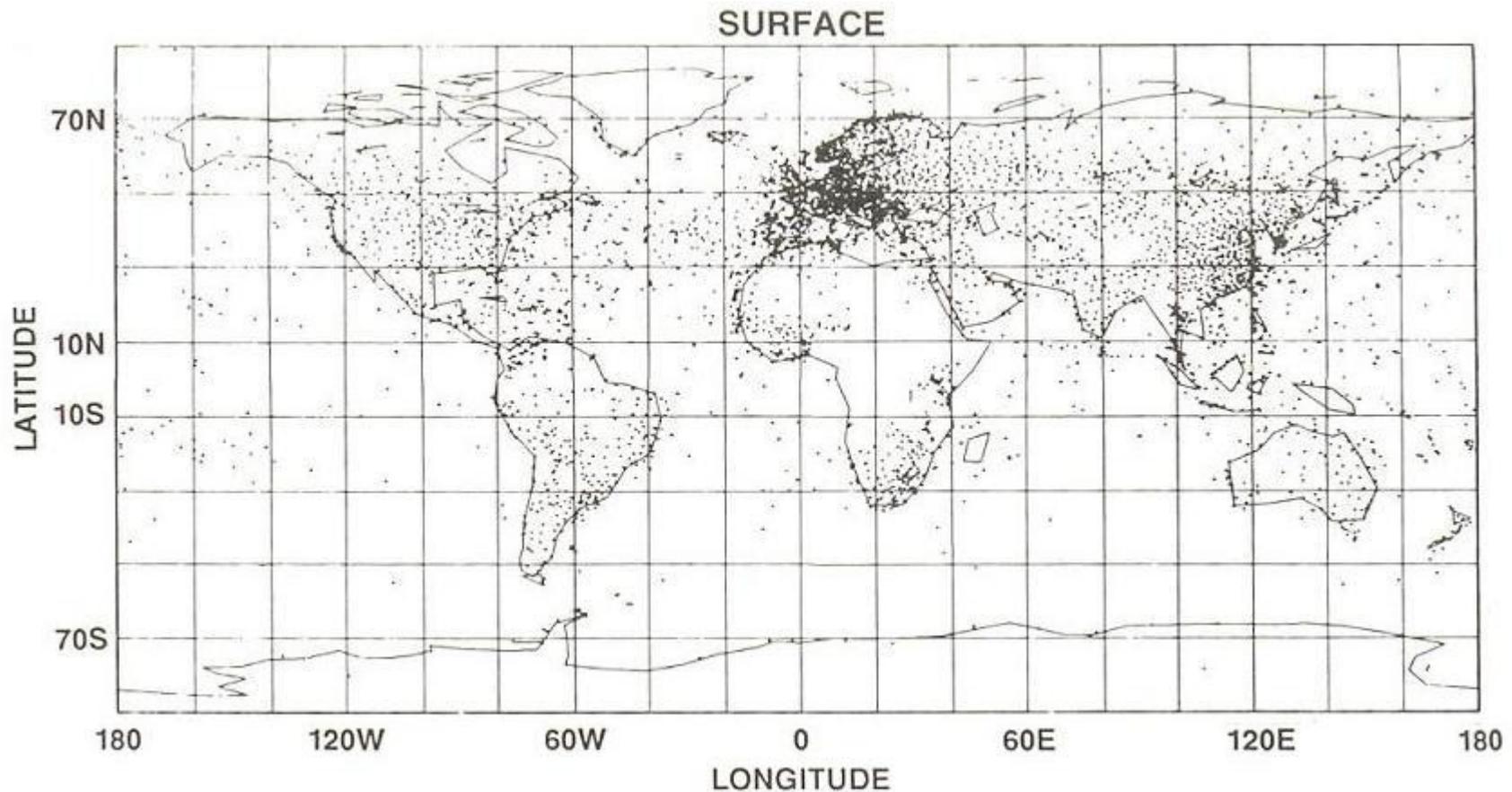
→ **Dimensioni verticali elevate che non consentono di *risolvere* adeguatamente il PBL.**



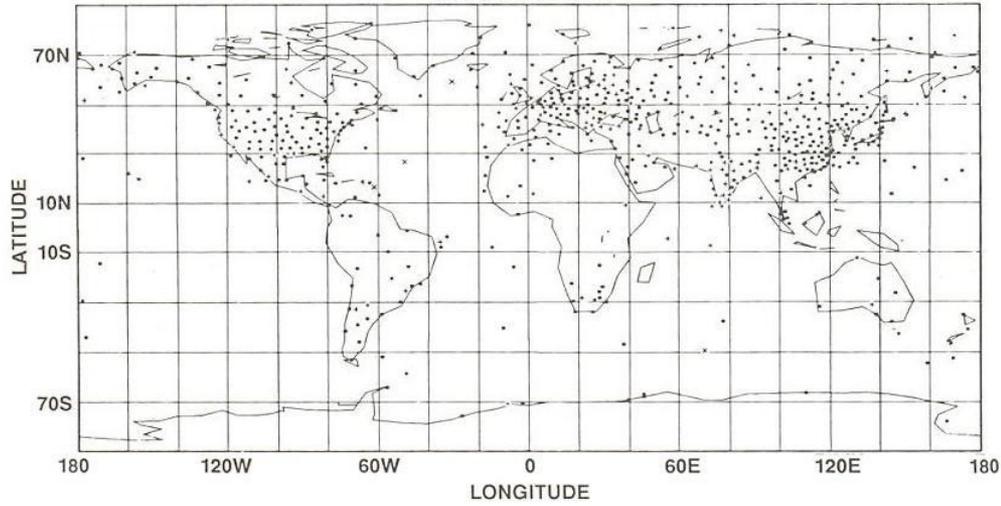
Semplificazioni notevoli nelle PDE (semplificazione drastica della turbolenza)

Semplificazioni notevoli nel trattamento dell'orografia presente sulla superficie terrestre

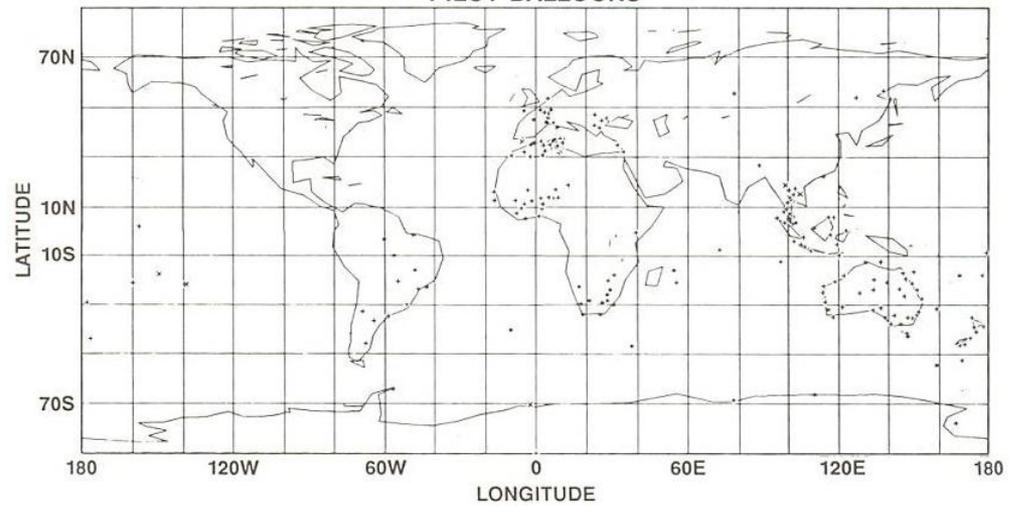
Le **condizioni iniziali** le prendono dalle osservazioni al suolo ed in quota che vengono realizzate in ogni parte del mondo dai vari Servizi Meteorologici Nazionali alle **ore sinottiche** (00 GMT, 6 GMT, 12 GMT 18 GMT)



RADIOSONDES



PILOT BALLOONS



Concettualmente:

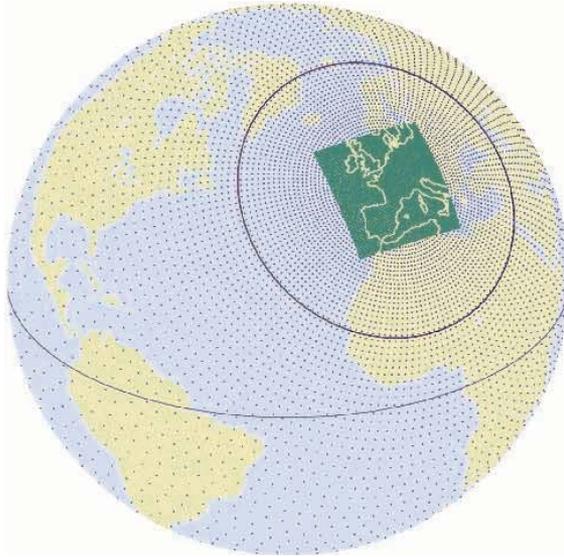
1. Al tempo t_0 raccolgo da tutto il mondo le misure al suolo ed in quota disponibili e ne effettuo un controllo di qualità;
2. Dispongo al tempo t_0 di una previsione fatta dal modello in precedenza (forecast)
3. Le due informazioni precedenti costituiscono la base informativa di cui dispongo. A questo punto **Assimilo**, cioè metto in accordo in varie tecniche matematiche e statistiche, le misure e le previsioni costruendo l'**analisi**, cioè la miglior fotografia possibile della distribuzione spaziale dei differenti campi meteorologici
4. Fornisco questa analisi al modello globale che la considera la naturale condizione iniziale
5. Lancio il modello globale che farà le previsioni per tutto il mondo per un periodo di tempo variabile (+24, +48, +72 ore) con risoluzione temporale oraria o trioraria.

I modelli globali vengono utilizzati da pochi Servizi Meteorologici:

- Centro Meteorologico Europeo**
- US-NOOA**

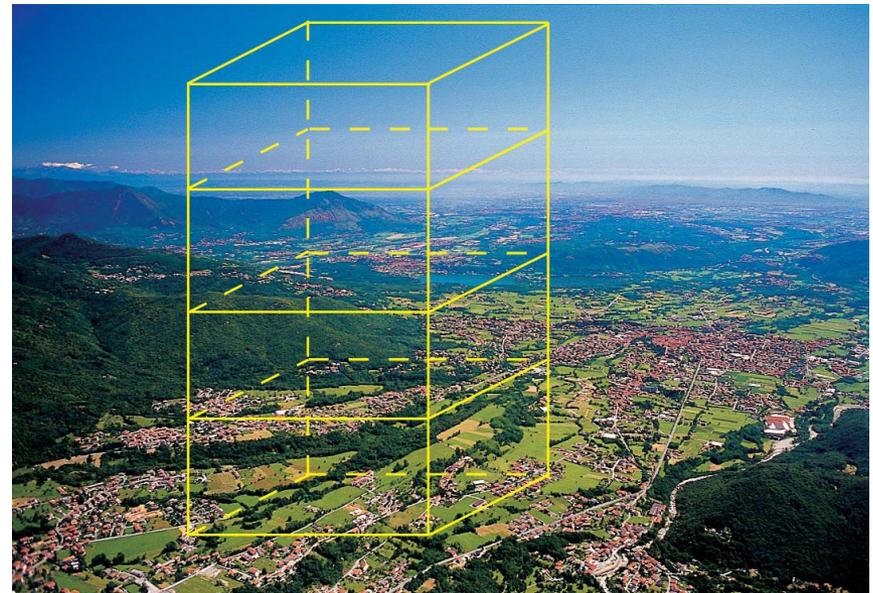
Sono importanti per gli altri Utenti perché da essi tutti traggono le condizioni iniziali ed al contorno per i modelli a scala limitata, cioè quei modelli che considerano porzioni limitate di superficie terrestre

Modello ad Area Limitata



Interessa una porzione limitata di superficie terrestre.

Dimensione orizzontale caratteristica: 500 - 10 km



Un Modello ad Area Limitata tratta quindi un dominio spaziale che:

- **ha un'estensione orizzontale limitata (500 – 10 km)**
- **ha un'estensione verticale che comprende l'intero PBL + una porzione limitata di Troposfera (estensione tipica 0 – 3000 m).**
- **ha le celle di calcolo con dimensioni orizzontali tipiche di 20 – 1 km**
- **presenta la frontiere inferiore, coincidente col suolo, in cui le proprietà geometriche (orografia, tipo di suolo, copertura vegetale, ecc.) risultano *visibili* e determinanti per l'individuazione dei vari campi meteorologici e micrometeorologici.**

Un Modello ad Area Limitata ha una risoluzione spaziale (orizzontale, verticale e temporale) molto maggiore di quanto lo sia per un Modello Globale.

La base Teorica è sempre costituita dalle Equazioni della Fluidodinamica

- ogni Modello seleziona l'insieme di equazioni prognostiche per i valori medi delle variabili meteorologiche
- a seconda della chiusura adottata, anche le equazioni dei momenti di ordine superiore non parametrizzati dalla chiusura stessa.

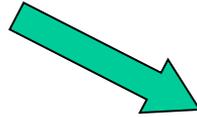
Frequentemente, i modelli disponibili consentono di scegliere tra un numero limitato di chiusure differenti (chiusa K, Chiusure di Mellor-Yamada, Chiusure non locali) in modo da potersi adattare alle situazioni tipiche in cui si opera.

Es. Se si opera in situazioni tipiche delle alte latitudini (situazioni polari) in cui prevalgono le situazioni stabili, può essere conveniente scegliere una chiusura K, mentre se si stanno considerando zone alle medie e basse latitudini, è maggiormente conveniente selezionare chiusure della famiglia Mellor-Yamada

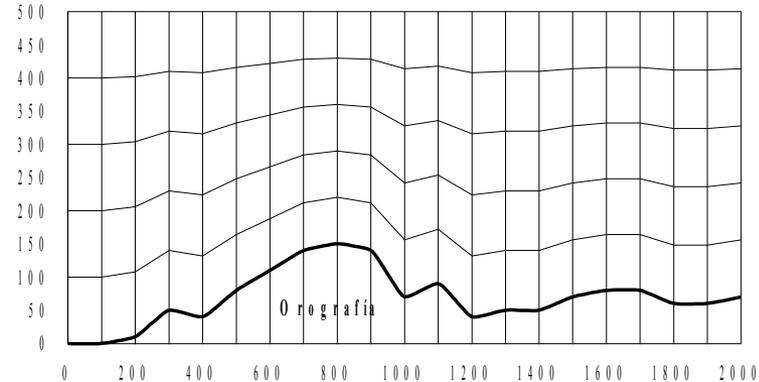
Dato che il Dominio di Calcolo è Limitato, il **sistema di coordinate** adottato non è sferico ma:

- in orizzontale si adottano coordinate cartesiane (x,y) o (lat/long)
- in verticale, per trattare esplicitamente l'orografia presente, è conveniente adottare le coordinate *Terrain-Following*

$$\sigma = \frac{z - z_g}{H - z_g}$$



Riscrittura delle diverse equazioni nel nuovo sistema di coordinate, dato che tali equazioni sono state introdotte usando un sistema di coordinate cartesiano tridimensionale.



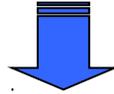
Fanno parte dell'insieme delle equazioni del modello anche le relazioni che si riferiscono a processi che non sono stati esplicitamente trattati nel corso come:

- l'interazione della radiazione solare con l'atmosfera attraversata (assorbimento e scattering)
- la produzione di radiazione all'infrarosso derivante dall'aria dell'atmosfera
- l'interazione della radiazione di origine terrestre con l'aria sovrastante
- la dinamica delle nubi e la convezione profonda.

Opzioni modellistiche da selezionare:

- **Tipo di coordinate**
- **Tipo di chiusura**
- **Tipo di schemi radiativi (onda lunga ed onda corta)**
- **Tipo di schemi per le nubi.**

A completamento delle equazioni fluidodinamiche



Modello della superficie e del suolo

Consideriamo una colonna d'aria costituita da tutte le celle sovrapposte dal suolo alla sommità del Dominio di Calcolo:

- a) Attraversando la colonna e raggiungendo al suolo, la radiazione solare ad onda corta subisce processi di assorbimento e scattering
- b) Una porzione della radiazione ad onda corta che giunge alla base della colonna (superficie) viene riflessa verso l'alto (albedo) e nella sua risalita subisce assorbimenti e scattering
- c) L'aria presente in ogni cella, possedendo una temperatura assoluta non nulla irraggia radiazione elettromagnetica nell'infrarosso
- d) La radiazione all'infrarosso emessa dal suolo si propaga verso l'alto subendo assorbimenti e scattering
- e) Alla base della colonna vale il bilancio radiativo superficiale

$$R_g(1-\alpha) + L\downarrow + L\uparrow = R_N$$

- f) Nelle varie celle, lo sbilanciamento radiativo determina il termine di sorgente per l'equazione della conservazione dell'entalpia

Il bilancio radiativo in atmosfera richiede:

- 1) La conoscenza della radiazione solare alla sommità dell'atmosfera (cosa che si ottiene da semplici considerazioni astronomiche)**
- 2) La conoscenza della temperatura dell'interfaccia aria suolo che determina la radiazione infrarossa da esso emessa dal suolo e questa è una condizione da porre alla base della colonna d'aria.**

Bilancio energetico Superficiale

$$R_N - G_0 = H_0 + H_E$$

Dell'energia radiativa presente al suolo (R_N), una parte se ne va per conduzione nel suolo \Rightarrow **Modello del suolo**

\rightarrow La temperatura T del suolo ubbidisce alla relazione ($D_T =$ diffusività)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

\rightarrow Il flusso di calore alla profondità z è dato da ($K_T =$ conducibilità)

$$G(z) = -K_T \frac{\partial T}{\partial z}$$

Si deve conoscere la conducibilità e diffusività termica del suolo alla base di ogni colonna d'aria

La ripartizione dell'energia disponibile all'interfaccia aria-suolo ($R_N - G_0$) si ripartisce in calore sensibile H_0 e latente H_E a seconda della turbolenza presente e della disponibilità d'acqua.

Per calcolare questa ripartizione si usa:

- o una approssimazione K nella cella più vicina al suolo, cioè:

$$H_0 / \rho C_p = -K \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}$$

$$H_E / \rho \lambda = -K \frac{\partial \bar{q}}{\partial z}$$

- oppure il modello di Penmann-Monteith.

Il modello di suolo fornisce gli elementi per la determinazione delle condizioni al contorno inferiori per la temperatura dell'aria

Il modello radiativo fornisce il termine di sorgente per l'equazione della conservazione dell'entalpia in ogni cella del dominio di calcolo

Un Modello ad Area Limitata può essere impiegato in almeno due maniere distinte:

Maniera ricostruttiva: si desidera ricostruire la distribuzione spaziale e temporale dei campi meteorologici e micrometeorologici in un dominio spaziale limitato e in un periodo limitato, ma passato, per cui si dispone di misure realizzate al suolo e/o in quota.

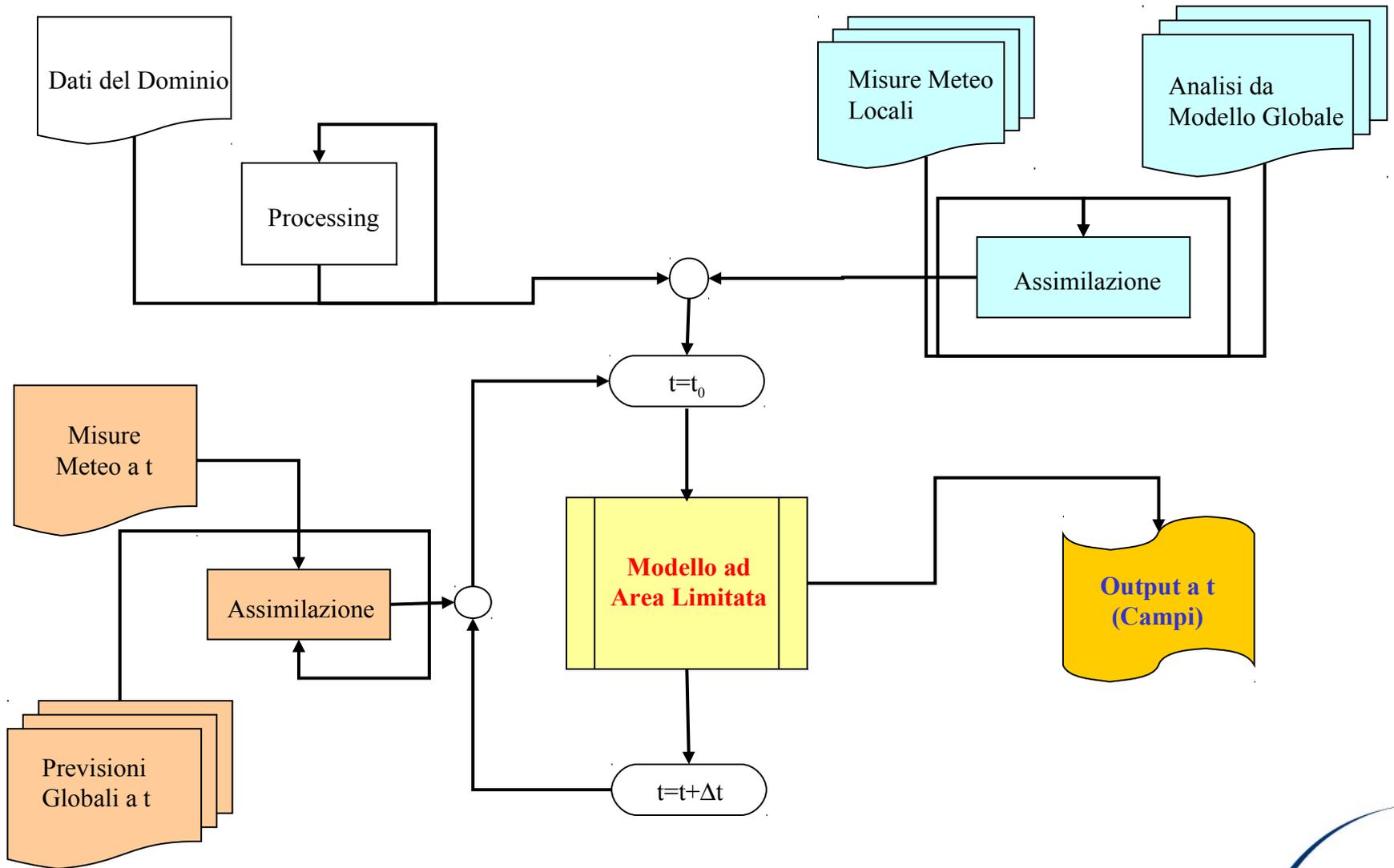
Questo impiego è spesso dettato dall'esigenza di analizzare situazioni passate per comprendere meglio i fenomeni che hanno avuto luogo.

Maniera predittiva: si desidera prevedere la distribuzione spaziale dei campi meteorologici e micrometeorologici nell'immediato futuro (+24, +48, +72 ore).

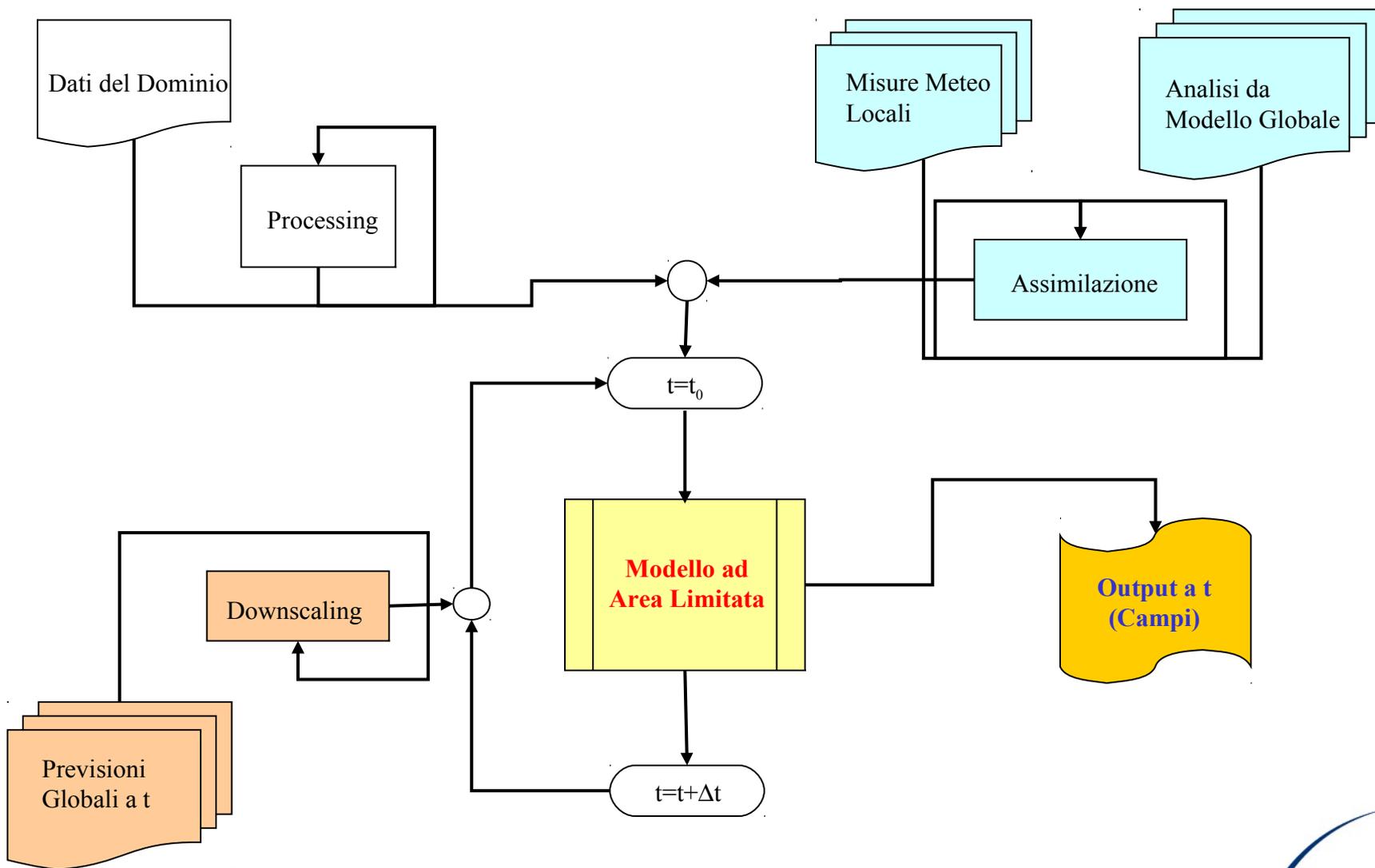
Ovviamente si conoscono solo le misure al suolo e/o in quota al tempo t_0 , inizio della previsione.

I modelli Globali, operando con continuità, sono sempre in grado di fornire (a bassa risoluzione) la distribuzione spaziale e temporale delle variabili meteorologiche sia per periodi passati che per l'immediato futuro e quindi possono fornire, previa opportuno processing, le necessarie condizioni iniziali ed al contorno.

Utilizzo Ricostruttivo



Utilizzo Predittivo



Bibliografia Essenziale

E. Kalnay (2003): Atmospheric modeling, data assimilation and predictability
(Cambridge University Press)