

Introduzione alla modellazione dei processi convettivi atmosferici ¹

La convezione è tra i processi atmosferici più importanti alla mesoscala (β e δ) e alla microscala atmosferica.

L'importanza deriva dall'efficacia delle convezioni nel rimescolamento dell'aria, lungo la verticale, quindi nel ridurre i gradienti dei campi atmosferici.

Tenuta in debita considerazione l'esistenza di azioni e retroazioni (feedback) tra le scale atmosferiche, si comprende come la convezione atmosferica rivesta un ruolo fondamentale anche per la comprensione (e la modellazione) di fenomeni atmosferici tipici della macroscale.

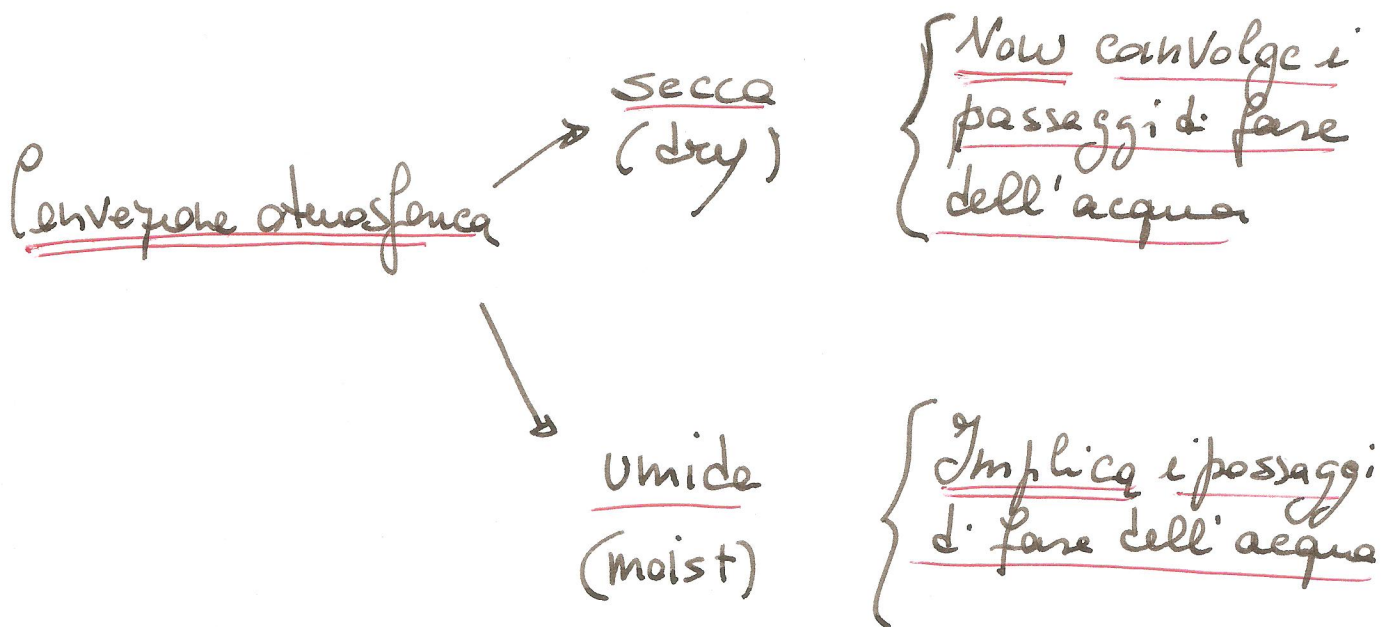
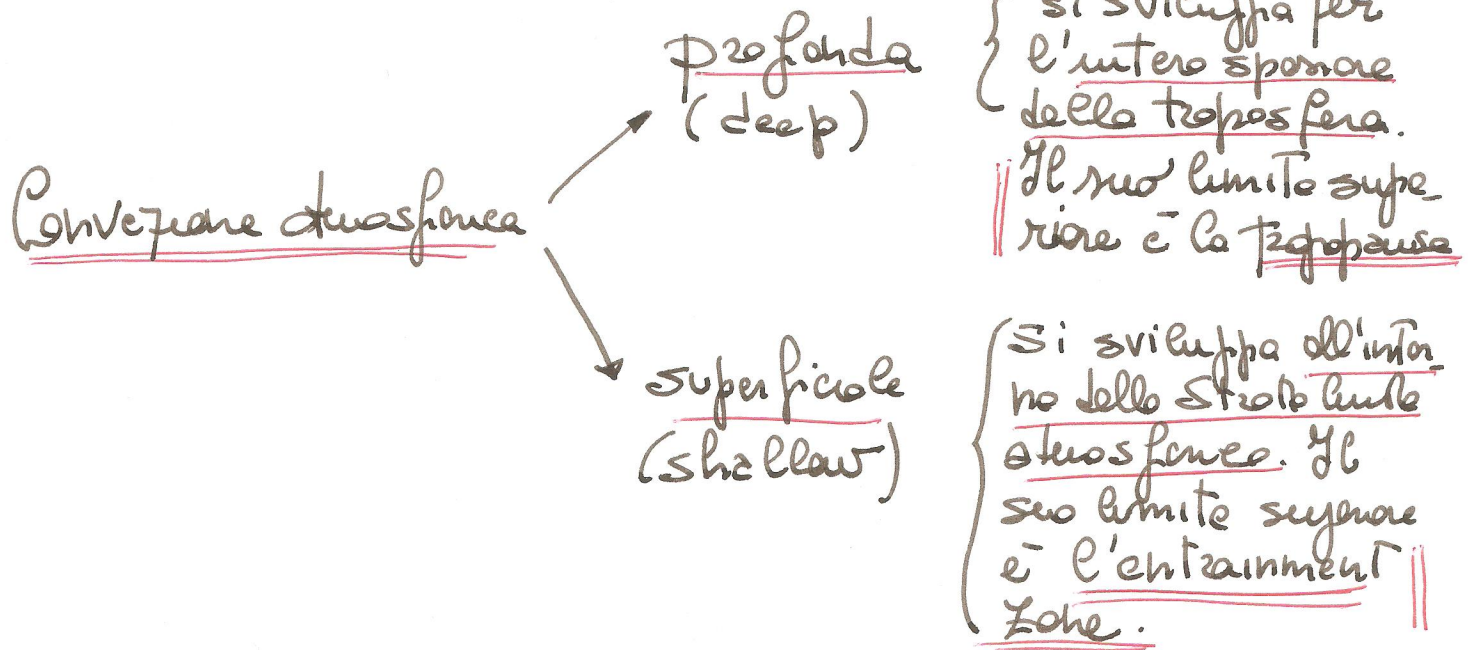
Infatti anche i modelli numerici per le simulazioni dell'evoluzione atmosferica, alla scala sinottica e del clima, di fatto includono il contributo dei processi convettivi che sono presenti, nella realtà, a scale spaziali ben al di sotto della risoluzione di tali modelli.

La modellazione dei processi convettivi atmosferici, in particolare la loro parametrizzazione nei modelli numerici è ancora un ambito di ricerca che presenta parecchi aspetti oggetto di indagine.

Nello strato limite atmosferico, la convezione è uno, se non il principale, dei processi fisici responsabili del trasferimento dell'energia dalla superficie planetaria all'intera troposfera.

2

Distinguiamo la convezione atmosferica in alcune classi, a seconda che interessi solo lo strato limite atmosferico o tutta l'atmosfera, oltre che coinvolga i passaggi di fase dell'acqua.



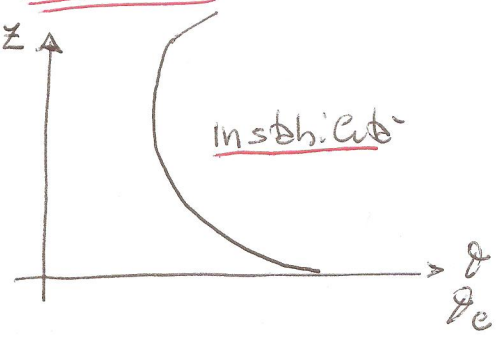
Osservazione

La convezione atmosferica profonda è anche umida. Infatti il vapore acqueo presente nell'aria sollevato fino alla tropopausa raggiunge sempre le condizioni di saturazione. La convezione atmosferica superficiale può essere secca o umida.

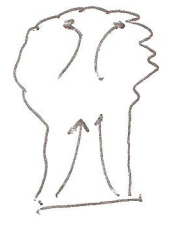
Le condizioni ambientali in cui si sviluppa la convezione atmosferica sono efficacemente descritte dai gradienti termici verticali.

In particolare sono sufficienti i gradienti dello tempo-potenziale, nel caso di convezione secca, e di temperatura equivalente potenziale, per la convezione umida.

Oltre all'instabilità ambientale è necessario un processo di innescò della convezione cioè del moto convettivo.



+ innescò = convezione
 (convergenze)
 (fronti)
 (interazione atmosfera-aerospazio)



Quindi, realizzare un modello di processi convettivi implica l'individuazione delle condizioni di instabilità e l'individuazione dell'innescò.

Condizioni di instabilità → {
 1) Gradienti termici verticali
 2) Umidità superficiale

Innescò → {
 1) Processi canali dello microscala
 2) Condizioni di contorno statiche
 3) Forzanti a scale spaziali maggiori lo microscala

Un modello di processo convettivo richiede anche la
descrizione dei processi di rimescolamento causati
dalla convezione. (4)

Ci sono due fenomeni che partecipano al rimescola-
mento dell'aria in un processo convettivo:

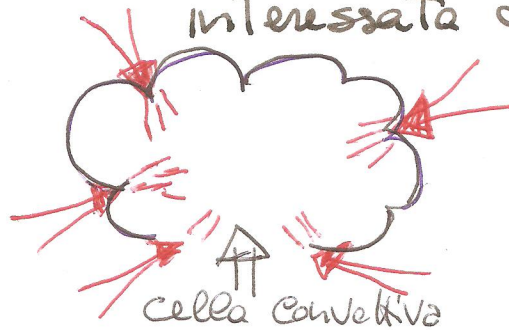
|| Entrainment e Detrainment ||

Il punto di vista ha come riferimento la cella
convettiva, ovvero l'aria che si muove nell'ambiente

Entrainment

fenomeno che include aria
dell'ambiente nella regione
interessata della cella convettiva

Ambiente

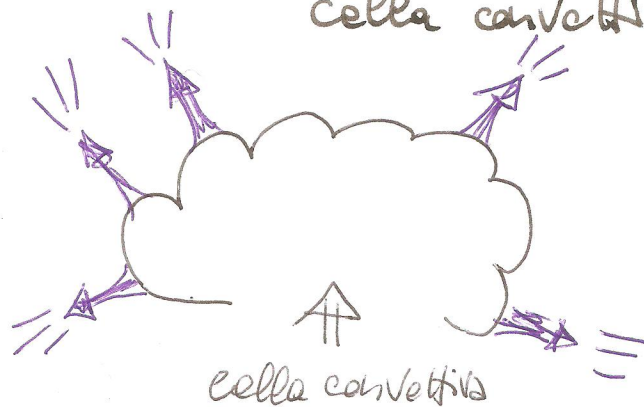


Ambiente

Detrainment

fenomeno che espelle aria
dalla regione interessata della
cella convettiva nell'ambiente

Ambiente



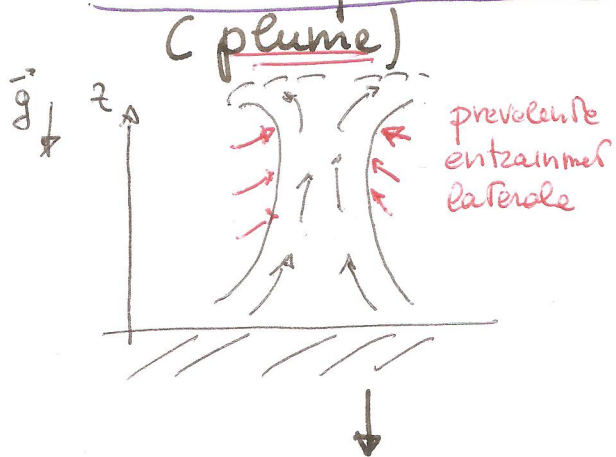
Ambiente

Entrainment e detrainment sono essenziali per
spiegare (e quantificare) l'efficacia della convezione.

Due approcci alla modellazione della convezione (5)

Storicamente sono stati adottati due modelli concettuali per la modellazione della convezione, entrambi derivanti dalle osservazioni, in atmosfera, e dagli esperimenti di laboratorio.

Modello a pennacchio

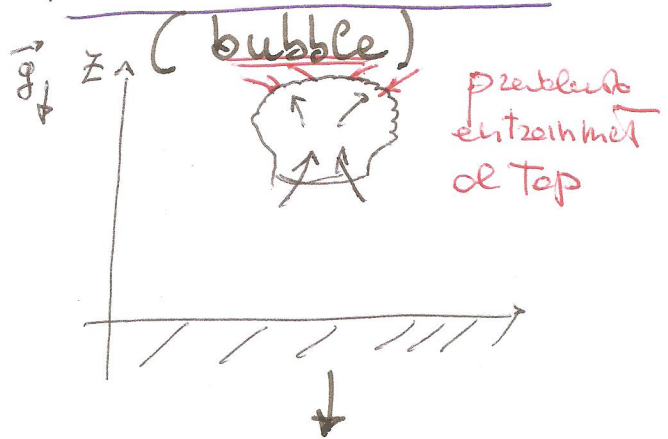


Più aderente alle convezioni profonde (mesoscale β e δ) in cui il flusso interessa l'intero pennacchio e aria instabile continua a fluire dal basso.

Il rimescolamento nella parte alta, top, con l'ambiente è scarso.

Il rimescolamento della massa d'aria ascendente con l'ambiente avviene prevalentemente ai lati delle celle convettive.

Modello a bolla



Più appropriato per la convezione superficiale (quella dell'ABL) dove le dimensioni verticali delle celle convettive sono confrontabili con quelle orizzontali.

Il rimescolamento nella parte alta, top, con l'ambiente è preponderante, mentre il contributo laterale è marginale.

La bolla può aver perso ogni relazione con l'aria che si trova più in basso.

N.B.

Vicinosamente entrambi i processi di entrainment e detrainment, al top e laterale, sono presenti in due modelli.

dm_e è la massa inclusa nel cilindro cavo $2\pi R h$ per unità di lunghezza e densità ambiente ρ_e (7)

Per continuità si conserva $dm_e = dm$ inoltre visto che l'entrainment è laterale, avremo attraverso la superficie laterale $2\pi R h$ dove h è l'altezza interessata dall'entrainment. La velocità con cui massa ambiente fluisce nel cilindro cavo è u . Quindi:

$$\bullet \quad dm_e = 2\pi R h u dt \rho_e$$

Possiamo assumere, senza commettere grosse approssimazioni, visto che consideriamo un bilancio di massa, (non di proprietà della cella convettiva) che $\rho_e \approx \rho$

Inoltre se osserviamo la crescita di un plume notiamo che è verosimile che la velocità di entrainment sia confrontabile con quello di detrainment o di sollecitazione del plume. Quindi $u \approx w$

Applicando la conservazione della massa si ha: $dm_e = dm$



$$\rho \pi R^2 w dt = 2\pi R h w dt \rho$$

La quale ci dà informazioni sull'altezza del plume interessata dall'entrainment.

$$h = \frac{R}{2}$$

Se vogliamo generalizzare la relazione supponendo che $w = \alpha W$ con α fattore di proporzionalità per la velocità-

di entrainment (α è adimensionale; $\alpha > 0$).

Quindi generalizziamo l'altezza h in funzione di R

$$h = \frac{R}{2\alpha}$$

Questa è l'altezza del cilindro interessata dal
entrainment, quindi la massa contenuta in tale regione
del cilindro sarà soggetta a mescolamento con
aria ambiente. $m = \pi R^2 h \rho$

Possiamo, perciò, determinare la frazione di massa
del cilindro che è interessata dal mescolamento.

Notiamo che $dZ = w dt$ cioè lo spostamento in verticale
della massa osservata, da quale ci permette di
esprimere

$$dW = \pi R^2 \rho dZ \quad \text{ovvero} \quad \frac{dW}{dZ} = \pi R^2 \rho$$

Quindi la frazione di massa interessata dall'entrainment
per unità di altezza è

$$\frac{dW}{dZ} \cdot \frac{1}{m} = \frac{\pi R^2 \rho}{\pi R^2 \rho h} = \frac{2\alpha}{R}$$

Quindi se noi chiamiamo con $e := \frac{dW}{dZ} \frac{1}{m}$ si ha $e = \frac{2\alpha}{R}$

Perciò le celle convettive più ampie avranno una
minor frazione di massa convetta nell'entrainment
rispetto a quelle più contenute, per unità di altezza.

(9)

Il contributo dell'entrainment al detrainment (un modello più avanzato)

Considerando la frangione di massa dello cella convettiva
che è coinvolta nel rimescolamento con l'ambiente

$$\frac{dm}{dz} \frac{1}{m} = e$$

Possiamo considerare tale frangione determinata da
due processi:

- a) il flusso di massa dovuto all'avezzione di
aria dall'ambiente nella cella; (e_d)
- b) il flusso di massa dovuto alla turbolenza
presente a confine tra la cella e l'ambiente (e_t)

Da cui

$$\frac{dm}{dz} \frac{1}{m} = e_d + e_t$$

Ovviamente, trattandosi di entrainment sia e_d che e_t
sono positivi $e_d \geq 0$ e $e_t \geq 0$.

Ne consegue che, sulla base di questa modellazione

$$\frac{dm}{dz} \frac{1}{m} \geq 0 \Rightarrow \frac{dm}{dz} \geq 0$$

Quindi questo modello ha la caratteristica generale
di aumentare, la massa relativa inclusa nella
cella convettiva e prevalentemente dell'ambiente, con
l'altezza. (Mette in evidenza il ruolo del top)

Osservazione

Per le celle convettive che non implicano passaggi di fase dell'acqua, le misure ci mostrano che il modello è aderente con la realtà.

Quindi per (plumes) pennacchi di aria secca ci si aspetta un aumento dell'entrainment con l'altezza. Cioè è applicabile ad alcuni casi di ABL.

Osservazione

Nel caso in cui la convezione comporta la condensazione del vapore nel plume e la successiva evaporazione delle goccioline (o cristalli) di acqua a causa dell'entrainment di aria ambiente, l'area della convezione si riduce e si potrà avere una diminuzione dell'intensità dell'updraft (corrente ascendente). Ne consegue che la massa coinvolta nel rimescolamento potrà anche diminuire con l'altezza. Possiamo interpretare questo fenomeno come detrainment.

Conviene quindi arricchire il modello includendo anche due addendi δ_d e δ_t , dovuti alla perdita di massa da parte della cella convettiva; la massa viene portata all'ambiente (detrainment)

Definiamo

$$\delta_d \geq 0 \quad \text{e} \quad \delta_t \geq 0$$

Da cui

$$\frac{dm}{dt} \frac{1}{m} = e_d + e_t - \delta_d - \delta_t$$

Quindi è necessario parametrizzare e_d, e_t, δ_d e δ_t