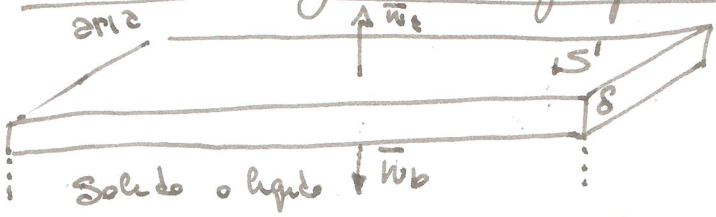
Bilancio energetico superficiale dello strato limite atmosferico



$\{$ S' superficie unitaria
δ spessore strato superficiale
→ mezzo superficiale

I processi di trasporto energetico alla superficie (nel mezzo di volume $S' \cdot \delta$) sono i seguenti

a) <u>Irraggiamento</u> → da ambiente esterno alla superficie e ~~suo~~ completo assorbimento da parte della S'
→ emissione della superficie S' essendo a temperatura $\neq 0K$

b) <u>Conduzione</u> → da e verso superficie dal resto del mezzo confinante

c) <u>flusso convettivo</u> → da superficie verso aria (calore sensibile)

d) <u>Passaggio di fase H_2O</u> → Condensazione e evaporazione acqua del mezzo confinante (in superficie)

Sono tutte energie per unità di superficie, unità di tempo quindi sono dei flussi energetici alla superficie.

Scriviamo i diversi contributi

$\boxed{Q}$ = energia termica presente nel volume $(S' \cdot \delta)$ mezzo superficiale

$\boxed{R_n}$ = flusso radiativo netto dato da due contributi

R_l = radiazione a onde lunga (IR) emessa dalla superficie
$(R_e = \sigma T^4 \quad \sigma \cong 5.67 \cdot 10^{-8}\ W m^{-2} K^{-4})$

R_e è uscente dalla superficie (concorde con $\vec{n}_t$) $R_e < 0$

R_s = radiazione a onde corte (VIS) ricevuta dal sole
è di verso opposto a $\vec{n}_t$ $R_s \geq 0$ (estate, mezzo giorno $\sim 3000\ kJ\, m^{-2} h^{-1} \to 833\ W m^{-2}$)

Ci sono dei casi in cui a R_s si sommano $R_{e\downarrow}$ dovute nubi

$\boxed{G}$ = energia propagata ~~o ricevuta dal mezzo~~ nel mezzo confinante
$G \geq 0$ se concorde con $\vec{w}_b$

$\boxed{H}$ = flusso di calore sensibile dalla superficie all'aria principalmente per convezione e turbolenza
$H \geq 0$ se concorde con $\vec{w}_t$

$\boxed{L}$ = flusso di calore latente dalla superficie verso l'aria dovuto all'evaporazione dell'acqua nel mezzo superficiale
$L \geq 0$ se acqua evapora ~~dal terreno~~ dal mezzo superficiale
se λ = calore latente di evaporazione e E acqua che passa di fase
$L = \lambda E$

$$\frac{dQ}{dt} = R - G - H - L$$

Nel caso $\delta \to 0$ $\frac{dQ}{dt} = 0$ in quanto $Q = 0$ e si ha il bilancio energetico superficiale

Definizione del Bowen Ratio
Nel caso del bilancio termico superficiale $\frac{dQ}{dt} = 0$

$$R - G_0 = H + L \quad \text{o anche} \quad (L = \lambda E)$$

G_0 energia

available energy / energia disponibile $\}$ $\underbrace{R - G_0}$ $= H + \lambda E$

Si definisce Bowen Ratio il rapporto tra energia sensibile che lascia la superficie e quella latente

$$\boxed{B_0 := \frac{H}{\lambda E}}$$

B_0 se scarica alla superficie dove viene usata l'energia disponibile alla superficie

B_0 a) può essere maggiore di zero in caso di flusso sensibile in aria ed evaporazione $\to$ durante il giorno

b) può essere minore di zero in caso di condensazione e calore sensibile in aria $\to$ durante la notte

Valori tipici del Bowen Ratio positivi

$B_o >> 1$	poca evaporazione e grande flusso di calore sensibile in aria (arido)
$0 \le B_o << 1$	molta evaporazione e scarso flusso di calore sensibile in aria (umido / acqua)

B_o	mezzo confinante
> 10.0	Deserti
$2.0 - 6.0$	terreni aridi
$0.4 - 0.8$	terreni temperati e mediamente umidi coperti da erba o alberi delle medie lat
$0.1 - 0.3$	terreni umidi e caldi foreste tropicali ed equatoriali
< 0.1	Oceano tropicale

Quindi il Bowen Ratio dipende dalle caratteristiche della superficie ma dipende dal tempo.

$$\boxed{B_o(\vec{x}, t)}$$

Se riesco a misurare B_o allora il bilancio energetico superficiale diventa

$$R - G_o = H\left(\frac{1 + B_o}{B_o}\right)$$

$$R - G_o = \lambda E(1 + B_o)$$

R si misura facilmente, così pure H, quindi se si conosce B_o si riesce a chiudere il bilancio ottenendo G_o che non è facile misurare

Come misurare il Bowen Ratio alle superfici

$$B_0 = \frac{S}{\lambda E}$$

ora $\boxed{S = \rho c_p k_s \frac{\partial T}{\partial z}}$ e $\boxed{E = k_v \frac{\partial \rho_v}{\partial z}}$

ρ_v è difficile da misurare conviene usare l'equazione di stato per il vapore $e = \rho_v R_v T$ e ricordando che

$p_d = \rho_d R_d T$ e che $p = p_d + e \simeq p_d$ e $\rho = \rho_d + \rho_v$

ricordiamo anche le definizioni $q := \frac{\rho_v}{\rho}$ e $r = \frac{\rho_v}{\rho_d}$

quindi $e = \rho_v R_v T \Rightarrow \rho_v = \frac{e}{R_v T} = \frac{R_d e \rho_d}{p_d R_v}$

perciò $E = k_v \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{R_d \rho_d}{R_v p_d} e\right) = \boxed{k_v \varepsilon \frac{\rho_d}{p_d} \frac{\partial e}{\partial z}}$

dove $\varepsilon := \frac{R_d}{R_v}$

Inoltre ricordando che $\rho_v = \rho q$ $\boxed{E = k_v \rho \frac{\partial q}{\partial z}}$

Dato che abbiamo espressioni per S e E si ha

$$B_0 = \frac{\rho c_p k_s \frac{\partial T}{\partial z}}{\lambda \rho_d \frac{\varepsilon k_v}{p_d} \frac{\partial e}{\partial z}} \simeq \boxed{\frac{p_d}{\lambda} \frac{c_p}{\varepsilon} \frac{k_s}{k_v} \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\frac{\partial e}{\partial z}}}$$

o anche

$$B_0 = \frac{\rho c_p k_s \frac{\partial T}{\partial z}}{\lambda \rho k_v \frac{\partial q}{\partial z}} = \boxed{\frac{c_p}{\lambda} \frac{k_s}{k_v} \frac{\partial T}{\partial z} \Big/ \frac{\partial q}{\partial z}}$$

Misurando a 2 quote T ed e o q si risale al Bowen Ratio