

# Fondamenti del concetto di Stato Limite Atmosferico ①

L'idea dell'esistenza dello stato limite atmosferico consegue dalla definizione di Stato Limite nei fluidi confinati.

Stato Limite

Atmosferico

Concetti e metodi generali nello studio e nella modellazione dello Stato Limite

Peculiarità dell'atmosfera terrestre nei pressi della superficie e caratteristiche dello strato limite

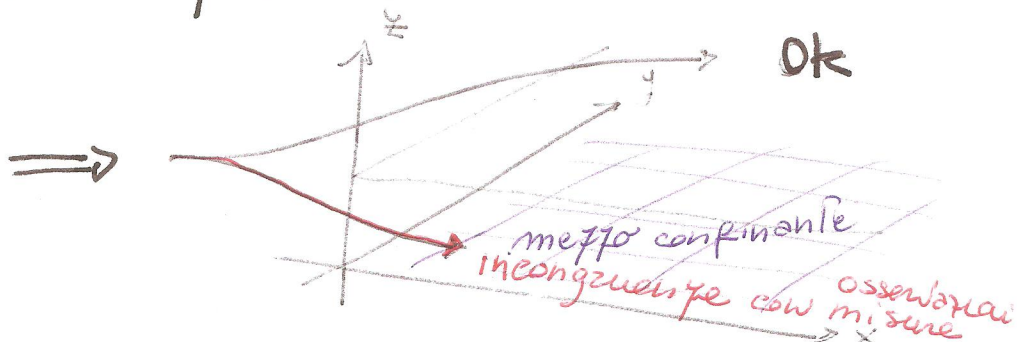
## Perché nasce il concetto di Stato Limite nei fluidi?

Quando un fluido è confinato, soprattutto nel caso di un fluido con elevato numero di Reynolds, si constata che:

- 1) le equazioni di Navier-Stokes non sono in grado di descrivere con continuità il moto del fluido, basandosi sulle medesime ipotesi da applicare a tutto il dominio del fluido, cioè in tutto il volume occupato dal fluido.

$$Re = \frac{L U}{\nu} \gg 1$$

ipotesi



2) La no-slip condition deve essere considerata una caratteristica essenziale del fluido, nei pressi del mezzo confinante, anche nel caso di fluidi poco viscosi ( $\nu \approx 0$ ) e a numeri di Reynolds elevati  $Re \gg 1$ .

Ciò è motivato dalle osservazioni e dalle misure

Ludwig Prandtl (1875-1953) introduce il concetto di Stato Limite (1905) sulla base di queste considerazioni:

a) lontano dal mezzo che confina il fluido, il fluido si comporta come previsto dalle equazioni di Navier-Stokes per  $Re \gg 1$ ;

b) nei pressi del mezzo confinante, nonostante  $Re \gg 1$  lo stress agente sul fluido non è trascurabile ed  $(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \neq 0)$  è confrontabile con gli altri addendi delle equazioni di Navier-Stokes. Ciò è dovuto al fatto che il rispetto delle no-slip condition impone al fluido gradienti  $(\frac{\partial u_i}{\partial x_j})$  di valore talmente grandi da compensare il contributo piccolo della viscosità  $(\mu)$ .

### Osservazione

Il concetto di Stato Limite non consegue naturalmente dalle equazioni di Navier-Stokes.

### Osservazione

Il concetto di Stato Limite si basa su considerazioni che riguardano la conservazione della quantità di moto

## Osservazioni

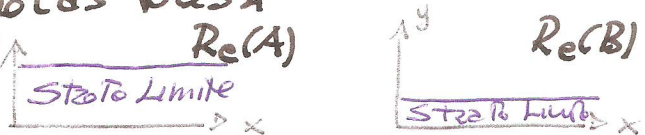
A partire dalle considerazioni sulle quantità di moto, il concetto di strato limite si estende anche ai campi non cinematici del fluido. Si ricardi che le equazioni prognostiche di un qualsiasi campo di un fluido contengono il contributo avettivo

$$\left( \begin{array}{l} f \text{ campo} \\ \text{del fluido} \end{array} \right) \frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \boxed{u_i \frac{\partial f}{\partial x_i}}$$

## Fenomenologia

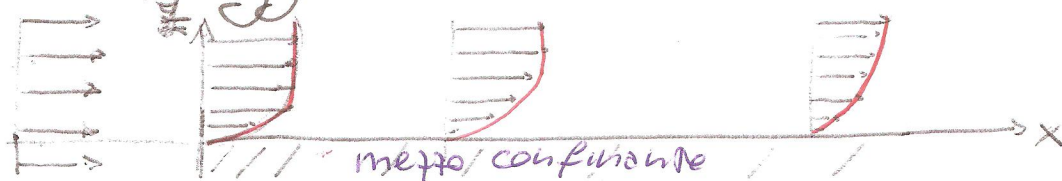
1) La regione di fluido definita come strato limite è molto più confinata nei pressi delle superfici limitanti in fluidi ad alti numeri di Reynolds e diva rispetto a fluidi con numeri di Reynolds bassi

$$\implies Re(A) < Re(B)$$



2)

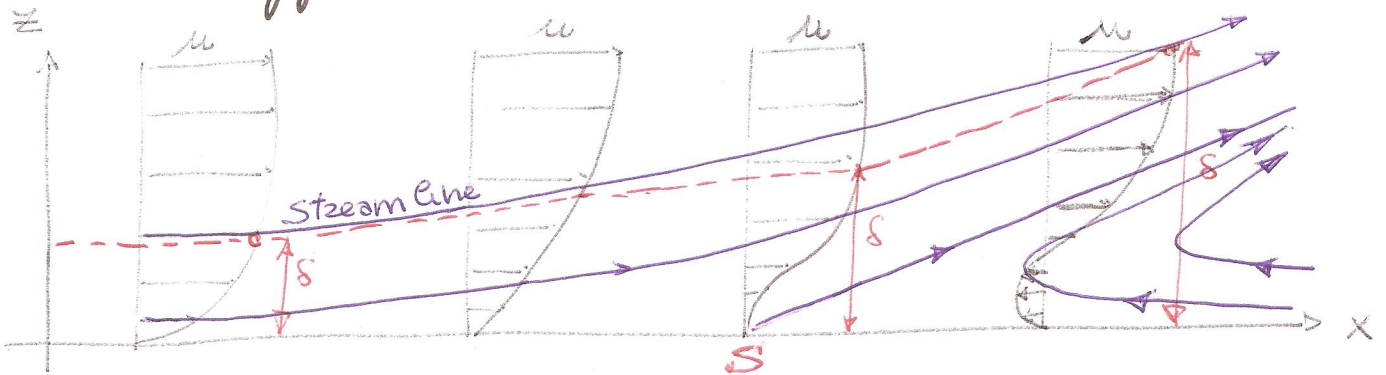
In situazioni reali, il confinamento del fluido è limitato a regioni finite di spazio, oppure ci sono discontinuità nella superficie del mezzo confinante. In prossimità di tali discontinuità lo strato limite mostra variazioni spaziali, anche in casi stazionari; per esempio la regione di spazio interessata dallo strato limite si estende a volumi di fluido maggiori.



③ In molti casi si assiste al fenomeno della separazione dello strato limite.

Solitamente la separazione si osserva nei flussi attorno ai corpi immersi in un fluido ma è una caratteristica anche dei flussi confinati da superfici piane ipoteticamente infinite (caso dello strato limite atmosferico) //

Si definisce separazione dello strato limite la situazione in cui le linee di flusso, nello strato limite, si separano e danno origine a flussi di verso opposto.



In concomitanza della separazione, lo spessore dello strato limite aumenta considerevolmente e si ha la formazione di vortici lungo la scia del flusso seguente il punto di separazione S.

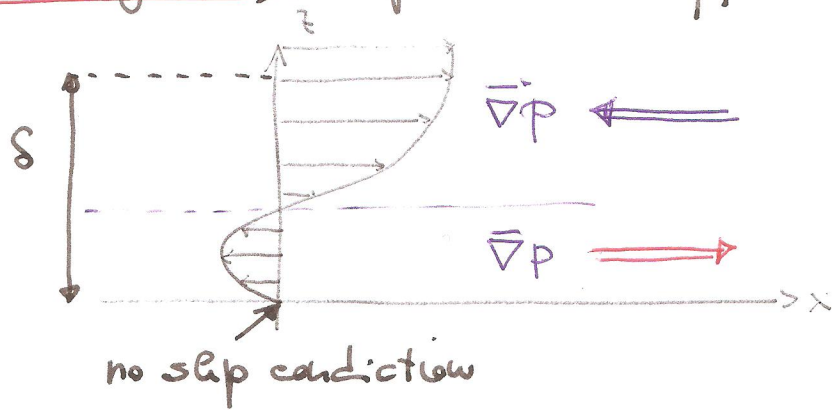
Solitamente dopo la separazione il flusso non è stazionario

Nel punto di separazione S le stream line (linee di flusso) intersecano il mezzo confinante.

La definizione operativa per l'identificazione del punto di separazione è il punto, sulla superficie del mezzo confinante, in cui la velocità non varia allontanandosi dalla superficie

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \Rightarrow \text{Separazione}$$

La separazione non è funzione dello sforzo (curvatura) del mezzo confinante, ma dipende dall'attrito con il mezzo confinante e dall'inversione del gradiente di pressione lungo il flusso, nei pressi del mezzo confinante



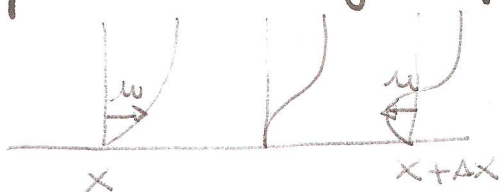
In conseguenza della rapida espansione dello strato limite in corrispondenza della separazione si ha un flusso impattante di massa dallo strato limite nella regione esterna del fluido.

Dall'equazione di continuità per un fluido confinato a  $z=0$ , avete solo due dimensioni spaziali (rilevanti),

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

da cui  $\frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{\partial u}{\partial x}$

Volutando il segno di  $\frac{\partial w}{\partial z}$  in prossimità del punto di separazione:  $\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u(x+\Delta x) - u(x)}{\Delta x} < 0$



quindi  $\frac{\partial w}{\partial z} > 0$